

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

L'IMPACT SUR LA CONFIANCE DE L'UTILISATION DES BLOCKCHAIN PRIVÉES
DANS LES CHAÎNES D'APPROVISIONNEMENT ALIMENTAIRE
LE CAS DU GROUPE CHO

MEMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION

PAR

MAHDI BALI

FÉVRIER 2023

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.07-2011). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier chaleureusement mon directeur de recherche, professeur Régis Barondeau, pour son soutien continu, ses conseils toujours pertinents, son encadrement constant et sa patience tout au long de la réalisation de ce mémoire. De l'assurance jusqu'à la confiance, vous n'avez jamais cessé de m'orienter et de croire en moi. J'ai la chance d'avoir commencé ce projet avec un encadrant, et de pouvoir dire que j'achève avec le mentor que vous étiez.

À mes professeurs du département d'analytiques, opérations et TI à l'UQAM qui ont toute ma gratitude pour la qualité d'enseignement et d'encadrement, et particulièrement à monsieur Laurent Renard qui m'a conquis avec une carrière en TI.

Un hommage appuyé à Mr. Abdelaziz Makhloufi et sa fille Hela pour leur bienveillance et leur débonnairété, et sans qui ce projet n'aurait jamais vu le jour. Merci de m'avoir si cordialement accepté et intégré au sein de votre organisation. J'adresse aussi ma considération la plus distinguée au personnel de CHO, tant en Tunisie et au Canada, pour m'avoir donné de votre temps et accepté de me partager vos expériences.

Je n'oublie pas mes amis proches, au Québec et en Tunisie, pour leur soutien inconditionnel et leurs mots encourageants. Merci de m'avoir donné le souffle et la motivation de finir ce projet.

Mon mot final de remerciement est adressé à ma famille, notamment mes parents, ma sœur et ma grand-mère, qui bien que loin des yeux, n'ont eu de cesse de me garder dans leurs cœurs et leurs prières, de me motiver et de m'encourager tout au long de mon parcours. Un remerciement tout spécial à mon très cher papa qui a toujours su croire en moi et tempérer mes poussées maussades.

DÉDICACE

Dear dad,
While it was never about Trust in the beginning, the
unexpected journey of this work has allowed for the opening
of countless paths and possibilities.
Thank you for always reminding me of my faith.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
DÉDICACE.....	iii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES	xii
RÉSUMÉ.....	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 PROBLÉMATIQUE, QUESTION ET OBJECTIFS DE LA RECHERCHE.....	5
CHAPITRE 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE	14
2.1 Les technologies blockchains	14
2.1.1 La genèse des chaînes de blocs	14
2.1.1.1 L'émergence de la première blockchain : Bitcoin.....	18
2.1.1.2 L'innovation des chaînes de blocs.....	21
2.1.2 Définition de la technologie des chaînes de blocs	23
2.1.3 Composants d'un système blockchain	25
2.1.3.1 Couche d'infrastructure d'un système blockchain	26
2.1.3.1.1 La base de données distribuée	26
2.1.3.1.1 Les fonctions de hachage.....	32
2.1.3.1.1 Le mécanisme de consensus distribué.....	34
2.1.3.1.1 La cryptographie asymétrique et les signatures digitales	36
2.1.3.2 Couche applicative d'un système blockchain	38
2.1.3.2.1 Les contrats intelligents et les applications décentralisées.....	38
2.1.4 La synchronisation entre les couches composantes : Le modèle Hyperledger Fabric	40
2.1.4.1 Présentation de l'initiative Hyperledger :	40
2.1.4.2 Description de la plateforme Hyperledger Fabric	40
2.1.4.3 Description du flux transactionnel sur Hyperledger Fabric :	42
2.1.5 Les avantages et les limites des systèmes blockchain.....	45
2.1.5.1 Atouts des systèmes blockchain	45
2.1.5.1.1 La désintermédiation des transactions et l'autorité algorithmique.....	45
2.1.5.1.2 La résilience et la sécurité	46
2.1.5.1.3 La transparence et la non-répudiation des données.....	46
2.1.5.2 Limites des systèmes blockchain	47
2.1.5.2.1 L'enregistrement des données et le problème du GIGO	48
2.1.5.2.2 La scalabilité et l'évolutivité des systèmes blockchain.....	49

2.2	Introduction à la notion de chaîne d’approvisionnement	50
2.2.1	Définition d’une chaîne d’approvisionnement agroalimentaire.....	52
2.2.2	Caractéristiques des chaînes d’approvisionnement agroalimentaire.....	54
2.2.2.1	La nature des produits et la portée des processus.....	54
2.2.2.2	La transparence et la traçabilité des chaînes d’approvisionnement agroalimentaire ...	55
2.2.2.3	L’enjeu de polycentricité située	58
2.2.3	Applicabilité des blockchains dans le secteur agroalimentaire.....	60
2.2.4	Conclusion.....	70
2.3	L’épistémologie de la confiance.....	71
2.3.1	Contextualisation multidisciplinaire de la confiance	71
2.3.2	La confiance dans l’environnement socio-économique.....	74
2.3.2.1	La confiance Intuitus Personae	75
2.3.2.2	La confiance relationnelle	76
2.3.2.3	La confiance institutionnelle	79
2.3.3	La confiance dans la discipline des systèmes d’information	83
2.3.3.1	Les technologies comme outils pour véhiculer la confiance.....	83
2.3.3.2	La confiance dans l’artefact technologique.....	88
2.3.4	La confiance dans l’environnement technologique des chaînes de blocs.....	91
2.3.4.1	Les chaînes de blocs et la dynamique de la confiance	93
2.3.4.2	L’impact des blockchains sur la confiance dans les ASC	100
2.3.5	Conclusion.....	102
CHAPITRE 3 CADRE CONCEPTUEL.....		104
3.1	Description de la proposition de modèle de Batwa et Norrman (2021)	104
3.2	Adaptation du cadre conceptuel.....	107
CHAPITRE 4 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE		113
4.1	Nature de la recherche	113
4.2	Méthode de la recherche.....	114
4.3	Méthodes de collecte de données	116
4.3.1	La documentation.....	117
4.3.2	L’enquête par l’entretien	119
4.4	Analyse des données.....	124
4.4.1	La condensation des données	124
4.4.2	La codification des données	125
4.4.3	La présentation des données.....	129
4.4.3.1	Les tableaux et matrices d’analyse croisée.....	129
4.4.3.2	Les tableaux et matrices d’analyse croisée.....	131
4.4.4	La vérification et la conclusion	133
CHAPITRE 5 ANALYSE DES RÉSULTATS		135
5.1	Description du cas à l’étude.....	137

5.1.1	Profil de l'entreprise.....	137
5.1.2	Objectifs du projet blockchain de l'entreprise	138
5.1.3	Modélisation de la chaîne d'approvisionnement à l'étude.....	142
5.1.4	Modélisations de la chaîne logistique et des flux d'informations.....	146
5.2	Analyse exploratoire de la confiance dans la chaîne d'approvisionnement	155
5.2.1	Antécédents de la confiance technologique dans l'artefact de la blockchain privée	155
5.2.1.1	Attribut de la fiabilité de l'artefact blockchain : La fonctionnalité.....	155
5.2.1.1.1	La transparence au profit de la confiance technologique	157
5.2.1.1.2	La traçabilité au profit de la confiance technologique	162
5.2.1.1.3	L'immutabilité au profit de la confiance technologique	165
5.2.1.1.4	L'aspect modulaire de Food Trust au profit de la confiance technologique	169
5.2.1.1.5	L'interopérabilité au détriment de la confiance technologique.....	173
5.2.1.1.6	La flexibilité de la blockchain au détriment de la confiance technologique	176
5.2.1.2	Attribut de la fiabilité de l'artefact blockchain : La prévisibilité.....	179
5.2.1.3	Attribut de la fiabilité de l'artefact blockchain : La commodité.....	183
5.2.1.4	Catalyseurs psychosociologiques de la confiance dans l'artefact blockchain	187
5.2.1.5	Conclusion.....	192
5.2.2	Les antécédents de la confiance sociale dans la chaîne d'approvisionnement	194
5.2.2.1	Les évidences institutionnelles de la confiance dans le système agroalimentaire	194
5.2.2.1.1	L'institutionnalisation implicite comme un antécédent de la confiance sociale	194
5.2.2.1.2	L'institutionnalisation explicite comme un antécédent de la confiance sociale.....	196
5.2.2.2	Les évidences relationnelles de la confiance dans la chaîne d'approvisionnement ...	203
5.2.2.2.1	L'intégrité et la bienveillance.....	203
5.2.2.2.2	La compétence.....	207
5.2.3	Conclusion.....	208
5.3	L'impact de la blockchain sur l'institutionnalisation de la confiance et sa dynamique sociale	211
5.3.1	L'institutionnalisation par l'autorité algorithmique	211
5.3.2	La responsabilisation séquentielle et la responsabilité partagée	214
5.3.3	Médiation de la confiance institutionnelle	216
5.3.4	Conclusion.....	217
CHAPITRE 6 DISCUSSION DES RÉSULTATS ET DE LA CONTRIBUTION		219
6.1	L'épistémologie de la confiance dans le contexte des blockchains.....	219
6.1.1	Le problème de la grappe industrielle.....	221
6.1.1.1	Barrières liées à l'environnement externe de l'organisation.....	223
6.1.1.2	Barrières fonctionnelles.....	223
6.1.1.3	Barrières psychosociales	229
6.1.2	Les limitations institutionnelles de l'autorité algorithmique	231
6.1.2.1	La vulnérabilité organisationnelle ou micro-organisationnelle.....	231
6.1.2.2	La vulnérabilité meso-environnementale	234
6.1.2.3	La perspective de la nouvelle économie institutionnelle et des coûts de transaction.	235
6.2	L'interrelation entre les dynamiques sociales et la confiance algorithmique.....	241

6.3 Discussion de la contribution, des limitations de la recherche et des perspectives de recherches futures.....	249
6.3.1 Contributions théoriques de la recherche.....	249
6.3.2 Contributions pratiques à l’usage des acteurs de la chaîne d’approvisionnement.....	250
CHAPITRE 7 CONCLUSION.....	254
7.1 Résumé de la recherche et synthèse des principaux résultats.....	254
7.2 Limites de la recherche.....	255
7.3 Pistes de réflexion pour de futures recherches.....	258
ANNEXE A LETTRE DE RECRUTEMENT.....	261
ANNEXE B GUIDES ET QUESTIONS D’ENTRETIENS.....	262
ANNEXE C DOCUMENTS ET CERTIFICATIONS ÉTHIQUES.....	266
BIBLIOGRAPHIE.....	270

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1 Représentation des composantes techniques d'un système blockchain, basée sur Glaser., (2017) et Glaser et al., (2019)	26
Figure 2-2 Architecture distribuée (gauche) vs centralisée (droite) d'un registre (Drescher, 2017, p. 11).....	27
Figure 2-3 Architecture décentralisée (gauche) vs centralisée (droite) d'un système distribué (Drescher, 2017, p. 15).....	28
Figure 2-4 Illustration de la séquence des blocs de données dans une blockchain	33
Figure 2-5 Représentation graphique de l'algorithme de cryptographie asymétrique, par Yajie et al. (2020, p. 2)	37
Figure 2-6 Illustration simplifiée du flux transactionnel sur Hyperledger Fabric (illustration propre)	44
Figure 2-7 Modélisation des flux relationnels entre les acteurs de la chaîne d'approvisionnement agroalimentaire adaptée de Dani (2015, p. 5)	53
Figure 2-8 Architecture et composants du système IBM Food Trust	66
Figure 2-9 Représentation du flux informationnel de la chaîne d'approvisionnement du thon (Provenance, 2016).....	68
Figure 2-10 Modèle interdisciplinaire de la confiance véhiculée par la technologie (McKnight et Chervany, 2001, p. 42)	84
Figure 2-11 Modèle de la confiance dans l'artefact technologique, par McKnight et al. (2011) ...	91
Figure 2-12 Schéma synoptique du processus de revue de la littérature, basé sur les recommandations de Webster et Watson (2002).....	92
Figure 3-1 Cadre d'investigation de la confiance dans les chaînes d'approvisionnement (Batwa et Norman 2021)	105
Figure 3-2 Adaptation du modèle d'investigation de la confiance de Batwa et Norman (2021, p. 212) (notre illustration)	108
Figure 4-1 Réseau sémantique des codes initiaux, axiaux et sélectifs du cas CHO	132
Figure 4-2 Synthèse de la démarche méthodologique	134
Figure 5-1 Synoptique des antécédents de la confiance dans la chaîne d'approvisionnement à l'étude.....	136

Figure 5-2 Modélisation des flux relationnels et des acteurs au sein de la chaîne d’approvisionnement oléicole du groupe CHO (notre illustration, adaptée d’une documentation interne).....	143
Figure 5-3 Logigramme simplifié des activités de la production et de la transformation des huiles conditionnées de CHO	145
Figure 5-4 Logigramme simplifié des activités de la distribution des huiles conditionnées de CHO	146
Figure 5-5 Séquencement des flux informationnels sur la blockchain (source: documentation interne)	148
Figure 5-6 Illustration simplifiée des flux informationnels entre les systèmes et acteurs de la chaîne d’approvisionnement (notre illustration).....	151
Figure 5-7 Illustration du flux informationnel visible sur l’interface de traçabilités pour consommateur	159
Figure 5-8 Aperçu de l’interface « Traçabilité » de l’application blockchain interne du groupe CHO (source: documentation interne).....	161
Figure 5-9 Illustration du document maîtrisé F2 pour le suivi de la formation du lot mère.	171
Figure 5-10 Synoptique des antécédents de la confiance technologique, relationnelle et institutionnelle dans la chaîne d'approvisionnement à l’étude	210
Figure 5-11 Synoptique des interliens entre les constructions technologiques et sociales de la confiance dans la chaîne d’approvisionnement.....	218

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 Empreinte résultante du hachage de « Blockchain And Trust » selon les standards les plus utilisés.....	33
Tableau 2-2 Résumé des modules applicatifs et des services les plus populaires sur IFT	65
Tableau 2-3 Dimensions et sous dimensions de la confiance véhiculée par la technologie selon le Mcknight et Chervany (2001)	87
Tableau 4-1 Tableau récapitulatif de la démarche de recrutement et d’entrevues	123
Tableau 4-2 Aperçu du processus de codage et de la déclinaison des codes dans la démarche analytique	128
Tableau 4-3 Carte de chaleur des codes théoriques croisés par classification de cas	132
Tableau 5-1 L’impact, sur le développement de la confiance technologique chez les acteurs de la chaîne d’approvisionnement, de la transparence de la blockchain	160
Tableau 5-2 L’impact, sur le développement de la confiance technologique chez les acteurs de la chaîne d’approvisionnement, de la traçabilité de la blockchain.....	165
Tableau 5-3 L’impact, sur le développement de la confiance technologique chez les acteurs de la chaîne d’approvisionnement, de l’immuabilité de la blockchain.....	168
Tableau 5-4 L’impact, sur le développement de la confiance technologique chez les acteurs de la chaîne d’approvisionnement, de l’architecture modulaire de la blockchain	173
Tableau 5-5 L’impact sur la perception de la confiance technologique chez les acteurs de la chaîne d’approvisionnement, de l’interopérabilité de la blockchain	176
Tableau 5-6 L’impact sur la perception de la confiance technologique chez les acteurs de la chaîne d’approvisionnement, de la flexibilité de la blockchain	179
Tableau 5-7 Facteurs d’influence sur le développement de la confiance dans l’artefact blockchain du point de la prévisibilité.....	183
Tableau 5-8 Facteurs d’influence sur le développement de la confiance dans l’artefact blockchain du point de la commodité	187
Tableau 5-9 Catalyseurs psychosociologiques de la confiance dans l’artefact blockchain	192
Tableau 6-1 Sommaire de la discussion sur les barrières au développement de l’autorité algorithmique à l’échelle de la grappe industrielle	222

Tableau 6-2 Synthèse de la discussion sur les antécédents de l'autorité algorithmique dans les le
contexte des ASCs.....228

Tableau 6-3 Proposition de représentation conceptuelle de différents scénarios *d'équilibre* pour
la confiance dans la chaîne d'approvisionnement.....248

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

ABI	Ability-Benevolence-Integrity
ACIA	Agence Canadienne d'Inspection des Aliments
API	Application Programming Interface
ASC	Agri-food supply chain
BaaS	Blockchain as a Service
CA	Certificate of Authority
CAQDAS	Computer Assisted Qualitative Data Analysis Software
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
CFT /BFT	Crash Fault Tolerance / Byzantine Fault Tolerance
CHO	Conditionnement Huiles Olive
CSA	Computers as Social Actors
DAO	Decentralized Autonomous Organization
Dapp	Decentralized application
FAO	Food and Agriculture Organization
FDA	Food and Drug Administration
FSMA	Food Safety Modernization Act
GIGO	Garbage-In Garbage-Out
GTIN	Global Trade Item Number
HCI	Human Computer Interaction

IBP	IBM Blockchain Platform
IFT	IBM Food Trust
IoT	Internet of Things
IPFS	Inter Planetary File System
MSP	Membership Service Provider – Module de contrôle d'accès
NIE	New Institutional Economics – Nouvelle Économie Institutionnelle
PKI	Public Key Infrastructure
PoW	Proof of Work
UPC	Universal Product Code

RÉSUMÉ

Cette recherche étudie les antécédents de l'émergence de la confiance dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire, dans un contexte de gestion basé sur l'utilisation d'une blockchain privée. Elle propose, plus précisément, d'explorer les antécédents de l'autorité algorithmique, et la dynamique entre cette dernière et les mécanismes de la confiance sociale, en vue d'élucider l'étendue de la capacité des blockchains à s'affranchir des aspects relationnels et institutionnels de la confiance dans les chaînes d'approvisionnement. Pour ce faire, une étude de cas unique sur le groupe CHO, l'un des plus grands opérateurs d'huiles d'olive conditionnée au monde, et sur ses filiales de distribution CHO America et CHO France a été réalisée. La chaîne d'approvisionnement à l'étude est propulsée par IBM Food Trust, une plateforme modulaire de blockchains permissionnées offrant des solutions applicatives personnalisées au secteur agroalimentaire. La collecte de données s'est concrétisée à travers un recueil de documents publics et internes sur le projet blockchain de l'entreprise et son flux de production, et au moyen d'entretiens semi-dirigés avec les responsables de CHO, notamment des membres de son équipe blockchain, des gestionnaires des ventes et des opérations et des responsables de la direction. Les dynamiques intra et inter-organisationnelles identifiées dans l'étude de cas ont été confrontées à une adaptation du cadre conceptuel de Batwa et Norrman (2021), adaptation qui se fonde sur une revue systématique de la littérature sur les blockchains et la confiance. Concrètement, l'analyse a identifié des barrières à la fois psychosociologiques, environnementales et fonctionnelles qui se heurtent à l'émergence de la confiance technologique et à la diffusion de l'autorité algorithmique à l'échelle de la grappe industrielle. Les plus notables relèvent de la fracture technoculturelle dans l'industrie agroalimentaire et de contraintes d'interopérabilités des blockchains, au détriment de sa commodité perçue. À ceux-là s'ajoute la portée limitée de l'autorité algorithmique qui augmente l'exposition aux aléas moraux et débouche sur l'importance de trouver un *Équilibre de la confiance* en tout point de la chaîne d'approvisionnement. Cette situation d'équilibre renvoie à la configuration optimale des mécanismes relationnels, institutionnels et algorithmiques de la production de confiance permettant à l'organisation de composer avec les incertitudes endogènes et exogènes de sa chaîne logistique et d'optimiser sa performance opérationnelle.

Mots clés : Blockchain, confiance, chaînes d'approvisionnement agroalimentaire, gestion logistique, autorité algorithmique, institutionnalisation.

ABSTRACT

This thesis investigates the antecedents of trust in food supply chains within a private blockchain-based management setting. It specifically explores the antecedents of algorithmic trust and the interplay between the blockchain's algorithmic authority and social trust production mechanisms, in an attempt to untangle the academic controversy surrounding the trustless claims of blockchain technology. For this purpose, a unique study case on the CHO Group, one of the largest olive oil producers and conditioners in the world, and both its subsidiaries CHO America and CHO France was carried out. The company's supply chain is powered by IBM Food Trust, a modular permission-based blockchain platform featuring custom Dapps, which were designed and tailored to address major pain points in the food industry. The case study data was collected by combining two sources of evidence, namely public and internal documentation on the company's blockchain project and supply chain activities, and through semi-structured interviews with CHO's executives, management team and blockchain team members. The intra and interorganizational dynamics were analyzed through the lens of the trust investigation framework of Batwa et Norrman (2021), which has been adapted to a systematic literature review on trust and blockchain technology. Assessment of these dynamics pinpointed both psychosociological, contextual and functional barriers to the development of trust in blockchain technology, which impediments the dissemination of algorithmic trust at the industrial cluster level. Most relevant factors are the techno-cultural divide in the agri-food ecosystem and the interoperability issues associated to blockchain architectures, to the detriment of its perceived convenience. These factors, in tandem with the limited reach of algorithmic authority, increase exposure to moral hazards, thus highlighting the importance of a *trust equilibrium* throughout the supply chain. This equipoise of trust signals refers to the optimal configuration of the relational, institutional, and algorithmic recourse that allows actors to mitigate endogenous and exogenous uncertainties in the supply chain, while optimizing operational performance.

Keywords: Blockchain, trust, supply chain management, agri-food, algorithmic authority, institution-based trust.

INTRODUCTION

La dernière décennie a suscité un regain d'intérêt pour le concept de la confiance, alimenté principalement par les dérives de la crise financière de 2008, qui ont été imputées à la défaillance des institutions et des gouvernements (Sapienza et Zingales, 2012). Plus récemment encore, le *capitalisme de surveillance* et ses divers abus technologiques ont été mis au jour par Shoshana Zuboff et Edward Snowden, accentuant encore plus le divorce entre les citoyens, les institutions et les intermédiaires, supposément de « *confiance* » (Greenwald, 2014, p. 77-131; Zuboff, 2019, p. 15-20). Il en résulta concrètement une *implosion de la confiance* dans divers secteurs économiques, suivie d'une généralisation de la défiance entre les différents acteurs sociaux (Edelman, 2017). Ces événements sont favorables aux plateformes digitales distribuées et notamment celles qui proposent de défier les modalités traditionnelles de la gouvernance sociale et économique. Parmi ces plateformes, les technologies blockchains se situent au cœur des débats. En quelques mots, il s'agit d'un système de registres distribués qui permet de capturer et de répertorier l'historique des transactions dans un cadastre permanent et infalsifiable (Garaus et Treiblmaier, 2021). Les principales caractéristiques à l'origine du caractère novateur des blockchain sont l'architecture distribuée, la transparence accrue, la sécurité cryptographique et l'immutabilité du registre transactionnel. Elle propose, dans sa forme canonique, de remplacer les organisations, ou les institutions dépositaires de la confiance au nom de l'intérêt général, par une communauté mue par l'individualisme de ses membres. Cette conciliation entre les capitaux personnels et collectifs devient l'essence même d'un partage mutuel de valeur au sein de la communauté, dont il devient dans l'intérêt de ses membres d'adhérer aux règles cryptographiquement définies dans le système (Lacity *et al.*, 2019). Les premières utilisations de la technologie exploitaient sa décentralisation et ses fonctionnalités cryptographiques pour offrir une alternative au système financier néo-institutionnel fortement centralisé. Rapidement, la technologie issue du système financier a trouvé d'autres applications dans divers secteurs d'activité, tels que l'économie de partage, l'administration publique, les droits contractuels ou encore la gestion des chaînes agroalimentaires. Ce dernier champ d'application reçoit une attention croissante de la part des chercheurs et des praticiens, qui perçoivent dans les caractéristiques de la blockchain une solution potentielle aux problèmes de la confiance dans le secteur de l'alimentation, secteur qui n'a pas su évoluer dans le contexte actuel des échanges globalisés et de la gouvernance digitalisée. Concrètement, sa structure

complexe et ses mécanismes antitratés le rendent vulnérable à l'opportunisme de ses différents acteurs économiques, et ce malgré les multiples barrières institutionnelles en place pour encadrer les relations et cadrer les moralités. Cette tendance est reflétée par la multiplication des soi-disant "accidents" de la fraude alimentaire encourus durant les dernières années (Dabbene *et al.*, 2014; Leong *et al.*, 2015). La résultante est une implosion de la confiance entre les partenaires de la chaîne d'approvisionnement alimentaire qui s'est rapidement généralisée auprès du consommateur, de plus en plus soucieux de la qualité des produits et des retombées potentiellement néfastes de la fraude alimentaire (Edelman, 2021). D'ailleurs, une enquête réalisée il y a quelques années par la compagnie d'audit, Price Waterhouse Coopers (PwC), a révélé que l'instauration de la confiance dans le secteur l'agroalimentaire est l'un des défis les plus importants à relever pour les entreprises (Leong *et al.*, 2015), et c'est justement sur cette lignée que Hu *et al.* (2021) alertent d'une crise globale de la confiance dans le secteur.

Devant cette conjoncture agitée, l'arrivée des blockchains fournit une alternative pour un partage sécuritaire et transparent d'informations entre les maillons de la chaîne d'approvisionnement alimentaire. La synchronisation de l'architecture distribuée, du consensus et des modèles cryptographiques élimine la fragmentation des sources de données et le risque de manipulation, ce qui a pour effet de réduire l'incertitude et de bonifier la confiance de *la ferme à la table* (Bumblauskas *et al.*, 2020; Cao *et al.*, 2021; Garaus et Treiblmaier, 2021). L'intégration des contrats intelligents et des Dapps sur la couche applicative du système permet le développement de solutions personnalisées, évolutives et adaptées aux besoins de chaque organisation (Joo et Han, 2021; Motta *et al.*, 2020). Ces solutions peuvent faciliter la gestion des flux informationnels et physiques (Tripoli et Schmidhuber, 2020), optimiser les processus de suivi et de dépistage (Kamath, 2018) et permettent vraisemblablement aux acteurs d'économiser sur les coûts de transactions (Kshetri, 2018). Au vu de ses composantes infrastructurelles et applicatives, nombre d'évangélistes technologiques profèrent que la blockchain introduit un nouveau canal digital de communications trans-organisationnelles qui surpasse le recours à la confiance sociale par l'autorité de son protocole algorithmique (Beck, R. *et al.*, 2016). Cependant, certaines expériences récentes, catalysées par un mouvement d'opposition critique à la logique de *l'affranchissement de la confiance*, ont révélé que l'application de la blockchain se heurte encore à la nature polycentrique

et aux incertitudes endogènes et exogènes dans les chaînes d’approvisionnement (Brookbanks et Parry, 2022; Powell *et al.*, 2022).

Le présent travail se positionne au cœur de la dichotomie et propose d’étudier le cas du groupe CHO, un acronyme pour Conditionnement des Huiles d’Olive, qui est l’un des plus grands producteurs d’huiles d’olive conditionnées en Tunisie et dans le monde. L’organisation opère trois phases du processus oléicole, à savoir la production, la transformation, et une portion de la distribution. Elle est également l’un des premiers cas de l’initiative Food Trust, une solution de blockchains permissionnées développée par IBM pour répondre aux enjeux de la traçabilité, de la transparence et de la confiance dans le secteur de l’agroalimentaire. Son système de gestion étant rodé et fonctionnel depuis maintenant plus de deux ans, le groupe CHO est un terrain de choix pour investiguer les dynamiques de confiance dans les chaînes d’approvisionnement agroalimentaire embarquées sur une blockchain privée. Concrètement, la recherche dresse un portrait holistique des variables institutionnelles, relationnelles et technologiques de la confiance dans l’écosystème alimentaire à l’étude, en vue d’identifier les antécédents et caractéristiques de l’autorité algorithmiques et de comprendre son impact sur les constructions de la confiance sociale. La méthodologie de la recherche suit un paradigme constructiviste et se concrétise au moyen d’un recueil documentaire et d’entrevues semi-dirigées réalisées avec les différents acteurs qui interviennent dans la transformation et la distribution des produits chez CHO. Finalement, une démarche analytique qualitative qui combine trois cycles itératifs de codages initiaux, axiaux et théoriques, a été appliquée sur les données.

La contribution de ce travail de recherche est à la fois théorique et pratique. D’une part, elle se démarque du corpus littéraire cryptofinancier dominant et se concentre sur les usages applicatifs de la technologie. Concrètement, la recherche participe au débat virulent sur la contextualisation de la confiance dans l’environnement blockchain et apporte des éléments de réponse et des pistes de réflexion à l’élucidation de la controverse scientifique. D’autre part, elle étudie le cas d’un chef de file dans son secteur d’activité et d’un système en plein essor, réputé pour être l’un des plus performants et matures dans l’industrie. Ce faisant, la recherche présente un aperçu direct des facteurs de la confiance et de la méfiance dans l’artefact blockchain, et explore la valeur ajoutée et

les limites concrètes de son autorité algorithmique en termes de réduction d’incertitude et de risques dans les chaînes d’approvisionnement alimentaire.

La structure du présent travail est la suivante. Le premier chapitre articule la problématique, la question de la recherche et ses objectifs. Est ensuite présentée une revue de la littérature qui se décline en trois grandes sections : la première décrit la genèse des blockchains et ses principales composantes technologiques. Celles-ci seront mises en perspective sous le prisme de la plateforme Hyperledger Fabric, un cadre modulaire de blockchains privées qui fournit une infrastructure pour le développement de solutions d’entreprises, dont la solution IBM Food Trust sur laquelle porte la présente étude. La deuxième section du chapitre débute par une présentation des chaînes d’approvisionnement agroalimentaire ainsi qu’une description de leurs principaux enjeux. Elle recense ensuite les travaux sur les blockchains ayant pour objectif d’atténuer ces enjeux, à la fois, dans la littérature et dans la pratique. Finalement, la confiance est étudiée, d’abord sous un prisme socio-économique, puis dans un contexte technologique, et enfin dans le cadre des blockchains. Le troisième chapitre décrit le cadre conceptuel utilisé pour l’investigation de la confiance et de ses antécédents technologiques et sociaux. Les éléments méthodologiques de la recherche, à savoir sa nature et les démarches retenues pour la collecte et l’analyse des données sont décrits dans le quatrième chapitre du rapport. Le cinquième chapitre présente les résultats de notre analyse du cas CHO, analyse qui est déclinée en trois sections. Elle est amorcée avec une description de l’entreprise et ses activités, suivi d’une modélisation de sa chaîne d’approvisionnement, ses architectures logistiques et technologiques ainsi que de ses flux informationnels et physiques. Les dynamiques observées sont ensuite interprétées sous prime du cadre conceptuel, avant de conclure avec une mise en évidence de la relation entre les dimensions de la confiance. La discussion de nos résultats est réalisée dans le sixième chapitre du présent rapport. Enfin, un chapitre de synthèse résume les principaux éléments de la recherche, en décrit les contributions théoriques et pratiques, de même que les limites, puis conclut en proposant des pistes de réflexion pour de futurs travaux.

CHAPITRE 1

PROBLÉMATIQUE, QUESTION ET OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

Le débat autour du rôle de la confiance sur l'équilibre socio-économique est un débat ancien qui date du 18^e siècle, avec les travaux d'Adam Smith et ses théories sur les sentiments moraux. Son importance pour la réalité sociale, historiquement érigée dans la littérature en macrosociologie, en a fait le centre d'intérêt dans plusieurs sphères disciplinaires dont la psychologie, les sciences politiques et juridiques, l'économie et récemment les systèmes d'information (Simon, É., 2007). Elle mitige les risques relationnels (Mayer *et al.*, 1995), développe les systèmes de relations interpersonnelles et interorganisationnelles (Delbufalo, 2012; Lewicki et Bunker, 1996; Morgan et Hunt, 1994), lubrifie les frictions entre les acteurs et permet vraisemblablement d'économiser sur les coûts de transactions (Beccerra et Gupta, 1999; Williamson, 1993). Pour reprendre Sapienza et Zingales « Sans confiance, la coopération s'effondre, le financement s'effondre, et l'investissement s'arrête. [...] S'il n'y a pas de confiance, il n'y a pas de progrès » (2012, p. 124, traduction libre).

Au-delà de ses répercussions sociétales, la confiance est un élément indispensable pour le fonctionnement des chaînes d'approvisionnement, si bien qu'elle est décrite par Morgan et Hunt (1994) comme étant « la pierre angulaire de tout partenariat stratégique » (p. 24, traduction libre). Concrètement, une abondante littérature a établi que la confiance réduit les risques et les incertitudes (Fiala, 2005), favorise la symétrie informationnelle et l'engagement entre les acteurs (Kwon, K.-W. et Suh, 2005), renforce la dynamique collaborative (Tejpal *et al.*, 2013) et contribue au développement d'alliances stratégiques et commerciales (Lewicki et Bunker, 1995; Morgan et Hunt, 1994). Le fait est, toutefois, que le développement de celle-ci dans les chaînes d'approvisionnement peut se heurter à leur complexité inhérente et à leur caractère dépolarisé. Le cas spécifique des chaînes alimentaires est particulièrement alarmant, souligne la firme internationale Edelman qui se spécialise dans le sondage du niveau de confiance auprès des individus et des organisations à travers le monde (Edelman, 2016, 2021). Dans son rapport de l'année 2021 dont l'entête affiche « le secteur de l'alimentation et des breuvages sur des bases instables », Edelman a relevé une baisse de 12 points de confiance dans l'industrie par rapport à l'année dernière, baisse qui est répartie entre les producteurs, les distributeurs et les distilleries (Edelman, 2021). Elle est due à un ensemble de facteurs à la fois endogènes et exogènes. D'abord,

l'émergence des chaînes transfrontalières, facilitée par la mondialisation et la digitalisation des échanges, a créé un climat d'incertitudes propice au développement d'asymétries informationnelles et d'aléas moraux (Leong *et al.*, 2015). À l'image de la thèse de Ulrich Beck sur la modernité réflexive et la société du risque, l'évolution des chaînes d'approvisionnement globales a donné naissance à de nouvelles formes d'incertitude et créé de nouvelles façons pour les sociétés humaines de produire et de distribuer les risques (Bodo, 2020). La conjoncture internationale actuelle a également exacerbé l'inefficacité des sources conventionnelles de conciliation des risques, créant, par le même fait, un déficit important de confiance à travers les sociétés civiles. Comme l'explique Beck (1992) dans son livre « *Risk Society : Towards a New Modernity* », la modernisation, l'industrialisation et l'avancée technologique ont introduit de nouvelles formes d'aléas et d'incertitudes à la société moderne. Ces phénomènes résistent aux logiques établies d'assurance en ce qu'elles sortent des cadres interprétatifs existants et créent un univers *d'individualisme et d'individualisation* inconnu par les acteurs économiques comme pour les institutions (Beck, U. *et al.*, 1992, p. 183-190). Il s'ajoute à cela un ensemble de variables environnementales et de contraintes logistiques, techniques et culturelles, qui peuvent d'autant plus encourager les acteurs économiques à se résoudre à leur opportunisme (Flynn *et al.*, 2016). Le résultat est une multiplication des incidents liés à la fraude avec des dépassements qui vont du simple étiquetage et l'adultération des produits jusqu'à la falsification des rapports d'analyses et la vente de produits périmés (Li, H. *et al.*, 2022). Les événements des plus extrêmes de fraude constituent une réelle menace pour la santé publique en raison du risque élevé de contamination. La *salmonelle végétale*, le *colibacille bovin*, la *macrocéphalie laitière* ou encore le *syndrome de l'huile toxique* font partie d'une longue liste d'incidents fortuits encourus durant les dernières années (Li, H. *et al.*, 2022; Visciano et Schirone, 2021). En quelques chiffres, le taux de fraude dans les organisations est passé de 33% à 47% dans la période entre 2014 et 2020, ce qui en fait le taux de fraude le plus élevé de l'histoire après la crise financière de 2008 (PwC, 2020). OPSON, une opération chapeauté par Interpol et Europol pour la lutte contre la fraude a rapporté environ 400 incidents de sécurité alimentaire en 2021 et la saisie de l'équivalent de 40 millions de dollars en biens non conformes (Interpol et Europol, 2021). Cette manifestation vraisemblable de l'opportunisme économique, la plupart du temps camouflée sous l'étendard de la négligence humaine, n'est que portion des 40 milliards de coûts annuels liés à la fraude dans le secteur de

l'agroalimentaire estimés par l'Organisation Mondiale pour l'Alimentation, la FAO (Sylvester, 2019; Visciano et Schirone, 2021).

Pour faire face à la conjoncture socio-économique et répondre à la crise globale de la fiabilité alimentaire déclarée par Hu *et al.* (2021), nombre d'académistes et d'institutions ont suggéré une transition vers des systèmes de suivi et de gestion basés sur des blockchains, et à leur tête la FAO. Dans un rapport récent sur l'avenir du secteur agroalimentaire, la FAO a déclaré que les blockchains profiteraient « *rapidement et durablement* » à toutes les parties des chaînes de valeur alimentaires, et ce grâce à ses gains incontournables d'efficacité, de confiance, de transparence et de traçabilité (Tripoli et Schmidhuber, 2020, p. ix). Son rapport étudie l'écosystème alimentaire dans son intégralité, y compris ses acteurs organisationnels, politiques, socio-environnementaux, de même que les organes de financements et de subventions (*ibid.*). L'enthousiasme sur le potentiel des blockchains est aussi partagé par la firme internationale de conseils stratégiques *Mckinsey & Company*, qui estime que le secteur de l'agroalimentaire pourrait être l'un des premiers à profiter pleinement de l'implémentation de la technologie (Alicke *et al.*, 2017). D'ailleurs, l'engouement actuel des investissements organisationnels dans les blockchains est estimé à 139.6 millions, avec des projections de 1,5 milliard d'ici l'horizon 2026 (BIS, 2022).

Cependant, si plusieurs appellent à l'intégration de la technologie pour restaurer la confiance en déclin dans le secteur alimentaire, la réalité est qu'il n'existe que très peu de solutions opérationnelles et concrètes dans l'industrie, ce qui en soi, est une solide indication de disproportions entre ce qui est théoriquement attendu des blockchains, d'un côté, et la maturité de l'artefact et de son environnement de déploiement, de l'autre (Xiong *et al.*, 2020). Selon l'expert en chaînes d'approvisionnement et auteur du livre « *Supply chain Management Best Practices* », David Blanchard, la blockchain enregistre le taux d'adoption le plus bas de toutes les technologies disruptives dans l'industrie, un taux que le professeur du Harvard Business School, Karim Lakhani explique par le scepticisme des dirigeants d'entreprise et le battage médiatique malencontreux qui brouille la réelle valeur de la technologie (Blanchard, 2019). Sur le plan académique, Kamilaris *et al.* (2019) également, ont identifié une tendance à l'échec au niveau des implémentations de la technologie dans le secteur de l'agroalimentaire, en soulignant que la plupart des projets ne parviennent pas à dépasser la phase pilote. Les auteurs imputent le taux élevé d'échecs expérimentaux à une complexité inattendue et non prise en considération liée aux blockchains, et

à des attentes souvent surévaluées de la part des promoteurs de projets (2019, p. 647). Des résultats similaires sont décrits par Xu, J. *et al.* (2020), Vu *et al.* (2021) et Chen *et al.* (2020) qui identifient plusieurs défis, tant techniques qu'organisationnels et environnementaux, empêchant la popularisation de la technologie dans les milieux organisationnels. En réalité, seulement 16 de ce que Lacity *et al.* (2019, p. xiv) appellent les « *next generation technologies* » sont listés dans le rapport de « l'analyse globale de la blockchain dans les marchés agricoles et agroalimentaires » de la BIS Research, qui se promeut leader en matière d'intelligence de marchés et de recherche technologique (BIS, 2022). Ces applications sont pour la plupart permissionnées, c'est-à-dire qu'elles incorporent une composante d'authentification de contrôle d'accès dans l'infrastructure de la blockchain. Elles sont contrôlées par des acteurs de l'industrie technologique et ont réussi à passer la phase de prototypage et d'expérimentation grâce à une collaboration étroite avec des acteurs de l'industrie alimentaire. Deux parmi les projets listés dans le rapport reviennent souvent dans les lectures : le projet « Provenance », l'un des premiers cas blockchains dans l'industrie et qui reçoit l'appui du Parlement Européen (Provenance, 2016); et l'application commerciale de « IBM Food Trust » sur laquelle portera la présente étude (Blaha et Katafono, 2020; Kamilaris *et al.*, 2019; Sylvester, 2019; Vu *et al.*, 2021; Xiong *et al.*, 2020; Xu, J. *et al.*, 2020).

L'immaturation et l'incompréhension actuelle des blockchains se reflètent également sur la littérature dans laquelle la causalité entre la technologie et l'élimination systématique de l'incertitude dans les chaînes d'approvisionnement est de plus en plus contestée, et où la confiance est incontestablement l'un des sujets les plus controversés (Auinger et Riedl, 2018; De Filippi, 2019; Hawlitschek *et al.*, 2018). Selon nombre de ses évangélistes, la technologie permettrait à des entités qui ne se font pas mutuellement confiance d'interagir en toute confiance dans un environnement transactionnel décentralisé. Ce raisonnement, ancré du qualificatif « *Trustless* » ou « *Trust-Free* », a été popularisée par la fameuse déclaration de l'inventeur de la première blockchain Bitcoin : « nous proposons un système de transactions électroniques qui ne repose pas sur la confiance » (Nakamoto, 2008, p. 13, Traduction libre). Par son assemblage habile de primitives cryptographiques et de protocoles technologiques, Bitcoin a introduit un schéma transactionnel décentralisé et autogouverné par ses pairs. Ce schéma est l'essence même de son caractère révolutionnaire si bien décrit par Tapscott et Tapscott (2016), puisqu'il élimine le besoin de faire confiance aux intermédiaires bancaires et, au sens large, toute dépendance à la *société de la*

*défi*ance décrite par Yann Alagan et Pierre Cahuc. Ainsi, la confiance s'éclipse et est substituée par une certitude dans le fonctionnement algorithmique des blockchains ce qui élimine toute perception de vulnérabilité et crée, chez les utilisateurs, une *assurance* dans le comportement de leurs partenaires transactionnels (Beck, R. *et al.*, 2016; Greiner et Wang, 2015).

En opposition au courant de l'affranchissement de la confiance se dresse un mouvement critique suggérant que le solutionnisme technologique et la restauration sociétale ne peuvent rompre avec la réalité sociale. Concrètement, ce que De Filippi (2019) considère être *le piège du rêve de la non-confiance* n'est qu'une évidence que l'autorité algorithmique des blockchains repose d'abord sur une confiance sociale et qu'une hybridation entre ses catalyseurs classiques et l'institutionnalisme technologique est nécessaire. Le contraste est aussi parfaitement bien résumé dans le paradoxe du *trustless-trust* que l'expert dans les technologies émergentes, Kevin Werbach, décrit dans son livre « The blockchain and the New Architecture of Trust » (2018a, p. 28). L'oxymore utilisé reflète à la fois une dynamique de *substitution*, de *support* et de *complémentarité* entre l'autorité algorithmique et la confiance (Werbach, 2018b). D'une part, la substitution sous-entend que les blockchains incarnent les propriétés d'une *institution économique* au sens de North et qu'elle serait ainsi capable de diriger l'action humaine et de vérifier les informations, sans se soumettre à l'autorité humaine. La dynamique de support, d'autre part, signifie que l'autorité algorithmique se doit d'être appuyée par des constructions sociales de la confiance afin de diriger l'action humaine. Finalement, la complémentarité signifie que la conjugaison des règles institutionnelles, relationnelles et technologiques peut étendre les architectures existantes de la confiance, créant ainsi de nouvelles opportunités économiques auparavant insoutenables (2018b, p. 536-541).

En plus du fait que la jonction des connaissances sur la confiance et les blockchains ne soit pas clairement définie, une carence dans les travaux qui traitent des usages de la technologie dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire a été constatée. Concrètement, l'examen récent de la littérature réalisé par Frizzo-Barker *et al.* (2020) a révélé que 9 publications sur chaque 10 publications sur les blockchains s'intéressent à la *Cryptoéconomie* et la *Lex Cryptographica*, deux disciplines émergentes qui étudient les cryptomonnaies et la gouvernance distribuée des blockchains (Frizzo-Barker *et al.*, 2020). Ces constats, à l'appui de l'analyse bibliométrique de Xu, M. *et al.* (2019), indiquent que l'ancrage cryptotechnique constaté il y a quatre ans par Notheisen, Hawlitschek, *et al.* (2017) et Hawlitschek *et al.* (2018) persiste, d'où l'importance de concentrer

les recherches sur les aspects sociaux de la technologie. La carence dans la littérature a également été soulignée par Chen *et al.* (2020) et Vu *et al.* (2021) qui s'intéressent exclusivement aux usages des blockchains dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire. N'ayant consigné aucune publication avant 2017, les auteurs argumentent que la carence dans la littérature est due à l'actualité de ce champ d'application des blockchains qui n'aurait commencé à prendre de l'importance qu'après la publication des résultats du projet pilote IBM Food Trust par Kamath (2018) et la communauté Hyperledger (Hyperledger, 2019). La tendance est d'ailleurs reflétée par les résultats de la requête que les auteurs ont réalisés sur les bases de données où l'on peut clairement voir une augmentation constante dans le nombre de travaux publiés sur le sujet à partir de 2019.

Il convient également de souligner que tous les éléments que nous avons soulevés jusqu'à présent ont été retrouvés dans notre revue systématique de la littérature, revue qui a été guidée par les recommandations de Webster et Watson (2002). Concrètement, il a d'abord été constaté que la confiance est souvent prise pour acquise dans les publications scientifiques et professionnelles qui portent sur les blockchains et leurs applications dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire. La plupart admettent que les attributs de la transparence et de l'immutabilité contribueront systématiquement à l'émergence de la confiance entre les acteurs du système alimentaire, confiance qui fait cependant très rarement l'objet de recherches et qui n'est souvent que brièvement mentionnée. Certains chercheurs basent leurs logiques sur le corpus abondant des travaux sur les systèmes distribués où une relation de causalité entre la symétrie informationnelle et le développement de la confiance avait été établie. D'autres sont adhérents à la logique de l'affranchissement et considèrent en l'occurrence que l'utilisation de la blockchain élimine l'incertitude et la vulnérabilité. Notre requête a également identifié une carence notable en travaux empiriques dans la littérature actuelle, fortement dominée des publications *descriptives*, *conceptuelles*, *prédictives* ou *prescriptives*. Le résultat de cette tendance théorique, d'ailleurs explicitée par Vu *et al.* (2021) et Wang *et al.* (2019), est une littérature fortement dominée par des théorisations fictives et guidée par le technophilisme enthousiaste de ses chercheurs qui tendent à s'intéresser exclusivement aux attributs disruptifs de la technologie. Cette tendance a d'ailleurs clairement émergé dans l'analyse thématique de Chen *et al.* (2020) qui rapportent une

concentration à 78,3% des travaux sur les bénéfices procurés par les blockchains dans l'industrie, à la négligence des défis et des barrières auxquelles la technologie fait face.

Pour mettre cette carence en contexte, seulement 4 sur les 96 articles que nous avons analysés dans notre revue proposaient une étude empirique de la confiance dans les chaînes d'approvisionnement embarquées sur une blockchain, et un seul de ses travaux est de nature qualitative et étudie une chaîne d'approvisionnement opérationnelle. La recherche en question est celle de Brookbanks et Parry (2022) qui explorent l'impact de la blockchain sur la dynamique relationnelle entre les producteurs, les importateurs, les transporteurs et les agents frontaliers dans un contexte d'import-export de vins en bouteilles. Les auteurs analysent l'angle de la confiance relationnelle et se concentrent sur les changements induits par l'utilisation d'une blockchain permissionnée sur les croyances de fiabilité du point de vue de chaque classe d'acteurs. La combinaison d'entrevues semi-dirigées et d'une analyse qualitative conclut sur la persistance des variables relationnelles pour les échanges interorganisationnels, avec une remise en question de l'argument du *trustless scheme* (Brookbanks et Parry, 2022). Pour ce qui est des trois autres recherches empiriques que nous avons identifiées dans notre revue de la littérature, Cao *et al.* (2021) combinent une méthodologie de science du design à une analyse textuelle qualitative pour explorer l'impact d'une traçabilité transnationale basée sur une blockchain privée sur la confiance des consommateurs dans un contexte d'échange de produits bovins entre l'Australie et la Chine. Les auteurs sondent un focus group composé de consommateurs réguliers sur leur perception du système BeefLedger, un système de traçabilité expérimental basé sur Ethereum. Le système permet aux consommateurs de retracer le cycle de vie du bétail dont les étapes de production et de la transformation sont attestées via des certificats d'authenticité cryptographique. Les opinions ont servi de base pour la conceptualisation d'un prototype de système blockchain qui reflète les exigences des consommateurs en termes de confiance dans une chaîne d'approvisionnement alimentaire (Cao *et al.*, 2021). Garaus et Treiblmaier (2021) aussi se concentrent sur le segment de la consommation, et plus précisément sur l'impact des blockchains sur la fiabilité, perçue par les consommateurs, des chaînes de vente au détail. Les auteurs établissent une analyse statistique des résultats d'un sondage où des étudiants sont présentés avec deux choix de scénarios. Le premier est une chaîne de vente au détail réputé et dont les flux informationnels sont embarqués sur une blockchain. Le deuxième utilise une base de données centralisée pour la traçabilité de ses produits (Garaus et Treiblmaier,

2021). Enfin, Joo et Han (2021) proposent une analyse qualitative des réponses à un questionnaire communiqué à 318 producteurs agricoles chinois qui utilisent la blockchain VeChain pour partager leurs données avec les autres membres de la chaîne d'approvisionnement. Adhérant à la logique du Trust-Free, les auteurs analysent la relation entre les aspects de la traçabilité, la transparence et la sécurité des blockchains, la confiance technologique et la satisfaction des utilisateurs. Cette recherche est également conclue par une discussion sur la portée de l'affranchissement de la confiance et ses limites.

En prenant en compte la maturité des projets blockchains dans le secteur agroalimentaire, maturité qui se répercute sur la compréhension et les usages de la technologie en industrie, et en reflétant sur la controverse de la confiance et sur le manque de travaux empiriques dans la littérature, nous posons la question suivante :

Comment la mise en œuvre d'une blockchain privée compose-t-elle avec l'émergence de la confiance dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire?

Pour répondre à la question de recherche, une étude de cas unique sur le groupe tunisien CHO, l'un des plus grands producteurs et distributeurs d'huile d'olive conditionnée au monde, a été réalisée. En collaboration avec IBM, le groupe CHO a lancé une initiative de système basé sur la blockchain à permissions FoodTrust afin de gérer le suivi et la gestion de sa chaîne d'approvisionnement d'huile d'olive. Ce système rassemble les différentes parties prenantes au processus oléicole autour de huit points de contrôle de la qualité durant les phases de la production, de traitement, d'entreposage et de distribution. Concrètement, notre recherche, souscrivant à la théorisation ancrée, se démarque des travaux existants en investiguant l'autorité algorithmique sous l'angle des antécédents de l'émergence de la confiance dans la chaîne d'approvisionnement. Elle se concentre également sur le segment de la transformation et sur les relations avec cet acteur focal, acteur qui n'a toujours pas été empiriquement exploré dans la littérature. La confiance sera étudiée sous une optique technologique, relationnelle et institutionnelle, ce qui permettra de concilier objectivement entre le solutionnisme et ses critiques et de dresser un portrait holistique des dynamiques de la confiance dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire. La dimension technologique reflète la confiance dans les mécanismes de la blockchain et sa capacité à atténuer les risques et l'incertitude comportementale, voire à les éliminer comme le suggèrent les partisans du *Trust-Free*.

Parallèlement, l'angle des antécédents de la confiance sociale, qui n'est d'ailleurs que reflétée par un recours potentiel à des mécanismes d'institutionnalisation sociopolitiques et à l'évaluation cognitive de la fiabilité des partenaires, permettra de vérifier l'étendue de l'affranchissement et d'identifier les limites potentielles de l'autorité algorithmique en termes de création de confiance dans les chaînes d'approvisionnement. Dans le souci de répondre aux règles de la clarté et la concision d'une question de recherche que souligne Noël (2011, p. 74-75) dans son livre sur la « *conduite d'une recherche : mémoires d'un directeur* », nous diviserons la nôtre en trois sous-questions qui reflètent davantage les objectifs de notre recherche :

- Quels sont les antécédents de la confiance technologique et de l'autorité algorithmique dans une blockchain privée appliquée dans une chaîne d'approvisionnement alimentaire?
- Quels sont les dimensions et les antécédents de la confiance sociale dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire dans un contexte d'usage de blockchains?
- Comment l'autorité algorithmique des blockchains se reflète-t-elle sur les dynamiques relationnelles et institutionnelles de la confiance telles qu'elles sont perçues par les acteurs de la chaîne d'approvisionnement?

Notre recherche privilégie l'axe de la *hauteur* dans le « *compromis de la faisabilité* » décrit par l'auteur, compromis que nous élevons d'ailleurs à la faisabilité de la *contribution*, et non pas celle de la *réalisation* du projet (Noël, 2011, p. 77). Ce positionnement, reflété par une interrogation explicite sur la confiance, renvoie à une réflexion d'ordre stratégique sur le potentiel de la blockchain, ses limites, et ses implications à la fois sur le plan individuel, organisationnel et interorganisationnel. Au niveau de la *largeur*, notre recherche se place à l'échelle de l'industrie agroalimentaire et peut donc servir à l'usage de toutes les entités traversées par une même chaîne d'approvisionnement, notamment de la production, de la transformation, de la distribution et même aux consommateurs. Il convient également de préciser qu'une partie de nos résultats peut être généralisée en dehors du contexte applicatif des chaînes d'approvisionnement alimentaire. Nous portons l'attention aux antécédents de la confiance – et/ou de la méfiance – dans l'artefact de la blockchain et sur la relation entre l'autorité algorithmique et la confiance, qui pourraient être extrapolés sur tout usage de la technologie dans le cadre de la gestion logistique. Pour ce qui est de la *profondeur*, notre recherche se situe au niveau des systèmes de gestion et contribue principalement à la discipline des SI.

CHAPITRE 2

REVUE DE LA LITTÉRATURE

Ce chapitre présente une revue de la littérature sur les thèmes des blockchains, des chaînes d’approvisionnement alimentaire et de la confiance. Elle prend pour référence la littérature sur les systèmes d’information ainsi que des disciplines connexes telles que la psychologie, la sociologie, l’économie et les sciences politiques dans lesquelles la confiance a été abondamment étudiée. L’état de l’art a été organisé en trois grandes sections : la première introduit les blockchains et en décrit les composantes et les mécanismes technologiques. Elle met l’emphase sur les blockchains à permissions dont le fonctionnement est illustré à travers l’exemple d’Hyperledger, pour conclure avec un aperçu des avantages et des limites de la technologie. Sont ensuite introduites, dans une seconde grande section, les chaînes d’approvisionnement alimentaire, leurs composantes et caractéristiques ainsi que les principales applications de la blockchain pour la gestion de celles-ci. Pour finir, une dernière section pose un diagnostic de la littérature sur la confiance et ses dimensions, d’abord sous une optique socio-économique et technologique, puis dans le contexte spécifique des blockchains et de leurs usages dans les chaînes d’approvisionnement alimentaire. Les concepts et modèles théoriques identifiés dans l’état de l’art serviront de tremplin pour la construction de notre cadre conceptuel et pour l’analyse de nos données.

2.1 Les technologies blockchains

Les blockchains sont perçues, au regard de la littérature, comme des technologies relativement complexes. Ainsi, une introduction aux composantes techniques et aux aspects fonctionnels de ces technologies s’avère nécessaire. Cette section a pour objectif de présenter les blockchains et de décrire leurs fondements théoriques sous un angle technique et fonctionnel.

2.1.1 La genèse des chaînes de blocs

L’origine des chaînes de blocs (ou *blockchains* en anglais) remonte aux années 1990. Comme nous l’explique De Filippi (2018, p. 7-15), cette technologie est le résultat de la révolte d’un groupe d’individus appelés cypherpunks, qui revendiquaient les libertés fondamentales des internautes. Alors que la menace du *capitalisme de surveillance* dénoncée plus tard par Shoshana Zuboff devenait de plus en plus réelle et que certaines libertés commençaient à être remises en question,

les cypherpunks partageaient une idéologie de réseaux démocratiques et décentralisés où les technologies permettraient d'interagir librement et en toute confidentialité (De Filippi, 2018, p. 8). Les discussions des cypherpunks abordaient des questions d'ordres mathématiques, politiques, et philosophiques, dans l'ultime de but de construire une architecture numérique décentralisée où les principes anarchistes et les modèles cryptographiques protégeraient les individus contre les abus cybernétiques (Chohan, 2017). Leur vision sociétale reposait concrètement sur la popularisation de la cryptographie afin de protéger, entre autres, contre la surveillance controversée et non mandatée de la NSA et les interceptions de la chambre 641A¹. Au sens large, la cryptographie rassemble un ensemble de méthodes et de techniques de chiffrement et de déchiffrement pour préserver l'authenticité et la confidentialité des données². Les Cypherpunks se sont approprié certaines technologies de chiffrement telles que la cryptographie asymétrique et la cryptographie RSA, un acronyme basé sur les initiales de ses inventeurs Ronald Rivest, Adi Shamir et Leonard Adleman. Cette vision est expliquée par Eric Hughes dans un extrait du *manifeste d'un cypherpunk* publié en 1993 :

La vie privée dans une société ouverte requiert des systèmes d'échanges anonymes [...] Un système anonyme renforce le pouvoir des individus à révéler leurs identités quand ils le désirent et seulement quand ils le désirent; c'est l'essence même de la vie privée. La vie privée dans une société ouverte requiert également la cryptographie. [...] Crypter, c'est indiquer le désir d'une vie privée, et crypter avec une faible cryptographie est l'indication d'un désir faible pour une vie privée. En outre, révéler son identité avec assurance lorsque l'anonymat est par défaut requiert une signature cryptographique. Nous ne pouvons attendre des gouvernements, des entreprises et des autres organisations majeures sans visage de nous accorder une vie privée par acte de bienveillance. (Hughes, 1993, p. 81-82, traduction libre)

L'effervescence autour de la cryptographie a inspiré certains académiques de l'époque, dont Stuart Haber et W. Scott Stornetta. Leur papier intitulé « *How to Time-Stamp a Digital Document* » publié en 1991 proposait un modèle de calcul qui introduit une structure de stockage en chaîne pour documents numériques (Haber et Stornetta, 1991). Ce modèle utilisait des techniques

¹ La chambre 641A ou « Room 641A » a été utilisée par un nombre d'opérateurs Américains dans le but d'intercepter les appels téléphoniques pour le compte de la NSA. Le président Bush a confirmé l'histoire en 2006. Pour plus de détails sur la mission : Wolfson, S. M. (2007). The NSA, AT& (and) T, and the Secrets of Room 641A. *ISJLP*, 3(3), 411-441.

² https://www.oqlf.gouv.qc.ca/ressources/bibliotheque/dictionnaires/terminologie_sec_informatique/cryptographie.html

cryptographiques pour horodater les documents en leur attribuant un *hash*. Le hash est un identifiant unique qui renvoie au contenu du document et à ses informations. Le principe du modèle proposé est le suivant : chaque document est transféré à un service d'horodatage qui agit comme un « coffre-fort numérique ». Ce service générera un hash et signera le document avec sa date et heure d'ajout. La signature cryptographique sera envoyée au client pour assurer l'authenticité du document et des données qu'il contient. En outre, chaque altération à son contenu modifiera son hash, et la signature sera, par conséquent, invalide.

Au cœur du mouvement Cypherpunks, un courant plus politisé partageait des motivations qui s'étendaient au-delà de la protection des libertés fondamentales et du désir de protéger la vie privée des utilisateurs. Ce groupe d'individus, intitulés les crypto-anarchistes, revendiquait la suprématie du marché et se voulait une complète indépendance à l'égard de toute institution gouvernementale ou étatique (De Filippi, 2018, p. 9). Dans un article intitulé « Cryptoanarchism and Cryptocurrencies », Chohan (2017) explique que la philosophie crypto-anarchiste fait référence à l'utilisation de la cryptographie pour des fins anarchistes dans le domaine numérique. Alimenté par une idéologie libertarienne, ce groupe de militants prône la libération des réseaux et refuse ainsi de céder aux lois instaurées par l'État. Timothy May développe dans un extrait du manifeste de la crypto-anarchie:

Tout comme la technologie de l'imprimerie a altéré et réduit le pouvoir des guildes médiévales et la structure du pouvoir social, les méthodes cryptologiques vont fondamentalement modifier la nature des sociétés et l'interférence des gouvernements dans les transactions économiques. Combinés aux marchés émergents de l'information, la crypto-anarchie créera un marché liquide, pour toute matière pouvant être traduite en mots ou en images (May, 1992, p. 1, Traduction libre).

Qu'il s'agisse des cypherpunks ou des crypto-anarchistes, la désintermédiation des transactions financières constituait une étape nécessaire pour la libération des marchés économiques. Plusieurs initiatives ont été entreprises dans cette optique, les plus marquants étant DigiCash (1989), HashCash (1997), B-Money (1998), et BitGold (1998). HashCash, par exemple, a introduit le modèle de calcul *proof of work*, ou *PoW* (inventé à l'origine pour lutter contre le spam), où chaque individu voulant utiliser un service devait effectuer une certaine quantité de travail informatique préalable pour prouver la légitimité de sa requête (Back, 2002). L'expéditeur d'un courriel devra joindre un timbre HashCash à son courriel. Du côté destinataire, un plugin HashCash vérifie la

preuve de travail informatique, c'est-à-dire la présence du timbre informatique joint par l'expéditeur, et classe le courriel en conséquence. Il convient de mentionner que le mécanisme de la preuve de travail s'est généralisé avec la prolifération des technologies et la popularisation des réseaux. Un exemple populaire de PoW est celui du Captcha³, utilisé de nos jours pour lutter contre les bots (Back, 2002, p. 7). Inspiré par le mécanisme de la preuve de travail, le cypherpunk Wei Dai introduit le système B-money, un système de paiements électroniques *distribué et anonyme* (Dai, 1998). Dai propose, dans une communication publiée en 1998, de synchroniser la création de monnaies virtuelles avec un mécanisme de vérification basé sur la preuve de travail. Il explique que tout participant pouvant prouver qu'il a résolu un problème informatique serait récompensé avec une certaine quantité de monnaie virtuelle proportionnelle au travail fourni. Dai propose deux protocoles d'arbitrage pour vérifier la validité des transactions. Le premier, qu'il estime *impraticable*, implique un consensus distribué entre tous les utilisateurs du système. Cela signifie que chaque utilisateur dispose d'une instance de la base de données qui contient toutes les transactions, et celles-ci ne peuvent être ajoutées à la base de données que si tous les utilisateurs l'approuvent (Dai, 1998). Le deuxième mécanisme proposé implique un consensus moins distribué, où l'historique du registre est maintenu par un nombre restreint d'utilisateurs (appelés serveurs), qui sont choisis aléatoirement pour valider les transactions. Si les modèles proposés par Dai étaient conceptuellement valides, ils faisaient défaut d'un protocole de communication synchrone pour fonctionner correctement et surpasser un problème d'actualité à l'époque, connu sous le nom de la « *double dépense* ». Concrètement, lorsque le consensus n'est pas synchronisé, un individu pourrait dépenser plusieurs fois la même monnaie virtuelle (De Filippi, 2018, p. 12). Cette faille a fait que le système ne soit jamais développé. Toutefois, le concept a été repris et intégré dans Bitcoin, de même qu'il est cité dans le livre blanc publié en 2008 par son inventeur Satoshi Nakamoto (Nakamoto, 2008).

À la différence de B-money, BitGold qui a été proposé par le cypherpunk Nick Szabo, a incorporé les méthodes d'horodatage pour permettre au système de fonctionner de manière asynchrone. Dans son article critique intitulé « *The God Protocols* » publié en 1999, Szabo souligne un conflit

³ À l'opposé de la preuve de travail informatique, le mécanisme Captcha nécessite une preuve de travail humaine. La résolution de l'algorithme, aussi facile soit-elle pour l'humain, nécessite une puissance de calcul importante si elle devait être résolue par la machine.

d'intérêts où la confidentialité des utilisateurs se heurte aux intérêts des institutions responsables de la coordination et la gestion des réseaux. Il proposait ainsi un modèle qui enchaîne chronologiquement les transactions les unes après les autres au moyen d'une signature digitale. La solution de chaque équation est incorporée dans la prochaine équation à résoudre, produisant une séquence de transactions interconnectées. Le croisement des signatures permet aux membres du réseau de valider l'historique des transactions et d'éliminer la gouvernance des tiers (Szabo, 1999). De Filippi (2018, p. 13) explique que ce mécanisme a permis de résoudre le problème de la double dépense qui affectait la plupart des systèmes de paiements électroniques décentralisés de l'époque. Le système faisait toutefois face à des attaques, dites *Sybil*⁴, qui empêchaient son fonctionnement. Ce n'est qu'en 2004 que le premier prototype fonctionnel de monnaie virtuelle a été développé le cypherpunk Hal Finney. Inspiré de HashCash, B-Money et BitGold, le système s'appuyait sur des preuves de travail réutilisables (*Reusable proofs of works*), de manière que tout individu ayant effectué un effort computationnel suffisant puisse bénéficier d'un jeton numérique, ou token. Le système éliminait la double dépense grâce à son architecture centralisée, où un serveur focal renseignait la propriété de l'ensemble des jetons sur le réseau. L'expéditeur de fonds peut transférer la propriété de son actif en informant le serveur au moment de la transaction (2018, p. 14). Le modèle de Finney incorporait également des méthodes cryptographiques pour anonymiser les propriétaires de jetons et préserver la confidentialité des utilisateurs du système. Il ne répondait toutefois pas aux critères de l'autonomie et l'indépendance en raison de sa nature centralisée (De Filippi, 2018, p. 14).

2.1.1.1 L'émergence de la première blockchain : Bitcoin

À la suite de l'effondrement de l'industrie financière mondiale en 2008 et du déclin global de la confiance décrit par Sapienza et Zingales (2012), une entité sous le pseudonyme *Satoshi Nakamoto* a publié un livre blanc intitulé « *Bitcoin : A Peer-To-Peer Electronic Cash System* » (Nakamoto, 2008). L'article remettait en question la fiabilité du modèle économique actuel et appelait à la décentralisation des transactions financières. Il proposait également une solution pragmatique qui permettrait, selon les dires de Nakamoto, « d'éliminer le recours à la confiance » (2008, p. 13). Il s'agit du protocole d'un système de paiements électroniques basé sur des preuves cryptographiques

⁴ Les Sybils sont des « attaques qui consistent à créer un grand nombre de fausses identités sur un réseau de pair-à-pair, afin d'en détourner le fonctionnement » (De Filippi, 2018, p. 13).

qui permet à des entités individuelles « d'effectuer des transactions les unes avec les autres sans passer par un intermédiaire de confiance » (2008, p. 1). Ce système est le produit d'un raffinement de visions et de techniques préexistantes : à l'instar de B-Money, il est basé sur un serveur distribué de pair-à-pair et est géré par ses utilisateurs grâce à un mécanisme d'horodatage. Un consensus distribué basé sur la preuve de travail garantit le transfert de la valeur sans le recours à un intermédiaire bancaire et financier. Celui-ci est synchronisé avec un système de récompense, ce qui permet d'éliminer la double dépense et assure la continuité et l'autonomie du système. En définitive, le schéma proposé, décrit par Georgiana-Loredana (2019, p. 884) comme « *le produit de la méfiance envers les institutions financières* », présente une alternative aux modèles transactionnels classiques. Tapscott et Tapscott (2016) expliquent le caractère innovant et disruptif de ce système:

Plutôt que de faire confiance aux entreprises et aux gouvernements pour vérifier l'identité des personnes et se porter garant de leur réputation, il est possible de faire confiance au réseau. Pour la première fois, nous bénéficions d'une plateforme qui garantit la confiance dans la transaction et les informations enregistrées, quel que soit le comportement de l'autre partie. (Tapscott et Tapscott, 2016, p. 33, traduction libre)

La proposition de Nakamoto a été développée en janvier 2009 pour donner naissance à la blockchain Bitcoin, la première application fonctionnelle déployée sur un réseau de chaînes de blocs. Le premier bloc de ladite chaîne, appelé *Genesis Bloc*, contient les informations sur la première transaction effectuée sur le système. Nakamoto a intégré, dans ce bloc, le titre d'un article publié par le journal *The [London] Times - Chancellor on brink of second bailout for banks*⁵ - qui décrit l'incapacité du gouvernement britannique devant la crise financière de 2008. Selon De Filippi, il s'agissait d'un message qui reflète « les motivations sous-jacentes à la création de Bitcoin, ainsi qu'une preuve concernant la date de lancement du réseau » (2018, p. 15). Les trois premières années suivant l'émergence de Bitcoin n'ont pas été particulièrement marquantes. En réalité, ce n'est qu'en octobre 2009 que le premier échange de cryptomonnaies contre de la monnaie fiduciaire a été enregistré sur le site *New Liberty Standard*. Le taux de change, qui était de 1 USD pour 1006 BTC, avait été calculé sur la base de l'énergie nécessaire pour produire la cryptomonnaie. En mai 2010, 10,000 bitcoins ont été échangés pour payer deux pizzas d'une valeur de 25\$ (Ammous,

⁵ L'article est accessible à partir de l'adresse suivante : <https://www.thetimes.co.uk/article/chancellor-alistair-darling-on-brink-of-second-bailout-for-banks-n9l382mn62h>

2018, p. xvi)⁶. À partir de 2011, l'écosystème de Bitcoin a été propulsé exponentiellement grâce à la fameuse *route de la soie*, période durant laquelle les utilisateurs exploitaient les caractéristiques de l'anonymat et le défaut de régulation pour l'échange de cannabis, des produits stupéfiants et de narcotiques (Böhme et al., 2015)⁷. Une enquête réalisée par le gouvernement américain lors de l'affaire contre Ross William Ulbricht, reconnu coupable d'avoir créé ce marché parallèle, a révélé que la taille du marché de la soie avait dépassé les 214 millions de dollars durant la période entre 2011 et 2013, avec plus de 9.9 millions de bitcoins transigés. La suspension de ce marché après la condamnation d'Ulbricht a situé le système Bitcoin au centre d'une euphorie médiatique à l'issue de laquelle le volume du registre de transactions (la base de données blockchain) est passé de 5 GB en 2013 jusqu'à 380GB en 2021.

Au cœur de cette euphorie, de plus en plus de regards ont été portés sur l'infrastructure technologique qui a rendu possible le fonctionnement de Bitcoin, et qui n'est rien d'autre que sa blockchain sous-jacente. En 2016, le terme apparaît pour la première fois dans le rapport annuel de Gartner, une entreprise américaine de conseils et de recherches technologiques (Walker *et al.*, 2016). La technologie est située dans la deuxième portion de la courbe des technologies émergentes, intitulée « *peak of inflated expectations* ». L'année 2016 a également été marquée par l'introduction de la seconde plus large blockchain actuelle, Ethereum, ainsi que par le lancement du projet Hyperledger par la Fondation Linux qui constitue le plus grand écosystème de solutions blockchains d'entreprise. D'ailleurs, une enquête réalisée en 2016 par Deloitte auprès de 308 grandes sociétés américaines a révélé que plus de la moitié avait déjà investi, ou projettent d'investir dans des projets blockchains dans l'année à venir (Deloitte, 2016). Le secteur financier étant le principal concerné, les initiatives les plus marquantes rassemblaient plusieurs leaders de l'industrie bancaire, dont WelsFargo, Citibank, MasterCard, Unicredit, CIBC, Crédit Agricole, pour n'en citer que quelques-uns.

En reflétant sur l'émergence de Bitcoin, Sadhya *et al.* (2018) estiment que l'innovation du système est double : d'abord, Namakoto aurait permis de prendre conscience qu'il est possible de créer un

⁶ Ammous, S. (2018). *The Bitcoin standard: the decentralized alternative to central banking*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

⁷ Böhme, R., Christin, N., Edelman, B. et Moore, T. (2015). Bitcoin: Economics, Technology, and Governance. *The Journal of Economic Perspectives*, 29(2), 213-238. doi: <https://doi.org/10.1257/jep.29.2.213>

écosystème transactionnel décentralisé, ce qui amène à repenser la structure sociétale fortement dominée par les intermédiaires de confiance. L'innovation majeure demeure toutefois l'infrastructure blockchain sous-jacente à Bitcoin⁸, grâce à laquelle il est justement possible de synchroniser les transactions et de les sécuriser dans un réseau dépolarisé (Sadhya *et al.*, 2018). Concrètement, toutes les transactions effectuées sur le système sont stockées dans des blocs de données cryptographiquement scellés. L'ajout de ces blocs se fait uniquement au moyen d'un processus informatique de *minage* inspiré du mécanisme de la *preuve de travail* de HashCash et des systèmes BitGold et B-Money. La conformité aux règles de minage est assurée grâce à un système d'incitation et de récompenses de telle manière que seuls les premiers utilisateurs qui réussissent à trouver le hash valide du bloc se verront récompensés en *bitcoins* pour l'effort de calcul fourni lors de l'opération de minage (De Filippi, 2018, p. 24-27). Ainsi, l'innovation née à la croisée du rejet de l'État par les libertariens et du communautarisme technophile devient l'incarnation contemporaine d'une vision où la conjonction d'intérêts privés produirait de la vertu publique (Davidson *et al.*, 2018). Le système fonctionne également au moyen d'un consensus distribué qui assure l'intégrité des transactions effectuées et coordonne les transferts des actifs cryptomonnaies sans le recours à un tiers de confiance. Ce mécanisme est supporté par des méthodes cryptographiques et est déployé par-dessus un réseau de pair-à-pair. Chaque utilisateur du réseau dispose localement de la dernière version de la blockchain qu'il expose périodiquement, ce qui permet de croiser les versions entre les participants et de valider la conformité du registre sous-jacent (Sadhya *et al.*, 2018).

2.1.1.2 L'innovation des chaînes de blocs

Les promesses d'une utopie de système décentralisé et sans intermédiaires, apportées autant par Bitcoin que par la blockchain qui le sous-tend, ont entraîné une série de réflexions sur le potentiel de la technologie (Casino, Fran *et al.*, 2019). La fin de l'année 2016, plus précisément, a marqué la transition vers une nouvelle génération de blockchains applicatives vouées à l'amélioration de l'efficacité, de la transparence et de la sécurité de diverses formes de transactions économiques (Frizzo-Barker *et al.*, 2020). Plusieurs initiatives ont été lancées dans différents champs d'activité, dont l'économie de partage (Bossauer *et al.*, 2019; Hawlitschek *et al.*, 2018; Mehrwald *et al.*, 2019),

⁸ Le système Bitcoin s'identifie avec un B majuscule au début, tandis que la cryptomonnaie comment par un b minuscule.

l'internet des objets (Beck et al., 2016), la gestion des chaînes d'approvisionnement (Di Vaio et Varriale, 2020; Jahanbin *et al.*, 2019), la gestion des titres de propriété (Lemieux, 2016), ainsi qu'un ensemble d'applications destinées à promouvoir des secteurs spécifiques comme le journalisme et l'assurance (Shin, 2019). C'est d'ailleurs au vu de cette conjoncture que Davidson *et al.* (2016) qualifient les blockchains de technologies polyvalentes, une terminologie qui renvoie aux « innovations radicales susceptibles d'être utilisées et appliquées dans un spectre élargi de secteurs économiques » (2016, p. 2, traduction libre). L'émergence des blockchains a également créé une tendance technophile au sein de la communauté scientifique, surtout au cours des premières années qui ont suivi sa diffusion (Xu, M. *et al.*, 2019). Son émergence a concrètement été comparée à l'invention d'internet, dans le sens où elle est susceptible de transformer l'assemblage socio-économique actuel (Mougayar, 2016, p. xxiii-xxiv). Ragnedda et Destefanis (2020, p. 1) profèrent que la blockchain révolutionnera le transfert de valeur de la même façon qu'internet a transformé les modalités de partage d'informations. Le système est également décrit par Namasudra *et al.* (2021) comme un nouveau paradigme d'organisation pour la découverte, l'évaluation et le transfert de la valeur qui étend les frontières existantes de l'activité humaine et transforme ses mécanismes de coordination (p. 1498). Une autre référence célèbre qui vante les capacités disruptives des chaînes de blocs est l'ouvrage intitulé « *Blockchain Revolution* » de Don Tapscott et Alex Tapscott. Pour résumer la logique des auteurs, la révolution de la blockchain est une transition vers une économie de capitalisme distribué, soutenue par une *confiance renouvelée* et par un transfert *réel de valeur* entre les entités sociales (Tapscott et Tapscott, 2016, p. 29-51).

Cependant, si plusieurs perçoivent les technologies blockchain comme la transformation numérique du 21^{ème} siècle, nombreux sont ceux qui ont critiqué ses applications concrètes au-delà de la frénésie spéculative. Certains chercheurs ne cachent pas leurs scepticismes et déclarent leurs positions dans des titres d'articles tels que « *Bitcoin will Bite the Dust* », ou encore « *Is a smart contract really a smart Idea? Insights from a legal perspective* ». D'autres, sur la réserve, estiment prématurées les qualificatifs « *disruptive* » et « *révolutionnaire* » compte tenu de la maturité actuelle de la technologie (Chen *et al.*, 2020; Notheisen, Cholewa, *et al.*, 2017). D'ailleurs, Iansiti et Lakhani (2017) reflètent sur la révolution numérique et déclarent que la blockchain ne remplit pas les conditions d'une technologie disruptive. Les auteurs projettent un processus d'adoption stable et progressif qui peut vraisemblablement s'étaler sur plusieurs décennies à mesure que des

changements institutionnels et technologiques se succèdent (Iansiti et Lakhani, 2017). Sur le plan pratique, plusieurs incidents portent à croire que la technologie a encore bien du chemin à franchir avant que son potentiel ne puisse être pleinement exploité. Le fait est également que seulement 8% des projets blockchains réussissent à passer la phase de développement et que la durée de vie moyenne d'un projet est de 1.22 année, a révélé une étude réalisée sur 80.000 projets par le ministère de l'industrie et des technologies chinois (CAICT, 2018).

Afin de différencier entre la *hype* et la *réalité*, il nous paraît primordial d'introduire les aspects techniques de la technologie et d'en identifier les avantages et les limites. Les prochains paragraphes serviront à cette fin.

2.1.2 Définition de la technologie des chaînes de blocs

Il est difficile de donner une définition concrète et concise des blockchains parce que les versions diffèrent d'une référence à l'autre. L'absence de consensus s'explique dans la littérature de plusieurs façons. Elle relève, selon Frizzo-Barker *et al.* (2020), du caractère polyvalent des blockchains et du fait qu'elle s'identifie dans plusieurs champs disciplinaires. Pietrewicz (2019) l'associe à la multitude de mécanismes sous-jacents et au fait qu'elles peuvent différer substantiellement selon le contexte d'utilisation. Pour d'autres, les divergences conceptuelles sont dues à la portée large des blockchains et à leurs potentielles implications à la fois sociales, économiques, juridiques et politiques.

Dans son interprétation la plus courante, le terme blockchain renvoie à un ensemble de technologies développées autour du concept de registres distribués et d'un modèle transactionnel de pair-à-pair. Ces registres sont le plus souvent associés à d'autres notions telles que celles du consensus, des signatures digitales et de la cryptographie. Smits et Hulstijn (2020), par exemple, définissent les blockchains comme une combinaison de trois technologies existantes, à savoir des bases de données distribuées, des méthodes d'encryptions et un protocole de consensus. Une autre définition est proposée par Tripoli et Schmidhuber (2020) qui décrivent les blockchains – et les technologies de registres distribués – comme des bases de données numériques qui utilisent de la cryptographie pour enchaîner les entrées de données transactionnelles, tout en désintermédiant les processus de traitement et de stockage de ces données avec un réseau d'ordinateurs distribué de pair-à-pair (2020,

p. 3, traduction libre). Ces bases de données sont intelligentes, ajoute Howson (2020). D'un côté elles déterminent l'état courant des comptes et de la propriété en retraçant, de manière quasi instantanée, l'historique intégral de toutes les transactions publiées sur le registre. D'un autre côté, les blockchains sont capables de synchroniser, de mettre à jour les opérations de stockage, et de garantir leur immuabilité et leur sécurité à travers les pairs et sans le recours à une entité centrale. Concrètement, la technologie se distingue des protocoles de communication automatisés par sa capacité à maintenir ce que Magazzeni *et al.* (2017) appellent un *état de vérité partagé*, qui signifie, dans les termes de la théorie des jeux, que les participants ont une connaissance commune et véritable de l'état constant des transactions. Une autre particularité des blockchains est que les données sont stockées dans « une séquence potentiellement infinie de blocs organisés par un algorithme d'horodatage décentralisé » (Hawlitschek *et al.*, 2018, p. 51, traduction libre). Ainsi, la base de données est analogue à une chaîne de blocs sécurisés et interreliés les uns aux autres. Chaque bloc contient les métadonnées d'un ensemble de transactions et fait référence au bloc qui le précède. Cet enchaînement fait de tel que toute modification aux données d'un bloc nécessitera la modification de tous les blocs transactionnels précédents. Comme toute nouvelle écriture sur la blockchain doit faire l'objet d'un consensus auprès des autres participants et que l'état du registre est partagé, l'historique des données devient quasi immuable⁹ et les blocs ne peuvent être modifiés qu'en cas de consensus (Drescher, 2017, p. 87).

Drescher (2017) résume les différents aspects de la blockchain dans la définition suivante :

[Une] blockchain est un système de registre purement distribué de pair-à-pair qui utilise une unité logicielle, composée d'un algorithme qui négocie le contenu informationnel d'une séquence de blocs de données ordonnés et interconnectés avec des technologies de cryptographie et de sécurité, dans le but d'atteindre et de maintenir l'intégrité du registre (Drescher, 2017, p. 35, traduction libre).

Comme il a été mentionné précédemment, l'idée principale des blockchains est de transférer la responsabilité de la gouvernance et de la gestion de la base de données transactionnelles à un réseau de pairs distribué. Ces derniers deviennent responsables de la gestion du registre, sans vraiment

⁹ Même si l'immutabilité est considérée comme une caractéristique majeure des chaînes de blocs, il existe un scénario où la chaîne devient altérable et modifiable. Ce scénario s'intitule « 51% attack ». Il est concrètement atteint lorsqu'un mineur (ou pool minier) contrôle plus de 51% du réseau. Dans ce cas unique, ce dernier peut contrôler et dicter le consensus du système. Les détails de ce scénario seront fournis lors de l'introduction du mécanisme de consensus.

être responsabilisés. En effet, la technologie synchronise un ensemble de composantes cryptographiques pour permettre à des entités sociales qui ne se font pas mutuellement confiance d'interagir de manière sécuritaire et vérifiable sans le recours à un tiers de confiance (Davidson *et al.*, 2016, 2018). Les différentes composantes technologiques à l'origine de ce nouveau paradigme coopératif seront énumérées dans les prochains paragraphes.

2.1.3 Composants d'un système blockchain

Glaser (2017) présente un cadre général qui schématise les composantes communes d'un système blockchain d'un point de vue abstrait. Ce modèle divise chaque blockchain en quatre couches distinctes. La couche inférieure contient l'ensemble des ressources matérielles et logicielles qui supportent les codes de base du système. Ces ressources peuvent être des téléphones connectés, des ordinateurs, des serveurs, des machines physiques ou virtuelles, etc. La deuxième couche désigne l'infrastructure du système blockchain (*Fabric layer* en anglais). Elle rassemble les composantes fonctionnelles du système, notamment « les modèles de communication de pair-à-pair, le consensus ainsi que les éléments de la gestion de la base de données » (Glaser *et al.*, 2019, p. 124, traduction libre). Chaque composante peut être configurée individuellement, d'où la polyvalence de la technologie et sa versatilité (Sanka et Cheung, 2021). L'infrastructure sert de support à une troisième couche applicative constituée par l'ensemble des applications et des services déployés sur la blockchain pour répondre à des besoins d'affaires spécifiques (Glaser, 2017; Glaser *et al.*, 2019). La couche finale est une couche de présentation qui contient les interfaces graphiques. Le modèle proposé par Glaser (2017) est illustré dans la figure 2.1 ci-après. Les différents éléments qui constituent les couches de l'infrastructure et des applications sont décrits dans les prochaines sous-sections.

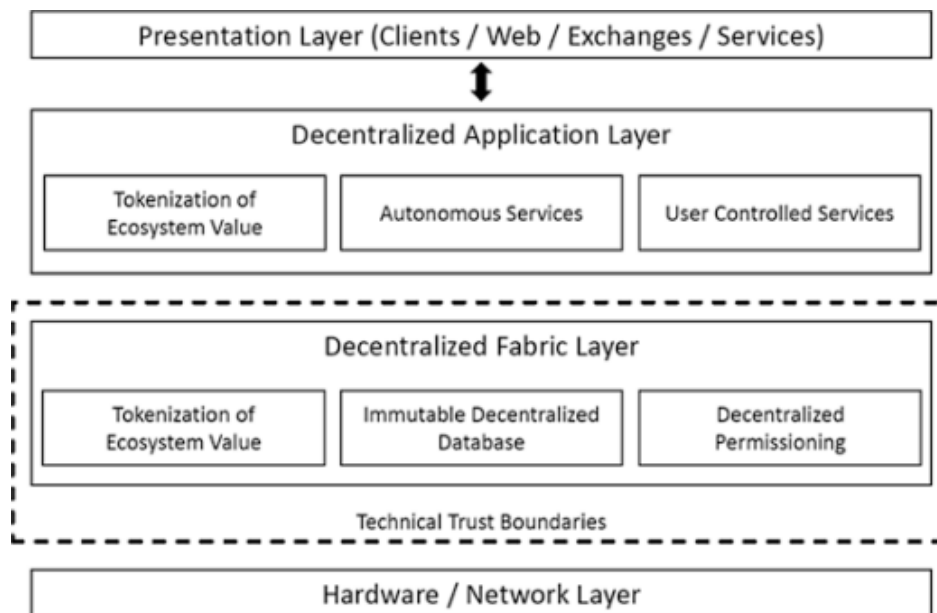


Figure 2-1 Représentation des composantes techniques d'un système blockchain, basée sur Glaser., (2017) et Glaser et al., (2019)

Il est important de souligner que la topologie de Glaser n'est pas exclusive, et que différentes modélisations des systèmes blockchains existent dans la littérature. Sanka et Cheung (2021) et Li, Xiaoyun *et al.* (2021) par exemple suggèrent de segmenter l'infrastructure d'un système blockchain en 5 couches distinctes en séparant le protocole de communication, le consensus et la structure des données. Un autre modèle plus détaillé est présenté par Namasudra *et al.* (2021), où les auteurs ajoutent une couche pour les APIs de connexion, qui servent de passerelle entre les éléments applicatifs et l'infrastructure de la blockchain. Nonobstant les différences au niveau de la conceptualisation théorique, le modèle générique de Glaser (2017) tient compte de tous les aspects d'une architecture blockchain.

2.1.3.1 Couche d'infrastructure d'un système blockchain

2.1.3.1.1 La base de données distribuée

La technologie au cœur des systèmes blockchains est celle des registres distribués. En termes comptables, un registre est un journal sur lequel est conservée l'historique des transactions et la répartition des actifs entre les différents comptes¹⁰. Il décrit, dans la discipline des systèmes

¹⁰ <https://www.canada.ca/fr/agence-revenu/services/impot/entreprises/sujets/tenue-registres-comptables/entend-on-registres-comptables-doit-tenir.html#p1>

d'information, une base de données transactionnelles sur laquelle sont enregistrés et conservés les mouvements de flux (Werbach, 2018b). En définitive, les registres peuvent être centralisés ou distribués. Un registre centralisé n'est rien d'autre qu'un silo d'informations transactionnelles contrôlé et administré par une entité unique. Ce type de registre a historiquement servi à plusieurs fins comme la gestion des cadastres (fonciers, maritimes, comptable, etc.), l'enregistrement des transactions boursières ou encore les votes, pour ne citer que quelques exemples. Les registres distribués, en revanche, sont des bases de données partagées et entièrement répliquées sur de multiples ordinateurs connectés appelés *nœuds*¹¹. Ils se caractérisent par l'absence d'une copie maîtresse et par le fait que des nœuds distincts détiennent une instantiation du registre (Werbach, 2018b, p. 499-500). Ces derniers peuvent concrètement détenir un fragment de la base de données, comme ils peuvent détenir une instance du registre complet. Dans les deux cas, la consolidation entre les versions et la mise à jour du registre nécessiteront l'exécution d'un protocole de calcul distribué auquel participent les différents nœuds du réseau. Ces protocoles peuvent varier dans leurs mécaniques, mais servent ultimement le même but qui est de valider l'authenticité du registre (Magazzeni *et al.*, 2017; Rutland, 2017). La figure 2.2 extraite du livre de Drescher (2017) illustre les deux types de registres.

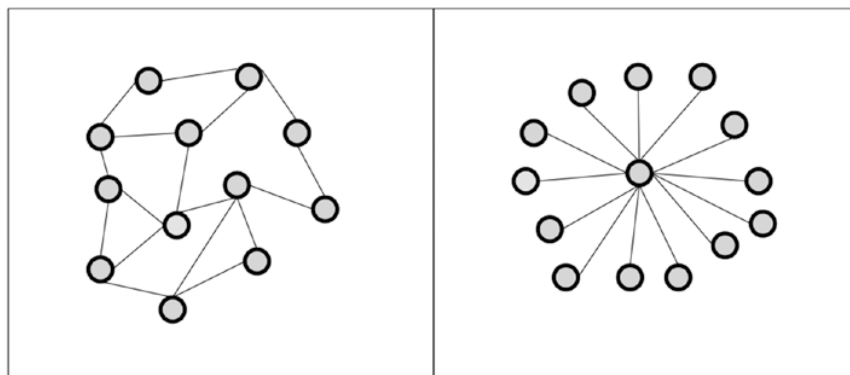


Figure 2-2 Architecture distribuée (gauche) vs centralisée (droite) d'un registre (Drescher, 2017, p. 11).

¹¹ Chaque nœud doit être caractérisé par une adresse IP unique. Les nœuds communiquent les uns avec les autres via les protocoles TCP/IP ou UDP. Les nœuds sont considérés *complets* lorsqu'ils détiennent du registre intégral, et qu'ils participent à la validation des transactions.

Si l'on tient à être plus concis dans notre classification, il convient de distinguer entre les registres distribués centralisés, d'une part, et ceux de nature décentralisée de l'autre. Cette nuance étant subtile, explique Rutland (2017, p. 2) est souvent mal interprétée dans la littérature en SI où la décentralisation et la distribution sont utilisés de manière interchangeable. La différence entre ces deux aspects réside dans l'architecture modulaire du système d'information sous-jacent, et plus particulièrement dans les notions de contrôle et d'emplacement (Acharya, 2019). Concrètement, la nature centralisée d'un système distribué signifie que ses instances sont fragmentées à travers un réseau d'ordinateurs, mais que le contrôle du système demeure centralisé. Un exemple typique est celui des plateformes Cloud, où les serveurs de stockage sont géographiquement distribués, mais demeurent sous le contrôle du fournisseur de services (Drescher, 2017, p. 35). Un système décentralisé, en revanche, est distribué à la fois du point de vue de l'emplacement et du contrôle. Cela signifie que le système n'a pas un seul emplacement, et qu'aucune entité n'est propriétaire ou gouverneure unique du système. Chaque nœud participe individuellement et indépendamment des autres, et la réponse collective du système se construit sur la base des réponses individuelles. L'illustration suivante de Drescher (2017, p. 15) met en évidence les deux types de systèmes distribués.

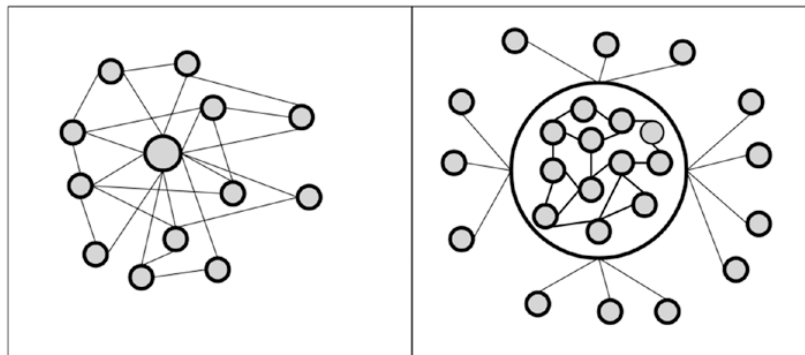


Figure 2-3 Architecture décentralisée (gauche) vs centralisée (droite) d'un système distribué (Drescher, 2017, p. 15)

Essentiellement, une blockchain est un système particulier de registre distribué où les données sont regroupées dans des blocs avant d'être ajoutées au registre¹². Les blocs contiennent « des

¹² Chaque blockchain fonctionne au moyen d'un registre distribué, d'où la terminologie DLT ou technologie de registres distribués. Un registre distribué n'est toutefois une blockchain que s'il satisfait l'exigence de la structure de

enregistrements d'une série de consensus avec une piste d'audit cryptographique – appelée hash - qui est maintenue et validée par plusieurs nœuds distincts » (Rutland, 2017, p. 2). Le système fonctionne de pair-à-pair, c'est-à-dire que différents nœuds se partagent mutuellement des ressources informatiques tels que de la puissance de traitement, de la capacité de stockage, du débit de transmission, etc. (Drescher, 2017, p. 14). La communication entre les nœuds du réseau blockchain permet de maintenir l'interconnexion entre les participants, d'établir de nouvelles connexions lorsque de nouveaux nœuds sont ajoutés et de distribuer le registre transactionnel entre les pairs (p. 148-152). Cela est d'ailleurs à l'origine de la tolérance des systèmes blockchains aux pannes, une terminologie que nous expliquerons en détail dans la section sur le consensus. De plus, le registre entier de la blockchain est répliqué à travers les pairs, ce qui signifie que ces derniers disposent de copies identiques de la base de données¹³. Un protocole embarqué dans l'infrastructure assure que les copies soient constamment mises à jour après chaque opération, et synchronise le partage du registre chaque fois qu'un nœud se connecte au réseau (De Filippi *et al.*, 2018, p. 36).

Dépendamment de la nature du registre utilisé, la blockchain se situe sur un continuum entre des systèmes complètement ouverts et décentralisés et des systèmes moins décentralisés qui sont basés sur l'identité (De Filippi, 2018, p. 62-67). Encore une fois, la distinction entre le caractère *distribué* et *décentralisé* du registre est fondamentale en ce que toutes les blockchains sont en principe distribuées. À l'extrémité du continuum se trouvent les chaînes publiques et sans permissions¹⁴ (*permissionless blockchain*, en anglais). Une blockchain publique est totalement décentralisée et ouverte au public. Cela signifie que quiconque peut télécharger le registre sur son appareil local et devenir un nœud, nœud complet, ou valider le minage des autres nœuds complets, d'où le qualificatif « *permissionless blockchain* ». Elles sont également pseudoanonymes et ne nécessitent aucune forme d'identification préalable de la part des utilisateurs qui désirent rejoindre et participer au réseau (Yang *et al.*, 2020). C'est d'ailleurs en raison de ce pseudoanonymat que les blockchains

blocs Acharya (2019) utilise la métaphore suivante pour expliquer la nuance entre les registres distribués et les blockchains: toute voiture est un véhicule (faisant aussi référence au fait que toute blockchain est un registre distribué), mais tout véhicule n'est pas nécessairement une voiture (c'est-à-dire que l'inverse n'est valable que sous certaines conditions).

¹³ Certaines latences dans la transmission des données peuvent entraîner des distances entre les nœuds.

¹⁴ Différentes catégorisations ont été observées dans la littérature. Les plus répandues divisent les blockchains en fonction de leurs types : publiques, privées consortium ou selon leur degré de centralisation (permissionnées, sans permissions). Nous choisissons la seconde catégorisation, en soulignant le lien entre les permissions et la dichotomie publique/privée.

publiques, dont Bitcoin est exemple typique, ne peuvent imposer aucune forme de restriction sur les permissions (De Filippi, 2018, p. 49). Elles sont transparentes, c'est-à-dire que toute personne peut accéder à l'historique des transactions listées sur la blockchain¹⁵ (Olsen *et al.*, 2019). Compte tenu de l'absence de barrières à l'entrée, la sécurité et l'authenticité des blockchains publiques sont souvent conditionnées à l'utilisation d'un consensus distribué et d'un mécanisme de rémunération inspiré des principes de la théorie des jeux et ceux de l'intérêt encastré (De Filippi, 2018, p. 49-50). Le recours à ces mécanismes n'est toutefois pas gratuit parce qu'il a des conséquences importantes sur la scalabilité et la performance des blockchains (De Filippi, 2018, p. 51; Khan *et al.*, 2021; Sanka et Cheung, 2021).

À l'autre extrémité du continuum se situent les blockchains privées, ou de manière plus générale, les blockchains à permissions (*permissioned blockchain* en anglais). Il s'agit d'un écosystème fermé qui incorpore des restrictions quant aux permissions d'accès au réseau, d'accès aux informations du registre, d'écriture sur la blockchain ou de participation au processus de validation des blocs. Les permissions sont implémentées à travers l'incorporation d'une composante de contrôle des accès dans l'infrastructure de la blockchain, et la configuration de ce module dépend des besoins opérationnels du propriétaire du système (De Filippi, 2018, p. 52). Lorsque les permissions sont contrôlées par une seule organisation, le système est dit privé. Dans la mesure où plusieurs entités ont le contrôle sur les permissions, on parle simplement d'une blockchain à permissions, ou de système fédéré¹⁶. Typiquement, l'accès à une blockchain privée nécessite une autorisation de la part du propriétaire du réseau ou une invitation par l'un des membres mandatés par ce dernier. Ainsi, l'identité des participants sera connue à l'avance par le propriétaire, et peut être partagée avec les autres membres du réseau. L'identité servira également de base pour la définition des permissions de chaque utilisateur du système (Olsen *et al.*, 2019). Il peut s'agir, par exemple, d'autoriser des utilisateurs à inviter de nouveaux membres, de permettre à un organisme de réglementation d'émettre une licence de participation, ou encore de donner à un nœud l'autorité de déclencher ou de participer à un consensus. Bien que l'identité des membres d'un réseau

¹⁵ Il existe plusieurs outils en ligne qui permettent de visualiser les transactions sur les blockchains publiques. <https://www.blockchain.com/explorer> en est un exemple.

¹⁶ En outre, toute blockchain privée est une blockchain à permissions, mais toute blockchain à permission n'est pas privée. Cette nuance subtile est souvent mal-comprise dans la littérature ou il a été constaté que les termes sont assez fréquemment utilisés de manière interchangeable.

permissionné soit connue à l'avance, les transactions ne le sont pas forcément puisque seules les parties qui participent à une transaction particulière et les parties autorisées préalablement à lire le registre en ont connaissance. La nature fermée de l'écosystème rend le registre invisible et restreint au public. Cela est particulièrement important pour les applications d'entreprise où le contrôle est recherché et l'intimité requise (Yang *et al.*, 2020). À l'instar des blockchains publiques, les chaînes privées fonctionnent au moyen d'un consensus distribué. En revanche, et à contrario de celles-ci, les droits de participer au consensus et d'écrire sur le registre sont administrés par le propriétaire du système. La conception du consensus peut également différer d'un système à l'autre, dépendamment du niveau de confiance préétablie entre l'administrateur du système et les participants et des besoins applicatifs de ce dernier. Ce point sera abordé plus loin dans le chapitre lors de l'introduction de la notion de consensus. Il convient toutefois de retenir que les blockchains de type privé, ou du moins à permissions, impliquent un seuil important de responsabilisation et de contrôle, contrairement aux systèmes publics qui sont caractérisés par une égalité dans les droits des pairs et une décentralisation de la gouvernance à travers le réseau.

Brièvement évoqué dans ce qui a précédé, le troisième type de blockchains est un modèle fédéré dans lequel les permissions sont contrôlées par un consortium d'organisations ou d'individus (Olsen *et al.*, 2019). Ces derniers participent conjointement à la validation des transactions et à la gestion du registre et des permissions. Elles impliquent également qu'un niveau de confiance soit déjà établi entre membres dont l'identité est connue à l'avance lors de l'attribution des permissions. Concrètement, la décentralisation des contrôles des permissions en fait des systèmes naturellement plus ouverts que les blockchains privées, sans pour autant compromettre la logique de l'identification restrictive. Yang *et al.* (2020) expliquent que les blockchains fédérées peuvent être *publiques à permissions* (Accès restreint, consensus distribué), ou *privées sans permissions* (consensus restreint, accès ouvert). Cela permet d'accommoder une multitude d'usages et de créer de nouveaux modèles de gouvernance applicative, auparavant inimaginables. Un exemple de blockchain fédérée est Ripple, un système de paiements contrôlé par un consortium d'institutions bancaires. Le système donne à ses utilisateurs accès à une large gamme de produits et de solutions bancaires (virements bancaires, lignes de crédit, etc.) via sa cryptomonnaie native XPR. Les institutions bancaires participantes et en compétition contrôlent les permissions conjointement, ce qui implique un consensus distribué de manière équilibrée entre celles-ci.

2.1.3.1.1 Les fonctions de hachage

Lorsqu'une entité s'engage à effectuer une transaction dans un réseau blockchain, elle s'engage par le même fait à ce que cette transaction soit archivée de manière permanente sur le registre. Une transaction fait référence à un arrangement d'échange entre deux ou plusieurs parties prenantes (Casino, Fran *et al.*, 2019). Cet arrangement peut s'apparenter, par exemple, à une cryptomonnaie, à la propriété d'un document, d'un bien numérique, un droit de vote ou même à une entrée digitale (Drescher, 2017, p. 227). Le système blockchain conserve l'historique de toutes les informations transactionnelles dans des blocs ordonnés chronologiquement et reliés séquentiellement les uns aux autres. Il reprend la logique de l'estampillage de documents introduite par Haber et Stornetta (1991) où chaque bloc est défini par son propre hash et le hash du bloc qui le précède. Le hash est une chaîne de caractères qui résulte de l'encodage des informations contenues dans un bloc. Il est obtenu après une opération de hachage, une fonction mathématique prédéfinie qui transforme un lot arbitraire de données en une chaîne de caractère de longueur prédéfinie (Drescher, 2017, p. 72). Les fonctions de hachage ont 5 principales caractéristiques qui en font des méthodes populaires de chiffrement des données. D'abord, elles peuvent crypter rapidement différents types de données, abstraction faite de leurs nature, taille et type. Il peut s'agir de données binaires, de texte, de documents, ou même de métadonnées de vidéos (Gipp *et al.*, 2016). Deuxièmes, les fonctions de hachage sont *déterministes*, c'est-à-dire qu'elles produiront la même empreinte si des entrées de données sont identiques. Elles sont également *résistantes à la collision*, c'est-à-dire qu'il est très peu probable, pour ne pas dire impossible, que deux intrants différents puissent générer le même hash. Quatrièmement, les opérations de hachage sont pseudoaléatoires, ce qui signifie que toute modification apportée à un paramètre à l'entrée générera une nouvelle chaîne aléatoire complètement différente. Finalement, il s'agit de fonctions à sens unique, signifiant que la reproduction des données originales à partir de leurs empreintes numériques est quasi-impossible (Drescher, 2017, p. 72-73). Pour des fins d'illustrations, l'empreinte numérique de la combinaison de mots « Blockchain and Trust » a été générée en utilisant les standards algorithmiques de hachage les plus populaires. Les résultats de ces fonctions sont représentés sur le tableau 2.1 ci-dessous.

Texte original: Blockchain and Trust	
Standard SHA-256 (Bitcoin et Hyperledger Fabric)	31b9e49e12aeb581a59c09b457b4b3 e93e932014857f1690afc43d0877bf4e2
Standard SHA-1 (Crypto ++)	3f75b7795edca9610873538d50ee719a8360636f
Standard SHA 2-224 (variant du 256)	417a73b095ee98be093e1407bca7679d4de61c0dfc1998b63fed3a5f
KECCAK256 (ex. Ethereum)	eeb6a4c206ae8eb5161ea4fcc069754042095c03a358aed0443394b0da522c8e

Tableau 2-1 Empreinte résultante du hachage de « Blockchain And Trust » selon les standards les plus utilisés.

Les particularités des fonctions de hachage, lorsque combinées à la structure en chaîne des blocs, sécurisent et rendent très difficile la modification des données archivées. Concrètement, toute modification dans le contenu d'un bloc entraînera la modification de son hash. Les blocs étant séquentiellement reliés et dépendants les uns des autres, la modification enclenchera systématiquement la modification des hashes de tous les blocs suivants (rappelons que chaque bloc contient dans ses données la référence du bloc qui le précède). De cette manière, et à moins de recalculer tous les hashes de la blockchain, celle-ci perdra sa cohérence et ne sera plus conforme aux règles du système. On dit dans ce cas que la chaîne est brisée (Drescher, 2017, p. 127-134). Ce fonctionnement *du tout ou rien* octroi à la blockchain son caractère de chaîne immuable et renforce l'authenticité du registre (p. 187). La figure 2.4 illustre le séquençement classique des blocs et des hachs dans un système blockchain.

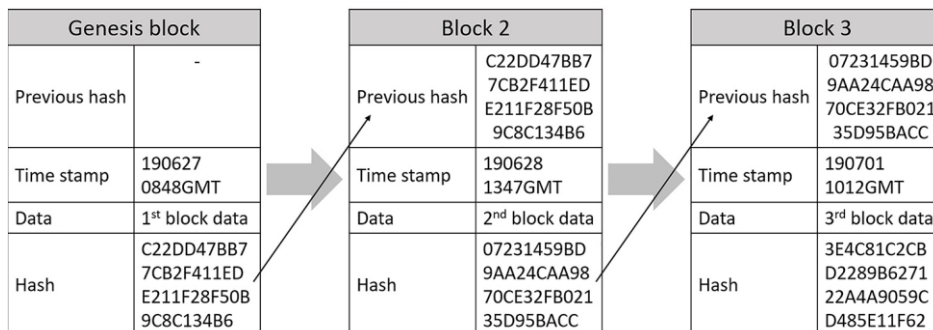


Figure 2-4 Illustration de la séquence des blocs de données dans une blockchain

2.1.3.1.1 Le mécanisme de consensus distribué

Par définition, le consensus est le processus par lequel les nouveaux blocs de transactions sont validés et ajoutés à la blockchain (Olsen *et al.*, 2019). Il s'agit essentiellement d'un mécanisme de calcul distribué qui permet à différents nœuds réseau de se mettre d'accord sur l'historique et la légitimité de blockchain et d'attester que les blocs de celle-ci n'ont pas été modifiés ou altérés (Tapscott et Tapscott, 2016, p. 30-31). On dit que le *consensus est atteint* lorsqu'un nouveau bloc est accepté par la majorité des nœuds complets qui ont participé à l'opération¹⁷. Dès lors, le bloc sera ajouté à l'extrémité de la blockchain et une nouvelle version du registre sera communiquée à tous les autres nœuds du réseau (p. 31).

Les consensus dans un réseau blockchain peuvent être classés en deux catégories (Mourouzis et Tandon, 2019). Le premier modèle est dit tolérant aux pannes (en anglais *Crash-Fault Tolerant ou CFT*) et a pour particularité la résistance à la déconnexion d'un nœud ou de plusieurs nœuds à la fois sans que cela n'affecte le fonctionnement global du système. Le consensus est programmé pour identifier les nœuds non-opérationnels lors de chaque consensus et de manière à rediriger leurs flux vers d'autres opérateurs fonctionnels pour garantir la continuité des opérations. La deuxième catégorie décrit les consensus Tolérant aux pannes Byzantins (*Byzantine Fault Tolerant ou BFT*). Ces derniers sont capables de tolérer un certain seuil de nœuds malveillants et garantissent le fonctionnement propice du système malgré les tentatives de manipulation et de corruption potentielles de ses membres (Mourouzis et Tandon, 2019). Pour ce faire, les consensus BFT sont configurés pour déclencher un vote booléen entre les différents nœuds du réseau (Olsen *et al.*, 2019). Le registre étant distribué chez plusieurs nœuds indépendants, le vote collectif permettra de valider l'authenticité de la nouvelle version proposée de la blockchain, et vérifier la conformité du nouveau bloc aux règles du système. De cette manière, le modèle des consensus BFT répond à un défi bien connu dans le monde de l'informatique et dans la sphère des réseaux distribués : celui des

¹⁷ Le terme majorité ne fait pas nécessairement référence au 50% +1. Cela dépend en réalité de la configuration du protocole. Certains consensus sont basés sur un vote aux deux tiers. Le modèle est particulièrement adopté dans les blockchains fédérées dont le contrôle peut être distribué chez acteurs concurrents.

généraux Byzantins. Celui-ci est détaillé par Lamport et al. (1982, p. 382-383)¹⁸ dans un article intitulé « The Byzantine generals problem », publié de l'institut de recherche SRI de Microsoft.

Les consensus BFT sont indispensables pour le fonctionnement de toutes les blockchains publiques étant donné l'absence de restrictions et de responsabilisations dans celles-ci (Olsen *et al.*, 2019). Rappelons dans ce contexte l'exemple de Bitcoin où les utilisateurs sont pseudoanonymes et qu'il leur suffit de télécharger pour devenir nœud complet et participer au consensus. Afin d'aligner les intérêts contingents de leurs membres, les consensus BFT s'appuient sur le principe de *la contrainte de participation*, qu'ils enforcent à travers des mécanismes de rémunérations intrinsèques (*in-chain*) ou extrinsèques (*off-chain*). Bitcoin, encore une fois, est un exemple typique de récompenses intrinsèques. Le système utilise un consensus basé sur le modèle de la preuve du travail inspiré de HashCash. Celui-ci sollicite une compétition dynamique entre les nœuds grâce à une configuration qui génère un nouveau bloc à chaque 10 minutes, à laquelle est associée une récompense. Aussitôt qu'un mineur résout le puzzle cryptographique du bloc, un message est diffusé aux autres nœuds participants pour qu'ils procèdent à la vérification de l'opération (Drescher, 2017, p. 155-162). Le consensus est atteint si la majorité des nœuds attestent de la validité de l'opération. Dès lors, le mineur se verra récompensé en bitcoins nouvellement générés, et le bloc sera horodaté et enregistré à l'extrémité de la chaîne Bitcoin. S'il s'avère, en revanche, que le bloc miné est en conflit avec les règles du protocole sous-jacent, la solution cryptographique proposée par le mineur sera rejetée et l'opération de minage se poursuivra pour les autres mineurs participants (De Filippi, 2018, p. 36-43). La pression de la récompense, couplée à la complexité informatique de l'opération de minage et l'investissement important à la fois en temps et en énergie qu'elle implique, suscite la motivation des mineurs et les incite à respecter les règles de protocole (Drescher, 2017, p. 61-62). Le fonctionnement BFT vient aussi au détriment de la performance en raison de sa complexité computationnelle et des efforts requis pour le synchroniser à travers l'ensemble des nœuds participants (Khan *et al.*, 2021; Sanka et Cheung, 2021). Nous développerons ce point davantage à la section 2.1.5.2 qui aborde les limites des systèmes blockchains.

¹⁸ Lamport, L., Shostak, R. et Pease, M. (1982). The Byzantine generals problem. Transactions on Programming Languages and Systems (ACM), 4(3), 382-402. doi: <https://doi.org/10.1145/357172.357176>

Contrairement aux chaînes publiques, la participation au consensus dans une blockchain privée est limitée à l'administrateur du système et aux entités auxquelles ce dernier accorde les droits de participer. Puisqu'un certain seuil de confiance est déjà établi lors de l'attribution des permissions, les blockchains à permissions peuvent faire abstraction de l'incitation participative et du besoin d'associer une récompense cryptographique au consensus (De Filippi, 2018, p. 54). Elles ont ainsi tendance à utiliser des consensus tolérants aux pannes et à maximiser la performance et l'efficacité du système. Olsen *et al.* (2019) explique que les consensus dans les blockchains à permissions, et en particulier celles qui sont privées, ne sont rien d'autre que des outils adaptables pour renforcer la résilience et garantir un fonctionnement continu du système. D'ailleurs, certaines plateformes de blockchains privées donnent à leurs participants la possibilité de choisir entre différents modèles de consensus selon ce qui est le mieux adapté à leurs besoins. L'une d'elles est la plateforme Hyperledger Fabric dont nous décrivons les détails de fonctionnement à la section 2.3.1 et sur laquelle est basée la blockchain Food Trust IBM que nous étudions. La versatilité des blockchains privées et de leur consensus permet d'accommoder une multitude de cas applicatifs et de créer des systèmes adaptés aux besoins spécifiques de chaque organisation. Elles incarnent concrètement la vision de Davenport selon laquelle la valeur d'un système ne peut être maximisée qu'en mettant l'accent sur l'entreprise, et non sur le système en soi.

2.1.3.1.1 La cryptographie asymétrique et les signatures digitales

Bien que la synchronisation du registre distribué, du consensus et de l'opération de minage permette de préserver l'immuabilité du registre et la continuité de la blockchain, le système ne peut pas fonctionner s'il n'est pas associé à un mécanisme d'authentification valable. L'identification sur les systèmes blockchains utilise une technologie de base connue sous le nom de la *cryptographie asymétrique* ou *PKI* (acronyme pour *Public Key Infrastructure*). L'objectif de cette technique, explique Drescher (2017, p. 94), est de permettre l'identification des acteurs sur la blockchain et de sécuriser le transfert des actifs digitaux de manière à assurer que ceux-ci n'ont pas été altérés lors de leurs transmissions. Pour ce faire, la méthode attribue à chaque utilisateur une paire de clés complémentaires. La première clé sera utilisée pour décrypter les messages et les transactions sur la blockchain. Celle-ci est partagée avec l'ensemble du réseau et est, en l'occurrence, *publique* (p. 99). La seconde clé, dite *privée*, est celle qui sera utilisée pour encrypter les transactions. Cette dernière est confidentielle. La cryptographie asymétrique utilise une fonction

mathématique unique pour générer la paire de clés. Celles-ci sont complémentaires, ce qui signifie que toute transaction signée avec une clé privée ne peut être déchiffrée qu’au moyen de la clé publique correspondante (Yajie *et al.*, 2020). La figure 2.5 met en contexte le fonctionnement¹⁹ PKI. Celui-ci sera expliqué ci-après.

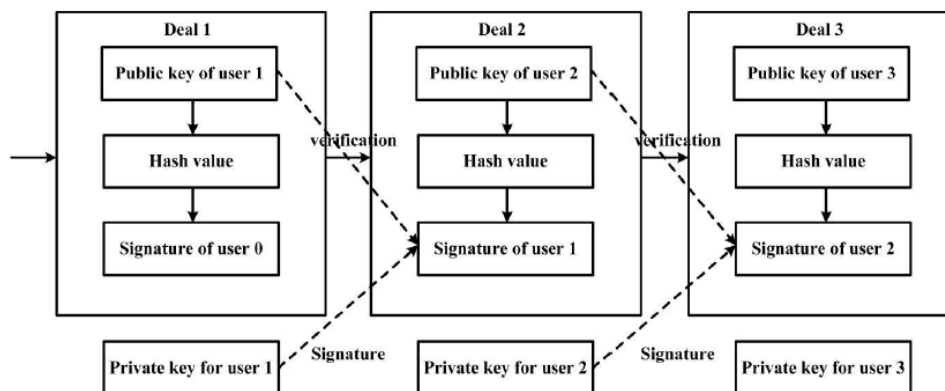


Figure 2-5 Représentation graphique de l’algorithme de cryptographie asymétrique, par Yajie *et al.* (2020, p. 2)

Chaque bloc dans une blockchain est représenté par un hash unique qui est l’empreinte digitale des informations transactionnelles contenues dans ce bloc. Cette valeur sera calculée lors de la création du bloc et est validée ultérieurement lors du consensus. Les fonctions de hachage sont aussi utilisées au niveau des transactions. En effet, chaque fois qu’une opération est réalisée sur la blockchain (stockage de document, transfert de valeur, etc.), les informations relatives à cette transaction seront hachées par le nœud qui en est responsable (représenté par *Hash value - deal 1* à la figure 6). Il cryptera ensuite le hash obtenu à l’aide de sa clé privée, ce qui génèrera un message alphanumérique appelé *cypher* (Drescher, 2017, p. 100). Ce message représente la signature digitale de la transaction et en décrit le contenu. Afin de valider l’identité de l’expéditeur de la transaction et de confirmer que celle-ci n’a pas été altérée lors de sa transmission à l’étape du

¹⁹ Le schéma de Yajie *et al.* (2020) est une illustration simplifiée de l’organisation transactionnelle dans un bloc. En réalité, les transactions sont organisées selon une structure en arborescence connue sous le nom de l’arbre de Merkel. La signature digitale du bloc correspond à l’entête de l’arbre (Header). Les racines de niveau 1 correspondent aux informations transactionnelles. Dans la plupart des cas, seuls les hashes de celles-ci seront conservés dans la blockchain une fois que le bloc a été validé afin de réduire le volume et d’augmenter sa performance globale. L’objet de la transaction sera stocké dans des serveurs virtuels ou locaux. Cette pratique est surtout utilisée lorsque la transaction porte sur des objets volumineux, tels que des documents, images, vidéos, etc.

consensus, les nœuds responsables de la vérification commencent par calculer le hash de la transaction. Ils décryptent ensuite sa signature digitale, c'est à dire le *cypher*, en utilisant la clé publique de l'adresse expéditrice. Si les deux hashes correspondent, la transaction est considérée comme étant valide et son authenticité est confirmée. Dans le cas contraire, la transaction sera rejetée (p. 107-108).

2.1.3.2 Couche applicative d'un système blockchain

Jusque-là, les éléments de couche de l'infrastructure d'un système blockchain ont été introduits. Cette couche renferme concrètement les codes de base qui dictent l'ensemble des protocoles ainsi que les règles de fonctionnement du système blockchain sous-jacent (Glaser *et al.*, 2019). Le code de base du système Bitcoin par exemple, est programmé pour que le système soit public et ouvert et que tout utilisateur puisse devenir mineur simplement en téléchargeant et en exécutant un logiciel client. Celui de Hyperledger Fabric, en revanche, est configuré pour inclure un module de contrôle d'accès (MSP) dans son infrastructure PKI et pour utiliser un consensus sans rémunération cryptographique (WG, 2018). La configuration dynamique de l'infrastructure rend possible le développement d'une panoplie d'applications et de services sur la blockchain (Glaser, 2017). Les codes correspondants constituent la couche applicative du système. Cette sous-section décrit les principaux éléments de cette couche.

2.1.3.2.1 Les contrats intelligents et les applications décentralisées

Introduits pour la première fois par le cypherpunk Nick Szabo en 1991, les contrats intelligents sont des « protocoles de transactions informatisés qui exécutent les termes d'un contrat » (1994, p. 1, traduction libre). Il s'agit plus précisément d'un ensemble d'arrangements contractuels « auto-exécutaires » écrits dans du code et stockés sur une infrastructure virtuelle distribuée (Ragnedda et Destefanis, 2020, p. 4). Les clauses du contrat sont automatiquement vérifiées et peuvent être exécutées à terme. Concrètement, les contrats intelligents peuvent être comparés à des boîtes cryptographiques scellées renfermant de la valeur et programmées pour s'auto-débloquer de manière autonome aussitôt que leurs conditions d'exécutions sont remplies (Buterin, 2014, p. 14). Il peut s'agir, par exemple, de déclencher une option de vente lorsque le prix atteint un certain

seuil²⁰, d'automatiser le processus de paiement dans une station libre-service (Beck, R. *et al.*, 2016), ou encore de déclencher une séquence de transactions sur une blockchain (De Filippi, 2018, p. 53). En outre, l'infrastructure de la blockchain permet aux utilisateurs de déployer des contrats intelligents sur la couche applicative du système (Glaser, 2017). Chaque contrat possède sa propre adresse²¹, et les détails des clauses sont conservés sur le registre sous-jacent et sont liés à cette adresse. Le contrat se déclenche lorsque son adresse est utilisée dans le cadre d'une transaction. Dans ce cas, le même consensus algorithmique qui permet aux nœuds du réseau de valider les transactions dans la blockchain vérifie l'atteinte des conditions prédéfinie lors de la mise en œuvre du contrat et l'exécute selon les règles en place (De Filippi, 2018, p. 53).

Il existe deux catégories de contrats intelligents, à savoir des contrats déterministes ou non déterministes. Un contrat déterministe ne requiert aucune donnée de l'extérieur de la blockchain. Il fonctionne de manière autonome et se base sur les informations contenues dans les blocs de cette chaîne. Les contrats non déterministes, en revanche, nécessitent un flux d'informations externe, ce qui implique concrètement la communication avec des *oracles* (Moorsel *et al.*, 2018). Ces services de passerelle, comme définis par De Filippi (2018, p. 58), assurent la transmission de toutes les données nécessaires au fonctionnement et à l'exécution du contrat intelligent. Ils permettent d'étendre le spectre des applications possibles en dehors du périmètre de la blockchain sur laquelle le contrat est déployé et brouillent d'autant plus la barrière entre l'écosystème des chaînes de blocs et le monde physique externe (p. 58-59). Les plateformes généralisées de contrats intelligents permettent de construire des applications décentralisées ou DApps. Selon le site web Ethereum.org, il s'agit d'une application qui se construit par-dessus un réseau décentralisé, et qui combine un contrat intelligent avec une interface utilisateur frontale. *Sia* et *Storj* sont des exemples de DApps déployées sur le réseau blockchain Ethereum et qui proposent un service IPFS de stockage décentralisé de documents (acronyme pour Interplanetary File System), similaires au iCloud d'Apple ou au Drive de Google (Werbach, 2018b).

²⁰ <http://uk.businessinsider.com/nasdaq-private-market-blockchain-bitcoin-experiment-currencyledger-2015-5>

²¹ À la différence d'une adresse contrôlée par un utilisateur, l'adresse d'un contrat intelligent est autonome et fonctionne selon le code programmé lorsque les instructions du contrat ont été publiés sur la blockchain.

2.1.4 La synchronisation entre les couches composantes : Le modèle Hyperledger Fabric

2.1.4.1 Présentation de l'initiative Hyperledger :

Hyperledger est une initiative de collaboration open source fondée en 2015 par la fondation Linux dans le but de créer un écosystème de solutions blockchains opérationnelles, diversifiées, et adaptées aux besoins spécifiques des différents opérateurs économiques (Hyperledger, 2018). La communauté Hyperledger compte dans ses rangs les leaders dans diverses industries, à savoir la finance, l'IoT, les chaînes d'approvisionnement, l'industrialisation et les secteurs technologiques. Ces derniers se partagent mutuellement des codes réutilisables de composantes de blockchains (d'infrastructure et d'applications), ainsi que diverses ressources matérielles et logicielles telles que des bibliothèques de données, des interfaces graphiques, des passerelles de données ou même des serveurs virtuels (AWG, 2018)²².

Tous les projets Hyperledger suivent la philosophie d'une architecture modulaire, d'une interopérabilité technique et celle d'un consensus affranchi de token²³ ou de cryptomonnaie native (AWG, 2018). L'approche modulaire donne aux membres de la communauté la flexibilité d'expérimenter et de permuter les composants de leurs solutions blockchains, et de les faire évoluer dynamiquement. L'interopérabilité garantit un transfert pragmatique des ressources et des connaissances entre les membres de cet écosystème (Yajie *et al.*, 2020). Concrètement, cette philosophie a donné naissance à cinq projets, dont chacun a une vocation et des composantes spécifiques. Ces derniers sont Hyperledger Fabric, Indy, Iroha, Sawtooth, Grid et Hyperledger Burrow. Nous nous limiterons, pour les fins du présent travail, à introduire l'architecture fonctionnelle de Hyperledger Fabric qui supporte la plateforme IBM Food Trust (Repakula et Bauer, 2019).

2.1.4.2 Description de la plateforme Hyperledger Fabric

La fondation Linux décrit Fabric comme une plateforme modulaire qui fournit un cadre de base pour le développement de systèmes d'entreprises basées sur les technologies blockchain (Repakula

²² L'Architecture WorkGroup (AWG) est un terme qui décrit la communauté responsable de développer et de maintenir les composantes modulaires (infrastructurelles et applicatives) de Hyperledger.

²³ Un token est un actif numérique créé à l'intérieur de la blockchain par d'autres mécanismes autres que le consensus. Concrètement, une blockchain peut avoir de multiples tokens, mais ne peut avoir plus qu'une seule cryptomonnaie.

et Bauer, 2019). La plateforme propose sur un registre globalement distribué, prend en charge des contrats intelligents et permet de créer des blockchains à permissions adaptées aux besoins de chaque organisation (Hyperledger, 2018). Fabric a été conçu en suivant la même philosophie conceptuelle que celle des autres projets Hyperledger. Concrètement, chaque organisation adhérente peut choisir la combinaison d'outils et de composantes infrastructurelle la mieux adaptée à ses besoins opérationnels. Elles peuvent permuter les APIs de connexion, les contrats intelligents, les Dapps et même les éléments de consensus (Androulaki *et al.*, 2018; Yajie *et al.*, 2020). Cela est possible grâce au fonctionnement par *canaux (channels)* de Hyperledger Fabric, où chaque canal affère à une organisation donnée - *ou consortium d'organisations si voulu* - et est géré exclusivement par le propriétaire du réseau organisationnel. Celui-ci peut définir, modifier et administrer les permissions de chaque membre du réseau au moyen d'un MSP embarqué dans l'infrastructure de son canal sur Fabric. Le module de contrôle d'accès applique des restrictions sur les clés publiques des utilisateurs. Il permet également au système de vérifier et de corroborer les permissions de toutes les parties prenantes à une opération lorsqu'une transaction est réalisée (Androulaki *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2019). Le MSP fonctionne en synergie avec une autre composante de l'infrastructure PKI communément appelée Fabric CA, un acronyme pour *Certificate Authority* (AWG, 2018). Ce service est responsable de l'émission des clés publiques/privées et de l'authentification des membres du réseau. Il émet un certificat digital d'identité (CA) pour attester de l'identité de tout nœud responsable d'une transaction (Androulaki *et al.*, 2018)

Pour récapituler, le registre de Fabric est analogue à un tissu de blockchains privées entièrement ou partiellement disjointes, où chaque canal organisationnel peut-être perçu comme blockchain à permissions est dont le registre est un fragment de Fabric. Ce fragment est distribué à travers les membres du canal respectif dont les permissions sont gérées par son administrateur. L'architecture modulaire de la plateforme Fabric permet à toute organisation de configurer son canal en choisissant parmi les différentes options d'infrastructure existante. Cette versatilité, inspirée de la logique du *no-size-fits-all*, permet d'accommoder la diversité des cas d'application et rend possible la création de solutions évolutives et personnalisées (Androulaki *et al.*, 2018, p. 3)

2.1.4.3 Description du flux transactionnel sur Hyperledger Fabric :

Comme toute plateforme blockchain, Fabric fonctionne au moyen d'un consensus distribué. Celui-ci comporte typiquement trois phases : l'endossement, l'ordonnancement et la validation de la transaction ²⁴. La prochaine section décrit le séquençement des flux qui mènent à la conclusion d'une transaction sur le registre Fabric. Les différentes étapes du flux sont résumées dans la figure 2.6 ci-après.

En résumé, le flux transactionnel se déclenche lorsqu'un *client* soumet une proposition aux *pairs responsables de l'endossement*. Le terme client, dans ce contexte, décrit un membre d'une organisation donnée qui invoque un DApp préalablement configuré sur le registre Fabric. Sa proposition peut porter sur une demande d'ajout de transaction sur le registre, comme il peut simplement s'agir d'une proposition d'accès à l'historique des transactions. Durant la première phase, chaque pair de l'endossement invoque un contrat intelligent préconfiguré dans la couche applicative, intitulé *chaincode*²⁵ (Zhang *et al.*, 2019). Ils valident, indépendamment les uns des autres, la proposition du client, et vérifient entre autres qu'elle n'a pas été soumise dans le passé, qu'elle contient la signature cryptographique du client, et que ce dernier dispose des permissions pour la tâche proposée en consultant le MSP du canal. Les pairs de l'endossement signeront ensuite la proposition du client et lui enverront une *réponse de proposition* (Androulaki *et al.*, 2018). La proposition est acceptée si la réponse de la majorité des pairs est positive. Dans ce cas, le client diffuse un message de transaction aux nœuds responsables de l'ordonnancement, également appelés service d'ordonnancement. Contrairement aux pairs de l'endossement, les nœuds du service d'ordonnancement n'appartiennent pas forcément au canal de l'organisation, et n'ont pas forcément accès à son MSP ni à son registre. Ces derniers reçoivent des transactions de tous les canaux du réseau, les ordonnent chronologiquement par canal, et génèrent un bloc de transactions pour chaque canal. Raft est le service d'ordonnancement utilisé par défaut dans la version actuelle de Fabric. Les organisations peuvent toutefois, comme nous l'avons précédemment évoqué, opter pour des implémentations antérieures de services, et notamment Kafka et Solo. Quel que soit le modèle choisi, les blocs nouvellement générés à la suite de l'ordonnancement des transactions

²⁴ Les termes anglais correspondants aux trois phases sont *endorsing*, *ordering* et *validation phase*, respectivement.

²⁵ Le terme *chaincode* peut aussi décrire les contrats intelligents déterministes.

seront distribués aux pairs de chaque canal respectif, ce qui marque le début de la phase de validation. Les transactions au sein du bloc seront à nouveau validées pour s'assurer que la politique d'endossement est conforme et que les conditions du chaincode sont respectées²⁶. Les transactions peuvent dès lors être marquées comme étant valides ou invalides. Les pairs du canal vérifieront ensuite la cohérence du registre en comparant son instance actuelle à celle de l'endossement. Cela permet, d'une part, de valider que le registre n'a pas été altéré et que l'état de vérité est préservé en tout temps. Elle élimine également la double dépense, c'est-à-dire que les transactions dupliquées seront marquées comme étant invalides (Zhang *et al.*, 2019). Finalement, chaque pair ajoutera le bloc à sa version du registre et notifiera le client que sa transaction a fait l'objet d'un consensus. À noter que la transaction peut être valide, comme elle peut être invalide. Dans ce second cas, la transaction demeurera tout de même le registre immuable pour des fins de traçabilité et d'audibilité mais n'entraînera pas une mise à jour du journal des transactions.

²⁶ Il convient de souligner que la validation diffère substantiellement de l'endossement où le client reçoit la réponse des pairs et décide, sur la base des réponses collectives, de soumettre ou non la transaction au service d'ordonnancement. Si le client enfreint la politique de la blockchain en altérant les réponses de propositions dans la première phase du consensus, sa transaction sera rejetée par les pairs lors de la phase de validation.

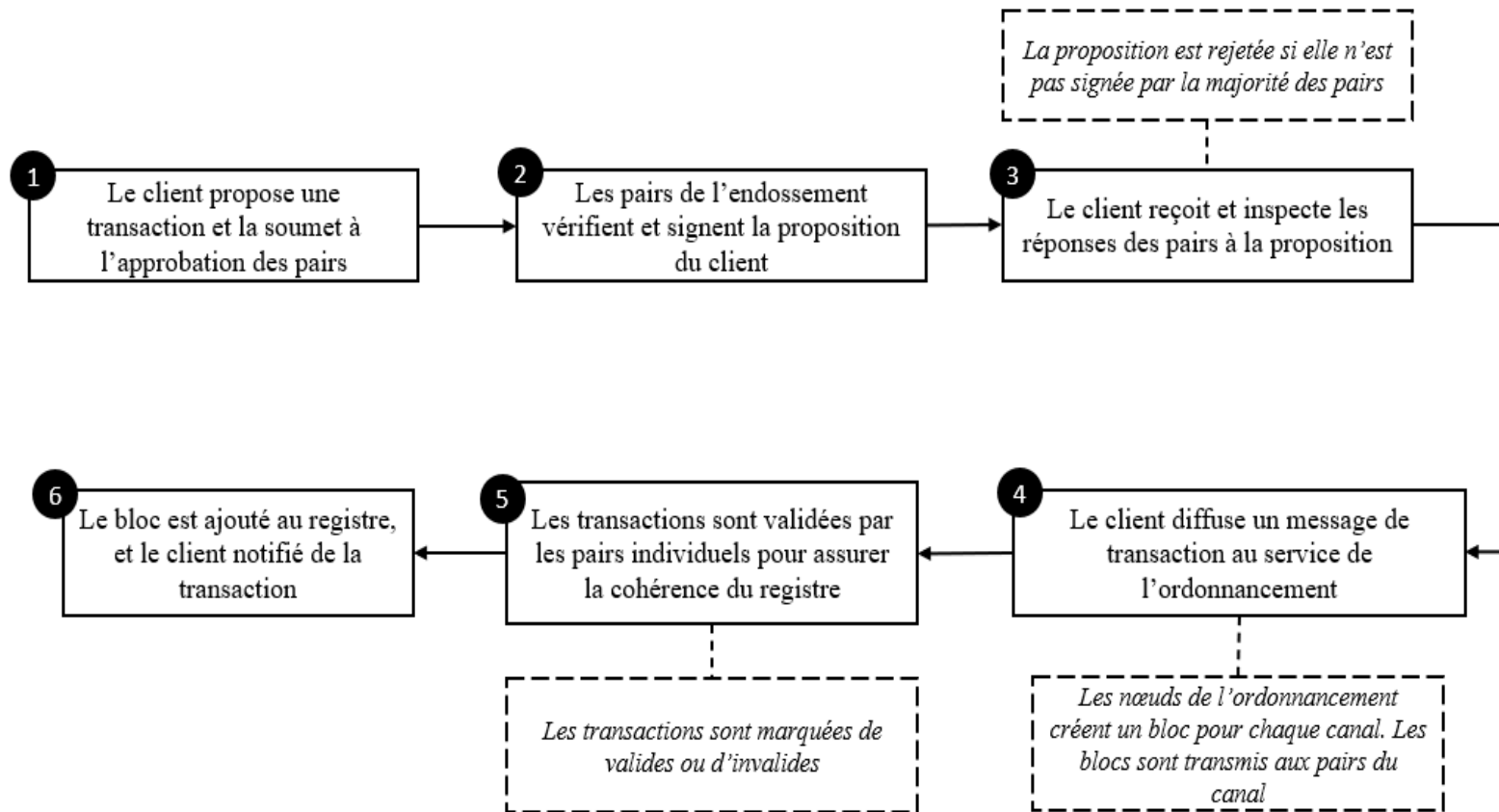


Figure 2-6 Illustration simplifiée du flux transactionnel sur Hyperledger Fabric (illustration propre)

2.1.5 Les avantages et les limites des systèmes blockchain

Jusqu'à présent, les aspects techniques de l'infrastructure et de la couche applicative des blockchains ont été introduits. La synchronisation entre les composantes technologiques est décrite à travers l'exemple Hyperledger Fabric, qui donne un aperçu concret du fonctionnement d'une blockchain privée dans un contexte réel. La présente sous-section décrit les principales promesses à l'origine de l'euphorie des chaînes de blocs. Elle en énonce également quelques limites connues qui entravent le développement et la diffusion de la technologie.

2.1.5.1 Atouts des systèmes blockchain

2.1.5.1.1 La désintermédiation des transactions et l'autorité algorithmique

Comme nous l'avons précédemment mentionné, une des principales caractéristiques des blockchains, ancrée dans la vision des cypherpunks et dans l'infrastructure du système, est la capacité de désintermédier les transactions économiques (Tapscott et Tapscott, 2016, p. 35). Contrairement aux systèmes centralisés où les institutions de contrôle jouent un rôle prédéterminant dans la gouvernance et la coordination des transactions, un système blockchain est supporté par un réseau d'ordinateurs autonomes et indépendants, reliés les uns aux autres grâce à un protocole logiciel commun (De Filippi *et al.*, 2018, p. 6). Par la distribution du pouvoir et du contrôle à travers les nœuds participants, « l'autorité algorithmique du système, soutenue, par le jugement et la sagesse de la foule, devient la source d'authenticité » (Glaser *et al.*, 2019, p. 133, traduction libre). L'autorité algorithmique, en ce sens, désigne « la confiance placée dans un algorithme pour diriger l'action humaine et vérifier les informations [...] » (Lustig et Nardi, 2015, p. 743, traduction libre). C'est d'ailleurs dans cette optique que De Filippi *et al.* (2018) introduisent la notion de la *Lex Cryptographica*, un cadre juridique privé de règles cryptographiques régies par des contrats intelligents et un protocole blockchain (2018, p. 50). L'idée de ce modèle est de permettre aux organisations de définir un système juridique adapté à leurs besoins sans le recours à un tiers de confiance. Le choix d'y adhérer implique que l'utilisateur accepte de se soumettre à la gouvernance du code, léguant ainsi une partie de sa liberté individuelle aux règles normatives que celui-ci impose (Glaser *et al.*, 2019).

2.1.5.1.2 La résilience et la sécurité

Il a déjà été mentionné que le registre de la blockchain est répliqué et distribué à travers un réseau de nœuds interconnectés en tout temps. Cette propriété permet de garantir la résilience et continuité fonctionnelle du système sans aucun *point de défaillance unique*. De Filippi *et al.* (2018, p. 35) expliquent que, tant qu'un seul nœud disposant d'une version complète de la blockchain demeure connecté au réseau, ce nœud pourra partager sa version avec tous les nœuds voisins (et ainsi de suite), ce qui permet de restaurer l'intégralité du système en cas de défaillance. Cette résilience caractéristique fait des technologies de registres distribués des outils relativement plus tolérants aux pannes que les bases de données traditionnelles. Au-delà de leurs résiliences, les blockchains sont, par design, résistants aux changements pour ne pas dire immuables grâce à leurs consensus (Drescher, 2017, p. 132-142). Concrètement, aucune entité individuelle n'est autorisée à modifier ou à annuler un enregistrement une fois qu'il a été ajouté. Il en va de même pour l'exécution d'un contrat intelligent, à moins que cela n'ait été prévu dans le code du contrat (De Filippi *et al.*, 2018, p. 35).

2.1.5.1.3 La transparence et la non-répudiation des données

Chaque transaction enregistrée dans une chaîne de blocs est irrévocable et doit faire l'objet d'un consensus distribué entre les pairs du réseau. De cette manière, et par le biais de la *Lex Cryptographica*, les blockchains sont capables d'instaurer et maintenir un état de vérité unique et commun du registre (Magazzeni *et al.*, 2017). Toutes les métadonnées et informations contextuelles relatives aux opérations courantes sont stockées sur celui-ci. Dans le cas des blockchains publiques, chaque individu peut télécharger une copie de la blockchain et accéder à l'historique des transactions (Drescher, 2017, p. 225). Les codes des registres publics sont, pour la plupart, disponibles auprès de la communauté engagée dans le développement du système. Les blockchains à permissions sont également transparentes et traçables, sauf que l'accès à celles-ci n'est autorisé qu'aux utilisateurs authentifiés par le module de contrôle d'accès. Concrètement, la synchronisation des consensus et la structure en blocs créent une piste d'audit cryptographique qui retrace toutes les activités depuis la création de la blockchain, indépendamment de son type.

En plus d'être transparentes, les blockchains sont non répudiables grâce à l'usage de la cryptographie asymétrique. En effet, tout engagement transactionnel sur la blockchain, même s'il

s'agit de déclencher un contrat intelligent, nécessite la signature préalable de la transaction avec sa clé privée. Cette signature numérique est une preuve irréfutable de l'origine de la transaction et de l'implication du compte à laquelle la clé privée est associée (De Filippi *et al.*, 2018, p. 37). Une fois validée, la transaction sera stockée sur le registre. La combinaison de la transparence et de l'immutabilité fera de tel que toute opération frauduleuse sera visible pour l'ensemble des utilisateurs autorisés, de même que la clé publique qui fut à l'origine de la transaction (2018, p. 38). C'est d'ailleurs en exploitant ces caractéristiques et en suivant les opérations et les adresses que les gouvernements sont capables de retracer les activités et de lutter contre le blanchiment d'argent et la criminalité dans la crypto-sphère. L'expert Paul Vigna explique dans une communication avec le Wall Street Journal que les gouvernements disposent désormais d'algorithmes surpuissants qui leur permettent de surveiller les mouvements financiers sur les blockchains les plus populaires²⁷. Certes, ces chaînes sont pseudo-anonymes, c'est-à-dire que l'identité des participants n'est pas connue²⁸. Toutefois, les gouvernements tendent à faire des recoupements avec les bases de données des institutions financières ou des boutiques de cryptomonnaies en cas de mouvements suspects. Le cas des blockchains permissionnées est différent puisque celles-ci sont basées sur l'identification. Concrètement, la conjugaison de l'immutabilité, la transparence et la non-répudiation donne une garantie additionnelle que les participants respecteront les règles du jeu. Puisque les identités sont connues à l'avance par l'administrateur des permissions, toute opération qui va à l'encontre des règles de l'écosystème expose l'individu à des sanctions, qui peuvent aller de la simple exclusion de la plateforme ou l'atteinte à la réputation, jusqu'au recours judiciaire contre le participant (Olsen *et al.*, 2019).

2.1.5.2 Limites des systèmes blockchain

Il est indéniable que l'arrivée des blockchains peut transformer la dynamique du partage d'informations et reconfigurer le modèle économique néoclassique. Le fait demeure cependant que la technologie présente des limites, à la fois techniques et fonctionnelles, qui sont le plus souvent

²⁷ <https://www.wsj.com/podcasts/tech-news-briefing/how-the-government-traced-billions-in-stolen-bitcoin/d6df8d09-1d6d-49ea-a57f-5e26f70e5bbd>

²⁸ Lors de la création d'une adresse sur Bitcoin (et sur la majorité des blockchains publiques) ne nécessite aucune donnée privée (tel que le nom, l'adresse courriel, etc). Il se peut en revanche que ces données vous soient demandés par un prestataire externe qui créera le compte pour vous. Dans ce cas, les données seront à sa disposition et ne seront pas stockées sur la blockchain.

omises des discussions. La résultante est une littérature univoque fortement guidée par un technophilisme enthousiaste, ce qui crée des disparités entre les attentes et la réalité (Ragnedda et Destefanis, 2020, p. 5-6). Les prochains paragraphes aborderont quelques limites d'envergure que les blockchains se doivent de surmonter afin d'atteindre la ciblée révolutionnaire louée par Tapscott et Tapscott (2016).

2.1.5.2.1 L'enregistrement des données et le problème du GIGO

Si les blockchains sont, par design, résistantes aux changements, peut-on proclamer qu'un enregistrement est valide simplement parce qu'il est stocké sur une blockchain immuable? Cette question introduit une limite majeure des systèmes blockchains qui concerne la fiabilité des données. Concrètement, une blockchain ne peut, en soi, garantir la qualité et l'authenticité des données enregistrées dans le registre (De Filippi *et al.*, 2018, p. 113-114). L'état commun de vérité de Magazzeni *et al.* (2017), signifie que le système a la capacité de restaurer la version légitime du registre avec toutes les informations qui y sont déjà stockées. La *vérité absolue*, en soi, ne sera aussi vraie que les enregistrements saisis sur la blockchain. Selon l'analogie de Lemieux (2016) sur les documents juridiques, la blockchain est capable d'instaurer la *validité documentaire*, mais pas la *vérité juridique*. Le premier terme renvoi à l'authenticité d'un document soumis au registre juridique. La deuxième, en contraste, reflète l'authenticité des faits et des événements décrits dans le document (Lemieux, 2016, p. 112). Tel est le fameux problème du GIGO, un acronyme pour Garbage In, Garbage Out (De Filippi *et al.*, 2018, p. 113). Powell *et al.* (2022, p. 4) explique que les blockchains ont beau être immuables, leur sécurité n'a aucune valeur si la conformité des transactions qu'elles contiennent n'est pas attestée, parce que le pont entre le monde physique et digital est un environnement de « confiance-zéro ». Le problème est particulièrement pesant lorsque l'usage de la blockchain implique l'injection d'un flux externe de données et l'usage de contrats intelligents non déterministes, comme il est le cas pour la plupart des applications non financières de la technologie. Dans la mesure où des informations inexacts ou incomplètes sont injectées sur le registre, la blockchain ne fera qu'exacerber le problème de par son immuabilité cryptographique (De Filippi *et al.*, 2018, p. 113).

2.1.5.2.2 La scalabilité et l'évolutivité des systèmes blockchain

Une autre limite connue des blockchains concerne leur scalabilité. Khan *et al.* (2021) ont constaté que les travaux portant sur l'évolutivité des blockchains gagnent en importance depuis quelques années. Leur revue de la littérature a également révélé que la scalabilité des blockchains est l'un des principaux facteurs qui entravent l'adoption pleine de la technologie. Par définition, la scalabilité dans le contexte des chaînes de blocs se réfère à la capacité du consensus à supporter un débit transactionnel élevé et une évolution future (Khan *et al.*, 2021). Cette contrainte remonte à l'infrastructure et aux caractéristiques du système, tel que le nombre de nœuds complets, la capacité de stockage, la taille des blocs ou encore la latence de communication et de vérification (Xie *et al.*, 2019). Lorsqu'elles sont comparées à des plateformes centralisées, les blockchains affichent concrètement des performances faibles en termes de scalabilité. Ceci est particulièrement valable pour les systèmes à permissions basées sur des consensus BFT, en ce qu'ils doivent synchroniser plusieurs mécanismes cryptographiques (minage, rémunération incitative, etc.) pour composer avec la double dépense et l'absence de confiance entre les pairs (Sanka et Cheung, 2021). Il existe d'ailleurs un compromis bien connu dans la littérature, selon lequel les blockchains seraient incapables de concilier la décentralisation, la scalabilité et la sécurité à la fois. Ce trilemme stipule que toute conception de blockchain doit inévitablement compromettre l'un de ces aspects. Les blockchains publiques privilégient la sécurité et la décentralisation au détriment de la scalabilité. En contraste, les systèmes privés misent davantage sur la scalabilité et la sécurité, d'où leur caractère centralisé. Ils reposent ainsi sur la non-répudiation et la responsabilisation pour la conciliation des intérêts, et optent pour des consensus qui mettent l'accent sur la résilience et la tolérance aux pannes, comme il est le cas pour les mécanismes d'ordonnancement Kafka et Raft de Hyperledger Fabric (Khan *et al.*, 2021; Sanka et Cheung, 2021).

2.2 Introduction à la notion de chaîne d'approvisionnement

Dans un article qu'ils consacrent à la définition du terme, Mentzer *et al.* (2001, p. 3) stipulent qu'une chaîne d'approvisionnement désigne, dans son interprétation la plus ouverte du terme, un groupement d'entreprises qui ont pour objectif commun de pousser des produits sur le marché. Il s'agit plus précisément d'un système qui rassemble plusieurs acteurs économiques, notamment des fournisseurs, des fabricants, des distributeurs, des détaillants et des clients, autour d'un ensemble d'activités qui vont de la production, le transport, la distribution, jusqu'à la commercialisation des produits et des services. Ces acteurs sont connectés par divers flux physiques, informationnels et financiers qui leur permettent d'échanger les produits du bout de la chaîne à l'autre, afin de répondre à une demande spécifique sur le marché (Fiala, 2005). Les flux physiques sont la partie apparente de la chaîne d'approvisionnement et traduisent la circulation des produits et des services entre les entités individuelles, jusqu'à leur livraison au dernier point de la chaîne d'approvisionnement. Les flux financiers reflètent le mouvement des fonds et des trésoreries. Enfin, les flux informationnels représentent le mouvement de toute donnée, document ou décision circulant le long de la chaîne d'approvisionnement (Mentzer *et al.*, 2001, p. 18).

Toute chaîne d'approvisionnement peut être séparée en deux parties. La partie en amont rassemble les fournisseurs d'une organisation qui opère la dernière activité de transformation sur un produit commercialisable. L'autre segment de la chaîne, soit sa partie en aval, rassemble l'ensemble des entités qui interviennent dans la livraison des produits jusqu'au consommateur final (Grant *et al.*, 2017, p. 10). Les deux parties de la chaîne d'approvisionnement sont reliées par des activités de stockage et des activités de transformation. Dans un livre dédié aux pratiques de gestion durables dans les chaînes logistiques, Grant *et al.* (2017) expliquent que les produits physiques sont arrêtés à chaque nœud, où ils sont d'abord entreposés et traités par le biais d'activités « *stop* », avant d'être déplacés vers le prochain nœud via des activités « *go* » (2017, p.10). Ils ajoutent que la performance de la chaîne d'approvisionnement, dans son ensemble, dépend du degré de coordination et du niveau d'intégration de ces activités (*ibid*). Toutefois, si la modélisation simplifiée des auteurs représente les chaînes d'approvisionnement comme un continuum d'activités linéaire, la réalité de ces systèmes est bien plus complexe que la dichotomie stop and go compte tenu du fait que les chaînes d'approvisionnement sont socialement et économiquement encadrées. Elles sont, pour la plupart, constituées d'agents indépendants ayant chacun des préférences et des intérêts propres.

Ces acteurs sont engagés dans une relation d'interdépendance réciproque, puisque les extrants pour l'un constituent les intrants pour l'autre, et que les ressources sont partagées tout le long de la chaîne d'approvisionnement. L'ensemble du système est aussi interdépendant de son environnement. La *polycentricité située* de l'ensemble de la chaîne²⁹ favorise l'émergence d'aléas moraux et expose les acteurs à des incertitudes à la fois endogènes et exogènes. Concrètement, Flynn *et al.* (2016, p. 7-9) classent l'incertitude des chaînes d'approvisionnement en deux catégories : environnementales et comportementales. Ces deux notions ont fait l'objet de plusieurs travaux dans le cadre des travaux sur la Nouvelle Économie Institutionnelle, théorie selon laquelle les modèles de la coordination économique (qu'il s'agissent des marchés, des institutions ou des contrats) seraient définis sur la base de la rationalité limitée et de l'opportunisme des acteurs économiques (Williamson, 2008, p. xxxix-xli). La limite dans la rationalité des acteurs signifie que leurs capacités de raisonnement sont altérées par un ensemble de contraintes, dont l'asymétrie informationnelle, les biais cognitifs, le manque de temps, ou autres. Cette incapacité à être totalement informé au sein des chaînes d'approvisionnement est source d'une incertitude environnementale, une forme exogène de versatilité qui s'attache à l'environnement externe au sein duquel la chaîne – et ses différents membres- évolue (Sutcliffe et Zaheer, 1998). Elle est concrètement le résultat de l'évolution dynamique de l'environnement, et plus précisément une conséquence de la diversité des changements et la volatilité dans les conditions macro, meso et micro-environnementales (Klein *et al.*, 1990, p. 200). D'un côté, la diversité de l'environnement se définit comme le degré avec lequel l'environnement de l'entreprise est entaché de multiples sources de volatilité. Sa volatilité, de l'autre côté, réfère à l'amplitude des variations soudaines de l'environnement externe. Il peut s'agir, par exemple, d'une nouvelle contrainte légale ou réglementaire, d'une turbulence économique non anticipée, de l'introduction de nouveaux acteurs sur le marché ou encore d'une innovation technologique disruptive. Ces changements, étant hors du contrôle et de la portée des acteurs, qui sont de rationalité limitée, entraînent des aléas qui se déplacent tout le long de la chaîne d'approvisionnement (Flynn *et al.*, 2016, p. 7-9). Ils peuvent être amplifiés et se diffuser entre les acteurs en raison du phénomène de *coup de fouet*, ce qui crée

²⁹ Selon la théorie des contingences, la performance d'une organisation est contingente à l'ajustement entre sa structure, ses processus et son environnement. D'une part, l'environnement externe d'une chaîne d'approvisionnement contient des acteurs qui sont pertinents pour l'atteinte de ses objectifs, ce qui inclut entre autres les clients, les fournisseurs, les concurrents et les organismes de réglementation. D'autre part, la matérialité des chaînes d'approvisionnement rend nécessaire les échanges entre les acteurs, où chacun est impliqué dans son propre réseau d'interdépendance, dans son propre environnement.

une distorsion d'autant plus importante dans les flux physiques, informationnels et financiers (Ha et Tang, 2017, p. 3). En plus de l'incertitude environnementale, les chaînes d'approvisionnements sont constamment exposées à des incertitudes endogènes qui relèvent de l'interdépendance réciproque entre ses acteurs et de leur nature intrinsèquement opportuniste. Cet aspect est fondé sur la prémisse que certains acteurs économiques ont tendance à se comporter de manière opportuniste, c'est-à-dire qu'ils chercheront à « maximiser leurs intérêts personnels avec fourberie» (Williamson, 1985, p. 47)³⁰. Cela signifie également qu'en l'absence de barrières fonctionnelles, les membres de la chaîne d'approvisionnement sont susceptibles de divulguer des informations incomplètes ou déformées, dans le but d'induire leurs partenaires en erreur et de maximiser leurs propres gains à leurs détriments (p. 47-48). Ainsi, l'incertitude comportementale peut être définie comme le degré de difficulté de prévoir les actions des autres acteurs, particulièrement en raison de leurs tendances d'opportunisme (Sutcliffe et Zaheer, 1998, p. 3).

Afin de limiter les répercussions, vraisemblablement désastreuses, des incertitudes comportementales et environnementales, les organisations doivent s'accommoder de stratégies de gestion évolutives et adaptées aux caractéristiques des produits et de la chaîne d'approvisionnement. Concrètement, la gestion des chaînes d'approvisionnement se dit de la coordination systématique des flux physiques, informationnels et financiers, qui traversent la chaîne horizontalement et transversalement (Mentzer *et al.*, 2001, p. 18). La philosophie de la systémique unifie les différentes fonctions et capacités opérationnelles et stratégiques intra et inter-organisationnelles, et crée une structure uniforme et synchrone. Cela a pour effet de faciliter la coordination des flux, augmentant ainsi la flexibilité organisationnelle et les capacités opérationnelles de l'ensemble des acteurs de la chaîne (p. 7).

2.2.1 Définition d'une chaîne d'approvisionnement agroalimentaire

Une chaîne d'approvisionnement agroalimentaire (ASC), comme toute chaîne d'approvisionnement, incorpore un réseau complexe d'acteurs économiques, politiques et institutionnels, connectés par des flux physiques et informationnels transversaux et horizontaux (Cagliano *et al.*, 2016, p. 9). Elle regroupe, comme l'indique le nom, l'ensemble des activités et

³⁰ "By opportunism, I mean self-interest seeking with guile [...] Opportunism more often involves subtle forms of deceit. Both active and passive forms and both ex ante and ex post types are included"

des processus liés à la production, au traitement, à la transformation ainsi qu'à la distribution des produits agricoles et alimentaires. Typiquement, les chaînes d'approvisionnement agroalimentaire comportent trois phases. La première est une phase de production et de culture qui rassemble des acteurs nationaux et internationaux. Cela peut aussi bien être des fermes locales, des petites entreprises familiales ou encore des chaînes de production de masse. Les producteurs vendent typiquement leurs produits aux acteurs responsables de la transformation des produits. Ce mouvement est facilité par une magnitude d'entreprises de logistique et de transport qui veillent à ce que les aliments parviennent en temps et en qualité voulue. Il existe toutefois une part de marché où les producteurs interagissent directement avec le consommateur (producteurs, maraichers), ou les distributeurs, pour les produits frais essentiellement (Dani, 2015, p. 5). Lors de la phase de la transformation, les denrées sont soumises à divers procédés de traitement jusqu'à l'obtention d'un produit qui répond aux exigences économiques, d'une part, et légales et réglementaires de l'autre. Cette phase comprend généralement des processus industriels à grande échelle qui nécessitent des ressources et des ingrédients diversifiés, souvent dispersés à travers le globe. Elle est généralement conclue par un processus d'emballage dont l'extrait sera distribué au consommateur final lors de la troisième phase de livraison (Cagliano *et al.*, 2016, p. 9-10). L'illustration suivante illustre la dynamique entre principaux acteurs de la chaîne d'approvisionnement.

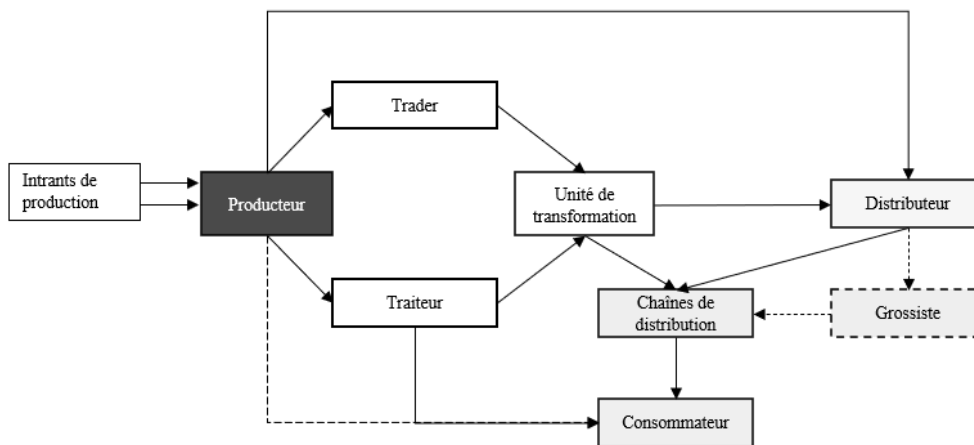


Figure 2-7 Modélisation des flux relationnels entre les acteurs de la chaîne d'approvisionnement agroalimentaire adaptée de Dani (2015, p. 5)

2.2.2 Caractéristiques des chaînes d'approvisionnement agroalimentaire

2.2.2.1 La nature des produits et la portée des processus

Il y'a lieu de dire que les chaînes d'approvisionnement agroalimentaire se caractérisent par un degré de complexité substantiellement plus élevé que les chaînes traditionnelles³¹, ce qui est essentiellement dû à la nature et aux caractéristiques des produits véhiculés sur celles-ci. Cagliano *et al.* (2016, p. 8) expliquent que les produits agroalimentaires sont pour la plupart cycliques et fortement dépendants des conditions environnementales externes tels que la saisonnalité, le climat, etc. Cette variabilité dans l'offre des produits engendre des incertitudes dans les processus de production ce qui affecte l'intégralité de la chaîne d'approvisionnement (Batuhan et Murat, 2018). En plus de la cyclicité de la production, les produits alimentaires sont, pour la plupart, hautement périssables et se caractérisent ainsi par un cycle de vie relativement court. Routroy et Behera (2017) expliquent dans ce contexte que « la principale différence entre les ASC et les autres chaînes relève du changement continu et significatif dans la qualité des produits tout au long de la chaîne d'approvisionnement » (p. 289, traduction libre). Concrètement, toutes les décisions et activités doivent être conjuguées autour de la périssabilité et la préservation de la qualité des produits en circulation. Les activités de transportation et d'entreposage, par exemple, doivent porter une attention particulière aux conditions d'entreposage telles que la température, l'humidité, la durée de conservation, etc. Toute mauvaise prise en considération de ces éléments peut avoir de grandes répercussions sur la qualité des produits alimentaires et même, dans certains cas extrêmes, sur la santé des consommateurs (p. 289-290).

Outre les critères de la cyclicité et de la périssabilité, les chaînes d'approvisionnement agroalimentaire sont caractérisées par une portée transfrontalière remarquable, amplifiée par la mondialisation moderne et l'ouverture des marchés (Dani, 2015, p. 84). En effet, les transformations économiques dans les pays développés se sont traduites par une diminution dans les activités primaires, notamment celles qui relèvent de la production alimentaire. Pour pallier le manque dans l'offre et répondre à la demande croissante, ces pays ont principalement recours aux importations, ce qui implique une disparité géographique élevée entre les maillons de la chaîne d'approvisionnement. En plus de cela, la révolution industrielle et la dynamique concurrentielle

³¹ Il est sous-entendu par chaîne d'approvisionnement traditionnelle que les produits échangés n'ont pas de vocation alimentaire.

dans les pays développés a fait augmenter les coûts de la main-d'œuvre, poussant les acteurs du secteur agroalimentaire à chercher des alternatives économiques. Ils ont de plus en plus recours à la sous-traitance et l'externalisation des processus de production et de traitement. Ces facteurs ont non seulement intensifié les mouvements transfrontaliers des produits agroalimentaires, mais ont aussi augmenté la fragmentation et la complexité systémique dans les chaînes d'approvisionnement. C'est d'ailleurs dans ce cadre que l'Organisation Mondiale du Travail a introduit la notion de *chaînes d'approvisionnements globales* qu'elle définit comme étant des « structures organisationnelles complexes, diverses, fragmentées, dynamiques et en perpétuelle évolution » (ILO, 2022). À cela s'ajoutent les contraintes logistiques et institutionnelles qui parsèment le chemin des alliances stratégiques et commerciales internationales. Dani (2015, p. 84) explique que les organisations du secteur alimentaire doivent naviguer à travers une multitude de régimes de réglementations nationales, de politiques locales et de standards de la qualité. Ils sont également tenus de s'adapter aux changements constants au niveau de ces régimes, tâche qui pose souvent problème en raison du manque de flexibilité et de l'insuffisance des moyens de communication et de formation.

2.2.2.2 La transparence et la traçabilité des chaînes d'approvisionnement agroalimentaire

Afin de protéger les consommateurs et de veiller à la sécurité des produits alimentaires, les organisations qui œuvrent dans le secteur de l'agroalimentaire se doivent d'adopter des stratégies de gestion qui instaurent la transparence des flux et permettent la traçabilité des produits (Tripoli et Schmidhuber, 2020). Wognum et al. (2011, p.65) définissent la transparence d'une ASC comme le degré de compréhension partagée et d'accès à des informations pertinentes, exactes, factuelles, fiables, actualisées et immédiates, sur les produits, les processus et les activités entre les maillons de la chaîne d'approvisionnement sans que cela n'entraîne une perte, un retard ou une distorsion pour les autres entités. D'un autre côté, la traçabilité fait référence à la capacité de suivre, en amont comme en aval, le mouvement d'un flux. Une définition récurrente dans la littérature sur les chaînes alimentaires est celle de la Commission européenne:

La « traçabilité » [est] la capacité de retracer, à travers toutes les étapes de la production, de la transformation et de la distribution, le cheminement d'une denrée alimentaire, d'un aliment pour animaux, d'un animal producteur de denrées alimentaires ou d'une substance destinée à être incorporée ou susceptible d'être incorporée dans une denrée

alimentaire ou un aliment pour animaux. (Journal officiel des Communautés européennes, 2002)³²

Une autre définition de la traçabilité est donnée par Olsen et Borit (2013) qui consacrent l'entièreté de leur article « How to define traceability » à conceptualisation du terme. On y lit concrètement que « la traçabilité est la capacité de suivre un lot de produits et son historique à travers l'ensemble ou une partie de la chaîne de production, de la récolte au transport, au stockage, à la transformation, à la distribution et à la vente » (p. 143, traduction libre). Dabbene *et al.* (2014, p. 65) expliquent que l'action de tracer implique deux pratiques directionnellement opposées. La première est celle du *suivi* que les auteurs définissent comme le traçage d'un produit le long de son mouvement dans la chaîne d'approvisionnement. Le deuxième sens de traçage est celui du dépistage, qui renvoie à la capacité d'accéder aux flux informationnels dans les étapes antérieures de la circulation du produit (p. 65-66). Quel que soit son sens, la traçabilité des produits agroalimentaires est une partie intégrante de la gestion logistique (Wognum *et al.*, 2011). Il s'agit également d'une obligation légale dans plusieurs pays ou un seuil minimal de transparence est requis entre les acteurs de la chaîne d'approvisionnement (Kamble *et al.*, 2020). Si l'on suit concrètement la réglementation actuelle, un produit ne peut être qualifié de traçable que s'il répond à l'exigence du « *one step back/one step forward* », c'est-à-dire qu'il est possible de suivre et de repérer le produit d'un moins un pas durant sa translation dans la chaîne d'approvisionnement, abstraction faite de nombre de partenaires et de processus traversés. En d'autres termes, tous les acteurs de la chaîne d'approvisionnement doivent *-au moins-* être en mesure de fournir les informations sur les transactions qu'ils réalisent avec leurs partenaires de premier degré, qu'il s'agisse des fournisseurs ou des clients (Grant *et al.*, 2017, p. 10). Les normes internationales de la traçabilité sont décidées et révisées par une commission internationale qui joint l'Organisation mondiale de la santé (WHO) et le FAO, intitulée le *Codex Alimentarius*. L'adoption de ces standards est enforcée par des réglementations nationales et internationales : au Canada, par exemple, *le règlement sur la salubrité des aliments* encadre toutes les activités liées à la production, la distribution, et à la commercialisation des produits agroalimentaires³³. Celui-ci dicte les exigences de qualité, les normes de traçabilité et d'emballage de chaque produit, ainsi que les procédés de contrôles et de

³² Règlement (CE) N. 178/2002 du Parlement Européen sur la Législation Alimentaire Générale <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002R0178&from=FR>

³³ <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2018-108/index.html>

suivi de tout produit commercialisable au Canada. Un autre exemple est celui de la législation alimentaire générale³⁴ en Europe (règlement No 178/2002 sur la sécurité des denrées alimentaires) ou encore la Loi sur la Modernisation de la Sécurité Alimentaire aux États-Unis (FSMA) qui décrit les obligations légales en matière d'informations partagées entre les différentes phases du processus agroalimentaires³⁵. Cela nous amène d'ailleurs à une autre caractéristique des chaînes d'approvisionnement agroalimentaire et au fait qu'elles doivent opérer dans un environnement réglementaire unique et dynamique, ce qui a ses effets sur les modèles de coordination et sur les perspectives économiques (Cook *et al.*, 2008, p. 292). D'ailleurs, la rigueur institutionnelle à elle-même ne suffit pas, s'il n'est pas associé à des mécanismes d'exécutions et de contrôles systématiques. Par exemple, une recherche portant sur 4577 produits alimentaires distribués au Brésil a révélé que seulement 1% de ceux-ci disposent d'une traçabilité complète (Matzembacher *et al.*, 2018). En contraste, une enquête réalisée en 2021 sur 525 produits vendus sur le marché canadien a révélé que presque 85% de ceux-ci sont conformes aux normes de l'ACIA (acronyme pour l'Agence Canadienne d'Inspection des Aliments). L'inspection a ciblé les catégories de produits les plus susceptibles d'être touchés par de la fraude alimentaire, notamment l'huile d'olive, les poissons et crustacés, le miel et les épices (CFIA, 2021).

Si la plupart des organisations se contentent de satisfaire les exigences légales minimales de suivi et de dépistage, certaines vont au-delà de ce qui est requis par la loi et mettent en œuvre des systèmes avancés de traçabilité (Garaus et Treiblmaier, 2021). En réalité, plusieurs aspects d'une chaîne d'approvisionnement alimentaire performante, tels que les coûts, la gestion des inventaires, ou encore la gestion logistique reposent sur la transparence et la visibilité (Rogerson et Parry, 2020). Une abondante littérature a établi que le partage d'information entre les acteurs facilite la gestion horizontale des flux, favorise la collaboration inter-organisationnelle et permet une meilleure adaptation aux variations environnementales externes, et par conséquent, une exposition moindre aux incertitudes exogènes (Batuhan et Murat, 2018; Fiala, 2005). Cette tendance se justifie, encore une fois, par l'encastrement socio-économique des chaînes d'approvisionnement. Bosona et Gebresenbet (2013) expliquent que les organisations peuvent être guidées par des motifs purement économiques et commerciaux comme l'accès à des marchés conservateurs, la commercialisation

³⁴ <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2002R0178:20080325:FR:PDF>

³⁵ <https://www.fda.gov/food/guidance-regulation-food-and-dietary-supplements/food-safety-modernization-act-fsma>

auprès des consommateurs exigeants et même l'accès à des fonds de subventions pour l'alimentation durable. L'emphase dans ce cas est mise sur la capacité du consommateur à dépister le produit et à la facilité d'accès aux flux d'information. Les auteurs ajoutent que la mise en place d'un système de traçabilité peut également dériver d'objectifs sociaux tels que l'établissement de la confiance dans le produit et sa restauration, la sensibilisation des consommateurs, ou même la transition d'un modèle axé sur la quantité vendue vers un modèle qui privilégie la qualité des produits (Bosona et Gebresenbet, 2013).

2.2.2.3 L'enjeu de la polycentricité située

Si les chaînes d'approvisionnement alimentaire sont intrinsèquement complexes, il en est de même de leur gestion qui dans ce contexte s'entend de l'organisation transfrontalière des processus nécessaires pour produire des biens, depuis l'utilisation d'intrants jusqu'à leur commercialisation, en passant par les différentes phases de production, de traitement et de distribution (ILO, 2022). Pearson et al. (2021) expliquent que l'échelle mondiale, la rapidité et la complexité des chaînes d'approvisionnement alimentaire favorisent l'émergence d'aléas moraux et de comportements opportunistes. Concrètement, les systèmes de gestion sont pour la plupart centralisés et isolés au sein des organisations partenaires en raison des disparités géographiques et opérationnelles et du caractère fragmenté des chaînes d'approvisionnement (Dey, 2021; Salah *et al.*, 2019). Cette centralisation crée une asymétrie informationnelle entre les parties prenantes, ce qui rend difficile le repérage des produits en temps réel (Cook *et al.*, 2008, p. 297-298). À cela s'ajoute la conjonction entre les intérêts individuels des acteurs et l'intérêt collectif de la chaîne en raison des coûts élevés associés à la gestion au contrôle (Costa *et al.*, 2013). Il convient également de rappeler que le secteur agroalimentaire est l'un des secteurs les moins digitalisés et que plusieurs activités, notamment celles liées à la phase de production, ne sont pas intégrées sur la chaîne logistique (Tripoli et Schmidhuber, 2020). Cela est une conséquence de plusieurs facteurs socio-économiques et socioculturels, tels que les coûts élevés de développement et de maintenance des systèmes, la taille des entreprises impliquées dans la production, la résistance au changement, etc. (Bosona et Gebresenbet, 2013). Ainsi, l'industrie alimentaire est encore largement tributaire de documents papier, ce qui complique davantage la mise en place de systèmes de traçabilité (Pearson, 2021). De plus, la formule du « *one step back/one step forward* » fait que le flux informationnel soit discontinu le long de la chaîne (Rana *et al.*, 2021). Tous ces facteurs peuvent favoriser et dissimuler

la manipulation des flux et la fraude alimentaire par les acteurs de la chaîne d’approvisionnement, un enjeu caractéristique de la crise de confiance dans le secteur agricole (Hu *et al.*, 2021). Certes, le système alimentaire, surtout dans les pays développés, est sécurisé par les réglementations nationales et internationales dans laquelle participent des acteurs politiques, intergouvernementaux et socio-environnementaux; et certes, certains avancements technologiques dans les domaines de l’internet des services (IoS), l’internet des objets (IoT) couplés à la baisse du coût des ressources informatiques par la loi de Grosch ont eu un impact positif sur les pratiques de gestion dans les chaînes d’approvisionnement (Casino, Fran *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2013). Le fait demeure toutefois que les enjeux de la fraude alimentaire et de l’incertitude comportementale sont toujours présents parce que la coordination est difficile entre les maillons de la chaîne d’approvisionnement agroalimentaire et que l’intérêt de ces derniers peut se heurter à la moralité de la bienveillance. La résultante est une série « *d’accidents* » de fraude qui vont du ré-étiquetage des produits jusqu’à la manipulation des rapports d’analyse. Rappelons les résultats de l’enquête de PwC selon laquelle les coûts annuels de la fraude alimentaire s’élèveraient à 40 billions de dollars et concerneraient une organisation trois (PwC, 2014). Parmi les incidents les plus fortuits de malveillance humaine listés sur le site³⁶ du CDC (*Centers for Disease Control and Prevention*), sont l’épidémie de l’E.coli sur la laitue roumaine survenue aux États-Unis en mars 2018 et qui a touché des centaines de personnes parmi lesquelles 96 ont été hospitalisés et plusieurs décédés, ou encore celle des concombres survenus en Allemagne en 2011 et qui a entraîné une cinquantaine de morts. Dans les deux cas, le dépistage de la contamination a pris des mois en raison du manque de transparence dans les chaînes d’approvisionnement et de l’inefficacité des méthodes d’archivage conventionnelles des documents. Ces délais ont entraîné des pertes de revenu de plus 1.3 milliards de dollars aux producteurs et aux organisations du secteur agroalimentaire, en plus des aides versées qui somment les 240M\$. Un autre exemple d’incident cité par Saberi *et al.* (2019) est celui de l’épidémie de la salmonelle³⁷ des papayes aux États-Unis. Bien que le centre du contrôle des maladies (CDC) ait réussi à identifier l’origine de la maladie, les lots contaminés en circulation n’ont pu être retracés et révoqués en raison de limitations logistiques (p. 2117). D’autres incidents graves, imputés à la fraude alimentaire et souvent cités dans la littérature sont le « *Horse meat scandal de 2013* » lors duquel le principal fournisseur de produits bovins de restauration rapide en

³⁶ <https://www.cdc.gov/ecoli/2015/o26-11-15/index.html>

³⁷ <https://www.cdc.gov/salmonella/kiambu-07-17/index.html>

Europe aurait adultéré ses produits avec de la viande de cheval; *le scandale du lait frelaté de 2008* où une substance toxique a été injectée à du lait infantile afin de passer les tests de qualité; et finalement la « *spongiform encephalopathy bovine* », communément connue sous le nom de la maladie de la vache folle (Bosona et Gebresenbet, 2013).

2.2.3 Applicabilité des blockchains dans le secteur agroalimentaire

Théoriquement, la technologie des registres distribués est dotée de toutes les fonctionnalités nécessaires pour répondre à la crise de la confiance dans le secteur de l'agroalimentaire. La combinaison de l'architecture distribuée et de la transparence peut vraisemblablement remédier aux enjeux de la polycentricité située et de la fragmentation des données en permettant un partage d'informations complètes et actualisées le long de la circulation des produits dans la chaîne d'approvisionnement (Tripoli et Schmidhuber, 2020). L'immutabilité du registre sous-jacent sécurise les flux informationnels et élimine potentiellement le risque de manipulation des données une fois téléchargées sur la blockchain (Motta *et al.*, 2020). De plus, l'usage des contrats intelligents rend possible la création de solutions personnalisées et adaptées aux besoins de chaque écosystème organisationnel et chaque chaîne d'approvisionnement (Chen *et al.*, 2020). Au vu de ces fonctionnalités, l'applicabilité des blockchains dans les ASCs a fait l'objet d'une attention notable, à la fois à la sphère académique et pratique. La tendance est reflétée dans la revue récente de la littérature réalisée par Vu *et al.* (2021), où l'on observe une multiplication par quatre dans le nombre de publications scientifiques sur le sujet entre 2018 et 2019. Les auteurs ont également constaté un fort ancrage théorique dans les travaux, dont la plupart suivent un design conceptuel, descriptif et prescriptif, des résultats aussi soulignés par Wang *et al.* (2019, p. 65) qui généralisent leur revue aux chaînes d'approvisionnement traditionnelles.

Le corpus littéraire actuel sur les blockchains et les systèmes alimentaires se caractérise également par une portée multidisciplinaire, avec une forte concentration autour des sciences informatiques, l'ingénierie, la gestion, et même la sociologie et la finance (Rocha *et al.*, 2021). Dans le contexte de cette dernière, par exemple, la FAO spécule que les blockchains permettront de créer un écosystème global qui connecte l'ensemble des flux financiers et l'ensemble des parties prenantes à travers le monde (banques et institutions financières, assurances, organismes de contrôle et d'audits, etc.). L'usage des cryptomonnaies faciliterait l'accès à des options de financement pour

les acteurs défavorisés. La visibilité de la blockchain transformerait la comptabilité et l'audibilité organisationnelle. Des contrats intelligents optimiseraient le règlement des transactions et les paiements de fond entre les parties, ce qui permettrait, selon les projections de la FAO, d'économiser plus de 16 milliards de dollars par année en frais d'agence (Tripoli et Schmidhuber, 2020). D'ailleurs, plusieurs initiatives notables ont été réalisées dans cette lignée. L'une d'elles est Digital Trade Chain, une plateforme qui rassemble sept acteurs bancaires majeurs européens et offre des solutions de financements aux petites et moyennes entreprises opérant dans le secteur agricole. Le système est basé sur une blockchain fédérée contrôlée par le consortium bancaire et déployée sur un canal de Hyperledger Fabric. Ses objectifs sont l'amélioration de la transparence dans les flux financiers, la simplification du règlement des transactions commerciales nationales et internationales, l'accélération des règlements et l'accessibilité des financements pour les PME.

Outre ses applications financières, les blockchains sont primées pour leur impact sur les flux informationnels et en particulier sur la transparence et la traçabilité dans les ASC (Rogerson et Parry, 2020). Ces deux aspects sont d'ailleurs les champs les plus couverts dans la littérature actuelle sur le sujet (Rocha *et al.*, 2021). Par exemple, Salah *et al.* (2019) proposent un système de repérage basé sur Ethereum, et plus particulièrement en conjonction avec un système de stockage décentralisé (IPFS), pour la gestion des chaînes de production de soja. Chaque cycle de production implique la création d'un contrat intelligent (une adresse sur Ethereum) qui s'exécute chaque fois qu'une activité est réalisée. L'exécution du contrat implique l'enregistrement des informations sur l'opération sur Ethereum. De plus, des images du cycle de production des graines sont continuellement publiées sur IPFS et référencées par leur hash sur le contrat intelligent. L'objectif du système est d'assurer un suivi continu, immuable et une traçabilité infalsifiable des produits, ce qui permettrait, selon les auteurs, de surmonter les problèmes liés à la centralisation des données dans l'ASC et d'éliminer le besoin de recourir à un tiers de confiance pour la gouvernance de la chaîne (2019, p. 73295). Une autre solution conceptuelle plus pragmatique est introduite par Shahid *et al.* (2020) où les auteurs proposent la création de certificats d'authenticité avec des contrats intelligents à chaque opération transactionnelle. Les certificats sont stockés sur IPFS et hachés sur Ethereum également. Chaque transaction déclenche une DApp qui sonde la satisfaction des parties prenantes et leur attribue un score de réputation, également stocké sur Ethereum et qui sert de référence aux autres acteurs pour les échanges futurs. Patil *et al.* (2017) proposent un prototype de

serre intelligente qui combine l'infrastructure d'un système blockchain et des dispositifs IoT. Ces derniers font guise d'oracles et communiquent les conditions environnementales à un registre privé partagées avec les autres membres de la chaîne d'approvisionnement. Un autre prototype de serres intelligentes a été créé et testé par Hu *et al.* (2021) sur des plantations d'oranges biologiques. Les conditions environnementales sont d'abord traitées dans un serveur cloud en utilisant une approche périphérique (Edge Computing) afin de composer avec les latences et les limites fonctionnelles des blockchains. Le résultat du traitement est stocké sur le registre BigchainDB et est systématiquement partagé avec les autres membres de la blockchain. Finalement, Scuderi *et al.* (2019) analysent l'impact d'une blockchain sur une chaîne d'agrumes en Italie, et plus particulièrement dans sa phase de production. Les auteurs déclarent que l'usage de la technologie dans les systèmes agricoles « permet aux consommateurs de vérifier l'origine de la matière première et d'obtenir des informations sur le processus de production, sur les opérations d'emballage, sur la distribution et la certification des produits » (2019, p. 585, traduction libre).

Sur le plan organisationnel, les caractéristiques des blockchains capturent également l'attention des praticiens, qui voient en la technologie une opportunité à la fois opérationnelle et commerciale. En quelques chiffres, l'investissement dans le développement de solutions blockchains a atteint 1,3 billion de dollars en 2021 et plus de 2500 brevets ont été enregistrés dans 25 pays différents (Rana *et al.*, 2021). La tendance a commencé en 2016 lorsque le géant de l'agroalimentaire Walmart s'est associé avec IBM pour mettre en œuvre le système Food Trust, une solution blockchain BaaS (Blockchain as a Service) qui exploite l'infrastructure de Hyperledger Fabric³⁸ (Hyperledger, 2019). La première implémentation pratique de cette solution fut dans le cadre de deux projets pilotes pour le suivi de deux produits très différents : les porcs vendus en Chine et les mangues provenant d'Afrique du Sud et vendues aux États-Unis. Toutes les phases du projet ont été supervisées par l'université de Tsinghua, qui déclara le projet un succès dans une étude de cas publié en 2019 par la Fondation Hyperledger intitulée : « *How Walmart How Walmart brought unprecedented transparency to the food supply chain with Hyperledger Fabric* ». La solution blockchain a permis de télécharger des certificats de l'authenticité des produits porcins, « ce qui a

³⁸ Pour être plus précis, IBM Food Trust utilise la IBM Blockchain Platform, qui est décrite par l'organisation comme étant *la distribution commerciale de Hyperledger Fabric*. Elle est offre les mêmes fonctionnalités de base que Fabric, en plus d'un ensemble de modules applicatifs préconfigurés et un support permanent pour ses utilisateurs.

permis de renforcer la confiance dans un système complexe où la fiabilité soulevait des problèmes importants » (Hyperedger, 2019, p. 1, traduction libre). Pour ce qui est de l'expérience avec les mangues, l'intégration de la blockchain a permis de réduire le temps de dépistage de 7 jours, à 2.2 secondes (ibid). En 2017, les 10 plus grands fournisseurs de produits alimentaires au monde dont, Nestlé, Dole, Kroger, Goldenfood et Tysen Foods se sont joints à l'initiative Food Trust. Cette collaboration a permis d'identifier les points critiques et les défaillances de chaque chaîne d'approvisionnement et de développer des modules applicatifs adaptés et qui répondent spécifiquement aux problèmes de l'industrie agroalimentaire. D'ailleurs, Walmart a embarqué plus de 25 de ses produits sur la plateforme entre 2017 et 2018 (Hyperedger, 2019). En septembre 2018, Walmart USA a exigé de tous ses fournisseurs de légumes verts d'intégrer leurs chaînes d'approvisionnement sur IFT (Acronyme pour IBM Food Trust). Dans un communiqué officiel adressé à ses collaborateurs, l'entreprise explique que les pratiques actuelles de la traçabilité sont dépassées et qu'il y'a urgence d'agir en vue des récentes tragédies de fraude alimentaire, dont elle cite l'E. coli de la laitue romaine. La nouvelle règle a été appliquée une année plus tard et la traçabilité de plus de 14 légumes verts a été embarquée sur le réseau de Food Trust (Walmart, 2018). L'écosystème de Food Trust compte aujourd'hui plus de 500 organisations à travers le monde, dont le groupe tunisien CHO et sa chaîne oléicole, le français Carrefour et sa chaîne de volailles, Bright Farms et sa chaîne de laitues, etc. (Bhattacharyya, 2022; IBM, 2022). Food Trust rassemble également différents acteurs de l'écosystème marin, un secteur caractérisé par un niveau de complexité et d'incertitudes des plus extrêmes en raison de la haute périssabilité des produits et de la facilité de fraude (IBM, 2022). De tels partenariats incluent le SSP³⁹ et sa chaîne de crevettes en Équateur (Jablonska, 2019), Raw Seafoods et sa chaîne des coquilles Saint-Jacques, ou encore le groupe espagnol Nueva Pescanova et ses produits de la mer (Diaz-Faes et Fernandez, 2022).

En outre, Food Trust est considérée comme l'une des plateformes blockchains les plus performantes dans le domaine de l'agroalimentaire. Étant basée sur l'infrastructure de Fabric, le système est doté des mêmes caractéristiques de l'architecture modulaire et du fonctionnement par canaux. Concrètement, chaque organisation dispose d'un canal privé dont elle gère les modules et les permissions, et l'ensemble des canaux individuels constituent le réseau collaboratif FoodTrust.

³⁹ Le SSP est un acronyme pour *Sustainable Shrimp Partnership*, un groupement d'organisations ayant pour mission de rendre l'aquaculture des crevettes une propre, durable, et écologique.

Le registre utilise le standard de données GS1, qui fournit un dictionnaire universel pour les données relatives au cycle de vie des produits, aux activités du processus industriel, aux localisations (master datas), aux identificateurs, etc. (Horton, 2021). Afin de prendre part à l'écosystème, les organisations doivent d'abord s'enregistrer en ligne et souscrire aux modules applicatifs qui reflètent le mieux leurs besoins opérationnels. Elles doivent ensuite intégrer leur processus sur la plateforme Food Trust ce qui implique la définition des rôles de l'équipe d'embarquement⁴⁰, l'enregistrement des produits et des chaînes industrielles avec leurs identifiants GS1, la cartographie du flux informationnel, l'intégration du scénario de production en évènement EPCIS et enfin, la définition des permissions pour chaque acteur du processus (Horton, 2021). L'intégration utilise le module « onboarding », et la communication avec le MSP, le module « *My Network*, ou « *users* ». Une fois leurs processus embarqués, les entreprises peuvent télécharger les données sur le registre en déclenchant le Dapp « Data Entry » en communiquant avec une application web intégrée à IFT intitulée Connector. Elles peuvent concrètement choisir d'importer leurs données manuellement (via des téléchargements XML, Excel ou une saisie manuelle sur l'interface web), ou opter pour un téléchargement automatique de leurs données en utilisant des APIs externes. La plupart des modules (rappelons que les modules sont des Dapps préconfigurées par IBM à usage de ses clients) sont vendus en bundle de services (*offerings*). IBM offre également divers APIs de connexion SaaS aux organisations adhérentes pour faciliter l'interaction avec la couche applicative (Horton, 2021). Concrètement, la tarification diffère selon l'usage, les caractéristiques de l'entreprise et les applications utilisées. Pour des fins illustratives, nous résumerons quelques services parmi les plus populaires et leurs modules respectifs dans le tableau suivant⁴¹. La figure 2-8 qui suit représente l'architecture et les composants des couches infrastructurelles et applicatives du système IFT.

⁴⁰ Traduit de l'anglais « Onboarding Team »

⁴¹ Toutes les définitions et informations ont été collectées à partir de la fiche descriptive que IBM met à la disposition de ses clients. Elle est disponible sur : La [https://www-40.ibm.com/software/sla/sladb.nsf/8bd55c6b9fa8039c86256c6800578854/c1abb470f00c702a85258638002341c9/\\$FILE/i126-7968-11_12-2020_en_US.pdf](https://www-40.ibm.com/software/sla/sladb.nsf/8bd55c6b9fa8039c86256c6800578854/c1abb470f00c702a85258638002341c9/$FILE/i126-7968-11_12-2020_en_US.pdf)

Service		Module applicatif
IBM Food Document Service	IBM Food Trace Service	Data entry : Permet de télécharger, de gérer, d'accéder et d'examiner les éléments de données comme les événements, transactions, et master data. Disponible gratuitement comme service autonome, ou avec des bundles de services.
		Onboarding : Permet d'ajouter des utilisateurs, des produits, des localisations, de gérer le scénario d'embarquement et de créer les politiques de contrôle.
		Trace : Permet d'accéder aux données de traçabilité pour vérifier l'historique, la localisation et le statut de l'ASC en temps réel. Il inclut les capacités de dépistage et de suivi le long de la chaîne.
		Activity : Permet au client de surveiller l'activité de Food trust, y compris les données ajoutées et les connexions, et les utilisations de module.
		Network ou users : Permet de visualiser et de gérer les permissions dans le canal de l'ASC, d'inviter de nouveaux partenaires, de vitaliser les données partagées et de rationaliser les processus.
	Documents : Permet de télécharger, de visualiser, d'accéder, de gérer et de partager des documents. Il comprend aussi des APIs pour le téléchargement, le partage et l'affichage des documents dans Trace.	
	Consumer Trace (optionnel) : Permet de définir un flux permissionné d'informations destinées au public en utilisant l'API consumer	

Tableau 2-2 Résumé des modules applicatifs et des services les plus populaires sur IFT

Pour continuer avec d'autres applications blockchain dans le domaine de l'agroalimentaire, Unilever s'est associée à un consortium d'entreprise en 2017 pour tester le système Trado, une solution blockchain qui permet de suivre les flux de sa chaîne de thé vert, depuis sa production jusqu'à sa distribution (Tripoli et Schmidhuber, 2020). Ce projet pilote a été appliqué sur une chaîne d'approvisionnement réelle qui compte un distributeur final, un transformateur intermédiaire, une banque internationale et 225 producteurs de thé basés au Malawi (CISL, 2019).

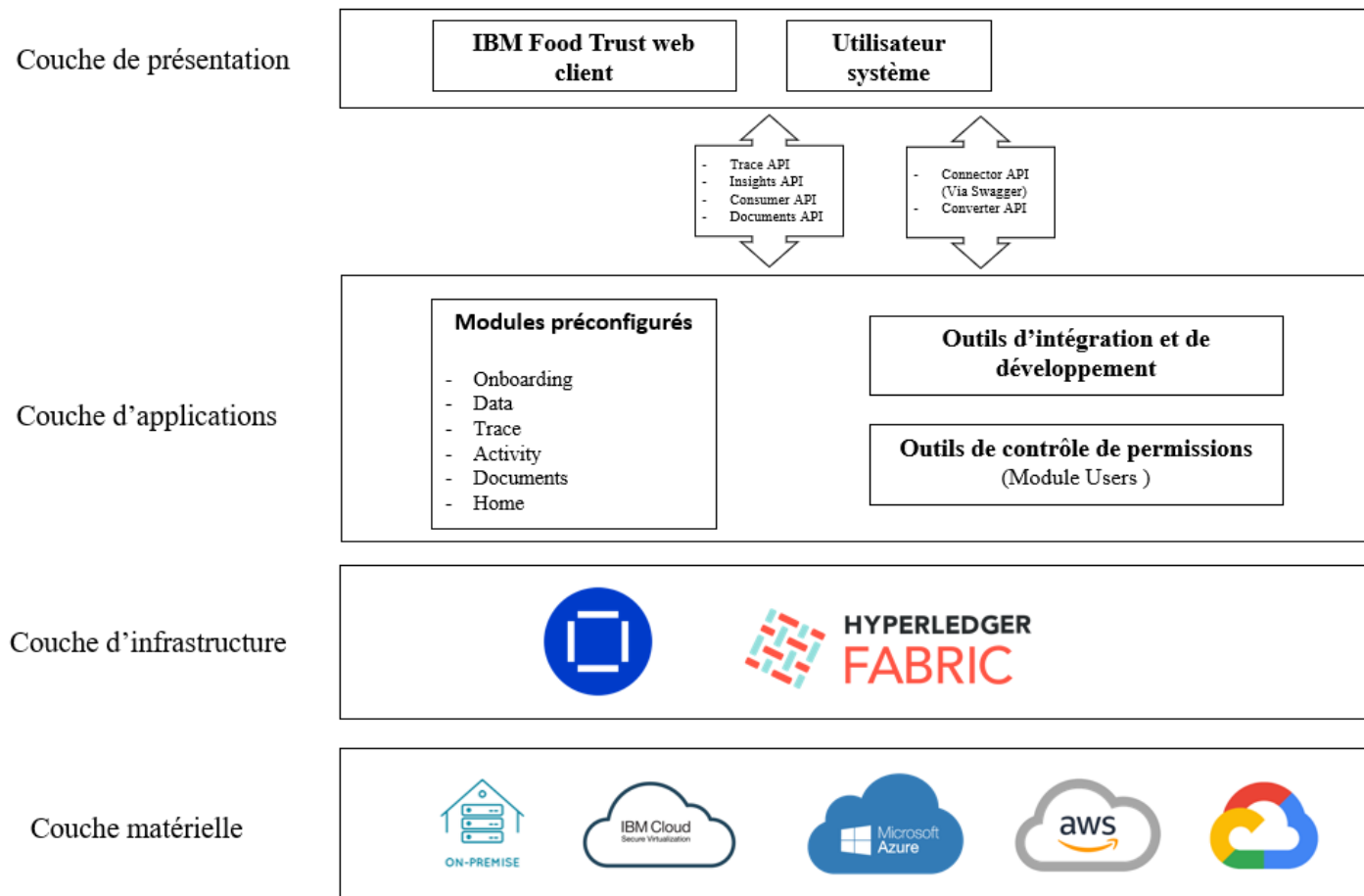


Figure 2-8 Architecture et composants du système IBM Food Trust

L'initiative, qui s'inscrit dans le cadre des objectifs des Nations-Unies, avait pour objectif d'examiner l'impact social et économique des blockchains appliquées dans le secteur agricole. Le principe du projet est le suivant : les producteurs disposent d'une application mobile qui leur permet de partager, en temps réel, toute l'information relative à la production du thé. La participation de ces derniers est suscitée par un incitatif financier qui consiste à redistribuer toutes les économies que réalisera la chaîne d'approvisionnement à la communauté des producteurs de thé au Malawi. Les récompenses sont calculées automatiquement par le système Trodo, et sont versées directement sur les comptes bancaires des agriculteurs. Après leur récolte, les feuilles de thé sont transférées à une usine de traitement, où elles sont nettoyées, transformées et emballées. Elles sont ensuite transférées vers leur point final de distribution. Toutes les informations sur les mouvements des produits sont stockées sur une blockchain fédérée par Unilever et par ses partenaires. Trodo a permis de valider que l'implémentation pratique des blockchains dans le secteur agricole est assez mature pour garantir la traçabilité et la transparence absolue d'un bout de la chaîne d'approvisionnement à l'autre. Le flux de données qui en résulte peut engendrer des économies d'échelles, qui, lorsque redistribuées adéquatement, pourraient promouvoir le bien-être social et économique de toutes les parties prenantes (CISL, 2019, p. 23). Provenance, est un autre célèbre système de suivi basé sur une blockchain à permissions qui a été lancé pour la première fois en Indonésie en 2016 pour suivre le thon depuis sa capture jusqu'à sa distribution et vente finale (Provenance, 2016). Son objectif, comme il est décrit sur le site web de Provenance, est d'explorer si l'usage des blockchains permettrait de (1) faciliter la conformité aux normes et aux standards de traçabilité; (2) réduire la fraude alimentaire et le risque de manipulation des produits; (3) servir de base à un système ouvert de suivi et de gestion des produits agroalimentaires. Concrètement, la blockchain a été intégrée à une solution ERP déjà en place. Le système dispose d'une application mobile qui permet aux utilisateurs d'étiqueter le poisson et de documenter sa capture directement sur une blockchain fédérée à permissions. Un enchaînement de contrats intelligents déployés sur la couche applicative permet d'émettre des certificats digitaux chaque fois qu'un poisson est étiqueté. Les certificats sont immuables et infalsifiables, et sont partagés avec tous les acteurs de la chaîne agroalimentaire. L'interopérabilité avec la solution ERP permet de

renseigner les différentes activités de transformation sur la blockchain⁴². Finalement, les utilisateurs finaux (consommateurs) peuvent vérifier l'historique et l'authenticité des transformations réalisées en scannant un code imprimé sur chaque produit vendu à l'aide de l'application mobile de Provenance. Concrètement, une étude de cas a permis de suivre l'évolution du projet durant ses six mois d'application (Provenance, 2016). La figure 2-9 illustre le flux informationnel de la chaîne d'approvisionnement étudiée.

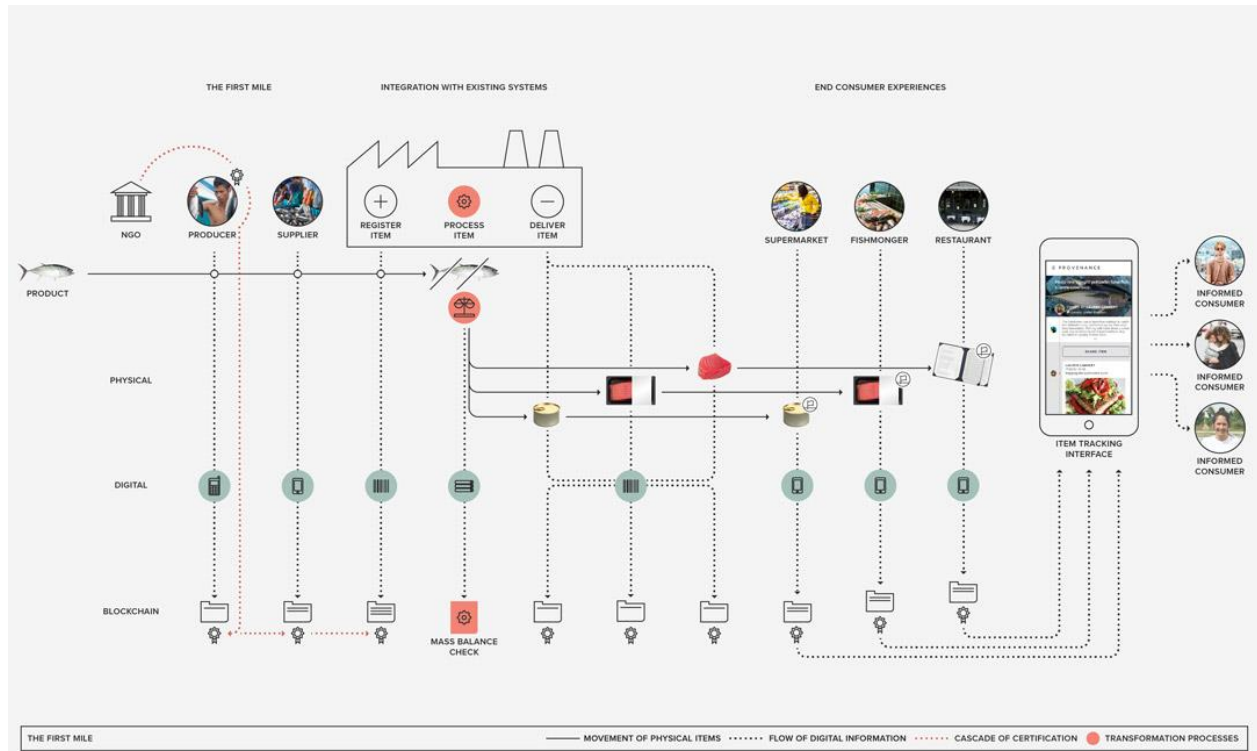


Figure 2-9 Représentation du flux informationnel de la chaîne d'approvisionnement du thon (Provenance, 2016)

Même si Provenance a été déclaré un succès, le projet a permis d'identifier plusieurs problèmes importants des blockchains, lorsqu'appliquées à des contextes opérationnels réels : premièrement, des problèmes d'interopérabilité peuvent subsister lors de l'intégration des blockchains avec des systèmes existants, en particulier lorsqu'il s'agit de combiner plusieurs systèmes pour

⁴² Les chaînes d'approvisionnement agroalimentaires sont une généralisation des ASC, et partagent les mêmes caractéristiques, enjeux, problèmes. Ainsi, et dans le but d'approfondir l'analyse, les projets blockchains qui touchent au secteur de l'agroalimentaire dans son ensemble ont été retenus.

l'identification et l'enregistrement des transactions. Deuxièmement, l'enjeu du GIGO prévaut, tant avant l'enregistrement des produits ainsi que le long de leurs mouvements dans la chaîne d'approvisionnement (Howson, 2020). La conciliation des flux nécessite donc une synchronisation complexe et coûteuse de plusieurs outils technologiques et une collaboration transparente entre les organisations participantes pour contrer le risque de la manipulation des données. Dans le cas de Provenance, une combinaison de dispositifs IoTs, de capteurs RFID, de tags NFC, de codes EPC et de contrats intelligents a été intégrée à la chaîne logistique pour automatiser le processus et surpasser la manipulation humaine (Provenance, 2016). D'ailleurs, plusieurs autres initiatives, derrière les pas de Provenance, ont incorporé des oracles à un système blockchain pour parer le risque du GIGO. Il convient par exemple d'en citer, toujours en lien avec les produits de la mer : Consensus, Sea Quest, Traseable Solutions et Fiji qui offrent des solutions de gestion et de suivi basées sur Ethereum. Leurs modèles combinent des outils de IoT, de capteurs RFID, et des QR pour suivre les flux des thons de bout en bout. Cependant, une étude réalisée par la FAO a révélé que malgré l'intégration de ces outils, la consolidation des flux physiques et des flux informationnels demeure problématique puisque les produits peuvent toujours être manipulés avant d'être capturés par les oracles (Blaha et Katafono, 2020).

Il convient aussi de souligner que le GIGO n'est pas exclusif aux saisies d'informations sur la chaîne d'approvisionnement, mais est généralisable à toute application où la blockchain nécessite une interaction avec le monde extérieur, que cela s'agisse d'injection humaine de données ou par le biais de contrats intelligents non déterministes. Il apparaît également dans la littérature sous plusieurs noms et avec diverses définitions qui convergent toutes, vers la fiabilité des données. Nous le retrouvons, par exemple, chez Rogerson et Parry (2020) et leur contrainte de la « *frontière* »⁴³ qui a émergé de l'analyse de trois applications blockchain dans le secteur de l'agroalimentaire, ainsi que chez Alles et Gray (2020) et leur terminologie du « *first mile* ». Cette dernière notion reflète sur la jonction entre la réalité digitale et sa représentation sur la blockchain, et décrit le problème sous l'angle de l'intégrité des données. Catalini et Gans (2020), parlent de « *last mile* » et adoptent une approche néo-institutionnelle anglée sur les coûts de transactions. Leur

⁴³ Traduit de l'anglais « Boundary Issues », le terme décrit les problèmes de connexion entre le monde physique et celui de la blockchain. Les auteurs stipulent que sans cette exigence, toute saisie est exposée à l'erreur, au doute et à la fraude.

argument stipule concrètement que l'évolutivité de la blockchain, en tant que plateforme polyvalente au sens de Glaser *et al.* (2019), dépendra de notre capacité à réduire les frictions du last mile au moyen d'innovations complémentaires, ou en recourant aux mécanismes de conciliation socio-institutionnels. Ces frictions sont naturellement prises en considération dans ce que les auteurs appellent, les coûts de vérification; coûts qui renvoient aux ressources requises pour vérifier la concordance entre les vérités, *partagées* et *absolues*, du registre (Catalini et Gans, 2020, p. 85-86)⁴⁴.

2.2.4 Conclusion

Il est évident que l'arrivée des blockchains peut transformer la dynamique du partage et de la gestion informationnelle au sein des chaînes d'approvisionnement. La création d'un état unique de vérité peut particulièrement profiter au secteur de l'alimentation en vue des multiples problèmes que nous avons précédemment évoqué. Toutefois, si l'intégration de la technologie facilite le dépistage et le repérage de flux immuables et sécuritaires, la fiabilité des enregistrements, quant à elle, demeure exposée à la *polycentricité située* des systèmes alimentaires. Concrètement, les ponts entre les flux physiques et le flux informationnels se doivent d'être soutenus par des mécanismes fiables et sécuritaires pour assurer une retranscription exacte des états sur la blockchain. Cette observation controversée, façonnée par la réalité pratique des expériences que nous avons analysées, nous amène à nous questionner sur la valeur ajoutée de la sécurité et de la transparence si la fiabilité des données partagées sur la blockchain n'est pas garantie. C'est au cœur d'un débat tout aussi virulent, initié par Adam Smith et ses théories des sentiments moraux que nous trouvons les réponses à nos questions : celui de la confiance et de ses antécédents. Ce phénomène qui s'identifie comme outil de réduction de l'incertitude et du risque dans des situations de vulnérabilité, suscite de plus en plus la curiosité des chercheurs dans le domaine des blockchains. Cependant, l'intérêt académique est accompagné d'une divergence dans les opinions sur les dimensions du phénomène ou même encore, son utilité dans l'environnement technologique. Ainsi, et avant d'analyser le rôle de la confiance et ses antécédents dans un contexte de gestion ASC basée sur une blockchain, il convient d'abord de définir la confiance dans ses différents contextes disciplinaires

⁴⁴ Bien que l'analyse des auteurs soient principalement orientée sur les blockchains publiques, elle introduit une démarche interprétative des coûts de transactions qui peut être appliquée sur tout type de système de blockchains. Cela est également valable pour la deuxième catégorie de coûts sur lesquels les auteurs reflètent : les coûts de networking.

et d'en décrire les origines, les constructions et les dimensions. La prochaine section servira à cette fin.

2.3 L'épistémologie de la confiance

La question de la confiance fut, pendant des décennies, sujet d'une controverse scientifique et académique majeure. Phénomène qui fut initialement étudié en psychologie, l'étude du concept s'est généralisée au fil du temps pour devenir un objet de culte dans diverses sphères disciplinaires (Rousseau *et al.*, 1998). La pléthore des opinions et des écoles de pensées a fait émerger plusieurs conceptualisations, créant ainsi un corpus d'idées détaché d'un cadre solide et d'un modèle formel. Concrètement, l'abondance de travaux fait de la confiance un phénomène complexe dans son essence, mais elle en fait également un champ de recherche fertile (Beccerra et Gupta, 1999).

2.3.1 Contextualisation multidisciplinaire de la confiance

L'analyse de la littérature montre que les chercheurs s'accordent sur la complexité de la confiance, qui renvoie à la fois à des perceptions divergentes et idiosyncrasiques. Holland (1998) et Rousseau *et al.* (1998) expliquent l'absence d'une définition, et par ailleurs d'une vision commune du phénomène, par le fait que les dimensions de la confiance diffèrent en fonction du contexte d'étude. Le résultat sont des perspectives plus ou moins diversifiées et contingentes qui apparaissent dans différents champs d'études, notamment la psychologie, la sociologie, l'économie, et récemment la gestion et les SI. Chacune de ces disciplines a développé des concepts et des constructions propres, contribuant ainsi à l'abondance des contextualisations (Corritore *et al.*, 2003). Par exemple, les chercheurs en psychologie et les théoriciens de la personnalité conceptualisent la confiance comme une croyance, soit une attente ou un sentiment profond qui puise ses sources dans le développement psychologique de l'individu (Simon, É., 2007). L'accent est en l'occurrence mis sur une série de cognitions internes que les attributs personnels génèrent. La confiance sous l'angle des psychosociologues a été explorée à travers diverses expériences structurées telles que le « jeu du dilemme du prisonnier » qui ont dominé dans les premières recherches sur la confiance (Rousseau *et al.*, 1998). Les chercheurs en sociologie, d'un autre côté, considèrent la confiance comme une propriété dynamique et sociale ancrée dans les relations interindividuelles et inter-organisationnelles. Cette contextualisation introduit une dimension temporelle qui implique une confiance distribuée le long d'un continuum interpersonnel. Elle émerge sur la base des caractéristiques, se développe par la

connaissance, et se maximise par la réciprocité des valeurs (Lewicki et Bunker, 1995, 1996). Les économistes, quant à eux, ont tendance à considérer la confiance comme un phénomène institutionnel mesurable dont la production est nécessaire pour gouverner l'environnement transactionnel (Williamson, 1993; Zucker, 1986). Au-delà des divergences interdisciplinaires, il est à noter que plusieurs travaux qui s'inscrivent dans le cadre de la même discipline semblent également en discordance (Corritore *et al.*, 2003). Selon Beccerra et Gupta (1999), les divergences intra-disciplinaires relèvent de l'absence d'une unité d'analyse généralisée du terme. Les auteurs expliquent que les contextualisations varient d'une relation à une autre étant donné que chaque relation dyadique peut être caractérisée par une unité d'analyse spécifique. L'analyse des relations individuelles, par exemple, s'attache à une confiance interpersonnelle (Mayer *et al.*, 1995) alors que l'analyse des liens sociaux permettrait d'étudier la confiance sociale (Putnam, 2000, p. 21). La confiance inter-organisationnelle est souvent associée à l'analyse du fonctionnement des organisations (Van de Ven et Ring, 2006), tandis que la confiance institutionnelle relève la fiabilité des mécanismes de gouvernances et de leurs capacités à garantir l'exécution des transactions économiques (Williamson, 1993). La confiance peut également s'apparenter à un artefact technologique, où elle s'attache à la perception de ses caractéristiques techniques (Mcknight, D Harrison *et al.*, 2011; Söllner *et al.*, 2012). La prolifération des opinions peut également relever des représentations multiples de la confiance quand est considérée l'action humaine. En effet, certains chercheurs l'associent à l'action individuelle. Pour d'autres, le phénomène est ancré dans les notions de capital social (Putnam, 2000), aux actions d'ordre collectives ou encore aux biens communs. Finalement, la complexité de la confiance relève aussi de l'ambivalence et de caractère polymorphe du terme. On retrouve par exemple l'usage interchangeable des termes confiance et risque (Williamson, 1993), confiance et confiance (Morgan et Hunt, 1994), confiance et relations (Lewicki et Bunker, 1996), confiance et coopération (Rousseau *et al.*, 1998) ou encore confiance et fiabilité (Mayer *et al.*, 1995). La résultante est une famille multidimensionnelle de concepts et de théories, qui modélisent chacune la confiance sous des perspectives uniques et différentes. À cela s'ajoute une constellation de définitions, qui vient renforcer l'ancrage d'un corpus littéraire polysémique et hétérogène.

En dépit de la pluralité des conceptualisations, la confiance est reconnue à travers les disciplines comme une nécessité pour le fonctionnement sociétal et socio-économique (Rousseau et al., 1998).

Le paradoxe est souligné par Hosmer (1995) qui constate qu'il « semblerait y avoir un accord généralisé sur l'importance de la confiance [...] avec un désaccord tout aussi large sur une définition précise du concept » (1995, p. 380, traduction libre). Elle sert à mitiger les risques et les incertitudes (Mayer *et al.*, 1995), réduit la complexité des rapports relationnels dans la sphère sociale et socio-économique (Lewicki et Bunker, 1996), et favorise la collaboration entre les individus (Mayer *et al.*, 1995). La confiance est si importante pour les échanges commerciaux que Morgan et Hunt (1994) la qualifient, en reprenant Spekman, « de la pierre angulaire de tout partenariat stratégique » (p. 24, traduction libre). Cette relation de causalité a largement été étudiée dans le cadre des théories de l'échange social et le principe de la réciprocité selon lequel « la méfiance engendre la défiance et, en se faisant, réduit l'engagement relationnel » (ibid). Selon le sociologue Niklas Luhmann, fondateur de la théorie des systèmes sociaux, la confiance est avant tout un mécanisme de réduction de la complexité sociale qui *rend possible la société humaine en soi* (cité par Werbach, 2018a, p. 19). Fukuyama (1995) ajoute qu'elle constitue une précondition du développement sociétal. Son argument est appuyé par Putnam (2000, p.21) chez qui la notion est ancrée dans le capital social. Elle crée des réserves de bonne volonté qui facilitent les interactions sociales et économiques et augmente par conséquent la richesse des sociétés. Pour Zucker, la production de la confiance est une condition nécessaire pour l'évolution du système économique, en ce qu'elle est « vitale pour le maintien de la coopération au sein des sociétés et qu'elle pose les bases pour les interactions quotidiennes et même routinières » (1986, p. 56, traduction libre).

Dans le contexte des chaînes d'approvisionnement, la confiance permet de réduire l'asymétrie informationnelle, atténue les incertitudes environnementales et comportementales (Delbufalo, 2012; Ha et Tang, 2017) et favorise le partage d'informations entre les partenaires (Kwon, K.-W. et Suh, 2005). Elle a aussi pour effets la réduction du contrôle vertical (Kwon, Y.-C., 2011), des coûts de la transaction économiques (Delbufalo, 2012) ainsi que l'augmentation de la propension des acteurs aux risques (Mayer *et al.*, 1995). Au niveau macroéconomique, la confiance est identifiée dans la littérature comme un attribut de stabilité relationnelle, d'efficacité opérationnelle et de performance collective. Il s'agit même, selon Bunker et Lewicki (1995), d'un déterminant pour la stabilité opérationnelle et la maturité du lien relationnel entre les partenaires.

2.3.2 La confiance dans l'environnement socio-économique

À la suite d'une réflexion historique sur la transformation des structures économiques aux États-Unis entre 1840 et 1920, Zucker (1986) propose une analyse globale qui associe ces transformations à l'évolution du degré de la confiance. La mondialisation, l'immigration, et le déclin du capital social ont grandement impacté le degré de confiance dans la région, ce qui s'est traduit par la création de nouvelles structures dont le but fut de la rétablir et la recréer. Concrètement, la vision de Zucker admet que la production de la confiance n'est pas exclusive à une seule source et que sa dégradation globale est le résultat de la transformation des structures sociales et économiques. Elle appelle par conséquent à la réévaluation des modèles de production de la confiance et à l'adaptation de ses sources (Mangematin, 1998).

Zucker (1986, p. 54) définit la confiance comme une série d'attentes sociales partagées entre les acteurs économiques. Il peut s'agir, d'une part, de ce que Schutz qualifie de *background expectations*, c'est-à-dire une vision similaire de ce qui est « tenu pour acquis, comme faisant partie d'un monde commun » (1986, p. 57, traduction libre). Cette dernière est le résultat de routines communes pouvant être générées, soit par des échanges fréquents, soit par le partage d'une grille comportementale commune au sein d'une même collectivité (Mangematin, 1998). Dans les mots de Fukuyama (1995, p. 26), cette confiance est une conséquence de la prévisibilité des comportements au sein de la communauté, sur la base d'un ensemble de valeurs partagées entre les membres qui y appartiennent. D'autre part, la confiance peut prendre la forme d'attentes constitutives, soit des *règles comportementales* dans un cadre social prédéfini (Zucker, 1986, p. 58). Les attentes constitutives se construisent, selon Zucker, à la suite d'un mécanisme d'institutionnalisation dont l'objectif est de créer des espaces partagés de connaissances communes, des cadres interprétatifs, des signaux et des règles de codage, qui serviront à recréer la familiarité des relations interpersonnelles et de la généraliser à l'échelle d'une société (Bodo, 2020).

En plus de définir ces deux catégories de confiance, Zucker (1986, p. 60) identifie trois mécanismes de production qui s'apparentent chacun à une forme spécifique de confiance. Premièrement, le système de valeur interne crée une confiance personnelle (*Characteristics based-Trust*). Les relations sociales ou socio-économiques constituent la deuxième source, et sont susceptibles de favoriser l'émergence d'une confiance procédurale et interpersonnelle (*Process-based trust*).

Finalement, les institutions contribuent à la production d'une confiance institutionnelle ou systématique (*Institution-based trust*). Ces trois mécanismes seront étudiés en détail dans les prochaines sous-sections. L'étude de la confiance en fonction de ses modes de production permet de concilier entre les différentes démarches ayant marqué la controverse scientifique autour du terme. D'un côté, le modèle choisi permet d'allier plusieurs unités d'analyse, notamment les individus, les relations et les institutions. Ainsi, nous considérons que la confiance, bien qu'initialement introduite en psychologie, est une variable multidisciplinaire dont la construction dépend d'un ensemble d'éléments factoriels (Simon, É., 2007; Zucker, 1986). D'un autre côté, la considération de la confiance en fonction de son mode de production nous permettra de concilier le débat qui a lieu sur la subjectivité et l'objectivité du terme. En effet, cette approche admet que la confiance peut vraisemblablement se construire à la fois à la suite d'une perception psychologique - *basée sur les caractéristiques* - ou à la suite d'une évaluation rationnelle des circonstances relationnelles. Finalement, l'étude des mécanismes de production permet d'allier les différents paliers de confiance. Par exemple, les relations interpersonnelles et locales, qui balisent des attentes de fond, sont susceptibles de créer une confiance faible et mince. L'institutionnalisation, en revanche, favorise l'émergence d'une confiance plus solide et durable (Simon, É., 2007).

2.3.2.1 La confiance *Intuitus Personae*

Le terme *Intuitus Personae* signifie en fonction de la personne. Concrètement, cet aspect de la confiance est dominé par la conception psychologique de l'entité qui l'accorde, c'est-à-dire qu'elle dépend des variables psychologiques individuelles comme la personnalité, les émotions l'état moral actuel, etc. (Mangematin, 1998; Simon, É., 2007). Dixit (2009) explique que la confiance *Intuitus Persoae* puise ses sources dans le système de valeurs interne de chaque individu et se construit sur la base d'une réciprocité de ces valeurs. Ce paradigme a été largement exploré dans les travaux qui associent la confiance aux théories de l'attraction interpersonnelle, un courant de psychologie sociale qui stipule que les individus ayant des caractéristiques similaires seront attirés les uns aux autres (Lee et See, 2004). L'appartenance à un même groupe, à une même ethnie ou à une même communauté, par exemple, peut favoriser la construction d'une confiance basée sur les caractéristiques (Mangematin, 1998).

La confiance *intuitu personae* – *par le système de valeur interne* – se construit de manière endogène aux relations (Mangematin, 1998). Elle tend en l’occurrence à réduire la portée de la confiance à une perception individuelle et individualiste (Derbel, 2003). Cette unilatéralité, que l’on observe par exemple chez Arrow lorsqu’il parle de « capacité de faire confiance », est perçue par les sociologistes comme statique, puisqu’elle fait abstraction de l’aspect relationnel et social dans une relation dyadique en faveur d’une construction endogène (Simon, É., 2007). Ils proposent la conceptualisation suivante :

2.3.2.2 La confiance relationnelle

L’importance de l’aspect relationnel s’observe à travers sa forte dominance dans la discipline des sciences sociales où elle se présente, explique Simon, É. (2007), comme ancrage légitime dans de la littérature. Sous l’angle des psychosociologues, la confiance relationnelle reflète l’espérance d’un tiers engagé dans une relation. Elle relève concrètement d’une expression de risque et d’une situation de précarité, et reflète l’intention d’un individu de se rendre vulnérable devant les actions d’un tiers, tout en acceptant que l’autre puisse se comporter malicieusement (Fukuyama, 1995). Une définition de l’aspect relationnel est proposée par Mayer *et al.* (1995) où la confiance est définie comme « la disposition d’une partie [Trustor] à se rendre vulnérable face aux actions d’une autre partie [Trustee] sur la base de l’attente que le Trustee effectue une action particulièrement importante pour le Trustor, indépendamment de la capacité du Trustor à surveiller ou à contrôler le Trustee » (1995, p 712, traduction libre). Elle reflète ainsi la disposition du trustor à accepter un ensemble de paramètres sociaux qui sont susceptibles d’influencer les schémas comportementaux, comme l’opportunisme de Williamson et la rationalité limitée de Simon

En outre, la confiance relationnelle s’accommode d’une rationalité procédurale ou délibérative (Mangematin, 1998). Elle émerge à la suite d’une réflexion cognitive et une évaluation analytique des circonstances relationnelles, qui peuvent dépendre d’un ensemble de facteurs conjoncturels implicites et explicites (Mayer *et al.*, 1995; Rousseau *et al.*, 1998). Il peut s’agir, dans un premier temps, d’une perception personnelle et subjective de la fiabilité du partenaire. Cette conceptualisation reprend la philosophie classique de Rotter qui perçoit la confiance comme « l’attente généralisée d’un individu que la parole de l’autre est fiable » (1967, p. 651). Mayer *et al.* (1995) introduisent, dans ce contexte, les notions de compétence, d’intégrité, et de bienveillance,

qui formèrent par la suite le cadre ABI⁴⁵. D'un côté, la bienveillance renvoie à la perception d'un *Trustor* que son partenaire [le trustee] agira au-delà de ses motifs égocentriques et de son intérêt encadré, et qu'il se comportera de manière bénéfique au *trustor* (Mayer *et al.*, 1995). Simon, É. (2007) explique que cet aspect de la confiance est lié à d'autres notions telles que l'altruisme, la loyauté, la sincérité et l'empathie. La deuxième dimension est celle de l'intégrité, et reflète la perception du *trustor*, que l'autre partie obéisse à un ensemble de principes et de valeurs, que le *trustor* estime respectables. Enfin, la compétence est définie comme une croyance que le trustee possède les capacités nécessaires pour répondre aux besoins du *trustor* (Mayer *et al.*, 1995). Celle-ci peut être le reflet de son expertise, son expérience, sa formation, son éducation, ou encore de son succès (Paluri et Mishal, 2020). Concrètement, les auteurs considèrent qu'une perception positive de ces trois variables susciterait l'émergence de la confiance (Mayer *et al.*, 1995, p. 722). Au-delà des variables ABI, Kwon, K.-W. et Suh (2005) soulignent l'importance de la transparence et de l'engagement à partager ses informations avec son partenaire. Ils expliquent que l'asymétrie informationnelle constitue la principale source d'incertitude comportementale entre les partenaires économiques. Leur recherche appliquée aux chaînes d'approvisionnement conclut que le degré d'informations partagées est prépondéré au degré de confiance entre les partenaires, et que la transparence augmente la perception mutuelle de confiance (p. 27). Une autre recherche a permis d'identifier l'investissement spécifique aux actifs comme antécédent de l'engagement⁴⁶ et de la confiance dans un contexte de relations transnationales (Kwon, Y.-C., 2011). Mangematin (1998) rappelle l'importance des interactions passées et de l'expérience. Ces variables, étant représentatives de la fiabilité du partenaire, peuvent se répercuter sur la stabilité du lien relationnel et favoriser l'émergence d'une confiance relationnelle.

Un autre courant de pensée modélise la confiance relationnelle comme une variable cognitive, impersonnelle et relativement objective, où les individus s'engagent sur la base d'une évaluation intentionnelle des risques et des bénéfices de la relation (Beccerra et Gupta, 1999). Cette forme de la confiance a largement été couverte dans les théories sur le choix rationnel, une logique socio-économique qui remonte à Adam Smith et ses travaux sur les sentiments moraux. Dans son ouvrage

⁴⁵ ABI est un acronyme pour Ability – Benevolence and Integrity. La traduction française de ces trois termes donne compétence, bienveillance et intégrité.

⁴⁶ Traduit de l'anglais « commitment »

« Recherches sur la nation et les causes de la richesse des nations » par exemple, Smith décrit une transaction économique comme un échange déguisé d'intérêts calculés, guidé par un « bras invisible qui ne serait autre que la confiance mutuelle dans la capacité et la volonté des parties à l'échange de veiller à leurs propres intérêts » (cité par Laurent, 2019, p. 26). Elle est également retrouvée avec Hardin, chez qui la confiance relationnelle est un échange d'intérêts bien compris; ou encore chez le sociologue visionnaire de la « théorie des jeux », Diego Gambetta, qui conçoit l'acte de faire confiance comme un calcul de probabilité. Elle se développe concrètement lorsque la probabilité que le partenaire réalise une action en notre faveur plutôt qu'à notre détriment est assez élevée pour que nous nous engageons dans une coopération avec lui (cité par Laurent, 2019, p. 26-27). En partant de la logique de la confiance encadrée dans l'intérêt personnel, Williamson (1993) associe la confiance à la notion de « calculabilité généralisée ». Bien que son article « *Calculativeness, trust, and economic organization* » visait principalement à démystifier la confiance pour l'exclure de l'analyse économique⁴⁷, la logique de la calculabilité stipule que la décision de faire confiance n'est rien d'autre qu'un calcul rationalisé des bénéfices et des coûts associés à la transaction. Lewicki et Bunker (1995) estiment que la confiance relationnelle est distribuée le long d'un continuum temporel, et qu'elle se développe le long de la relation. Elle émerge sous une forme initiale et calculatoire sur la base d'un calcul rationnel des circonstances relationnelles (*Calculus-based Trust*), s'approfondit par la routine interactionnelle qui instaure les bases d'une connaissance commune entre les partenaires (*Knowledge based Trust*), et atteint son maximum par l'identification et la réciprocité des valeurs entre les partenaires (Lewicki et Bunker, 1995). Les auteurs parlent dans ce cas d'une confiance basée sur l'identification, *Identification-Based Trust*. Finalement, Simon, É. (2007) souligne l'importance de la réputation dans le développement et le maintien de la confiance relationnelle, logique corroborée par (Mangematin, 1998) qui décrit la réputation comme l'une des ossatures de l'intégration de la confiance dans la théorie économique. Ce raisonnement ne se conçoit dans le cadre des relations interpersonnelles que dans la mesure où les interactions ont un caractère répétitif, ce qui fait également de la réputation un mécanisme d'évolution de la confiance vers la connaissance et l'identification

⁴⁷ La calculabilité est une traduction du terme « *Calculativeness* ». Dans son article « *Calculativeness, trust, and economic organization* », Williamson tente d'exclure la confiance de l'analyse économique, et plus particulièrement de la théorie des coûts de transactions au profit d'une calculabilité généralisée. C'est dans cette optique d'exclusion que la propriété calculatoire de la confiance comme une « contradiction dans les termes » dans un contexte d'analyse économique, qui devrait adopter la notion de risque calculé.

(Lewicki et Bunker, 1995). La logique peut toutefois être généralisée à une échelle plus large où la réputation devient un outil de pression et de sanction institutionnel (Rousseau *et al.*, 1998).

Il est important de noter que notre interprétation de la confiance relationnelle englobe à la fois les relations inter-organisationnelles et interpersonnelles. Certes, nombreux sont ceux qui ont proposé des constructions différentes pour chaque contexte dyadique, l'argument principal étant que toute organisation est guidée par une quête de profit déclarée et que celle-ci tirera profit de toute situation de vulnérabilité qui se présente (Zaheer *et al.*, 1998). Une revue de la littérature réalisée par Seppänen *et al.* (2007) a toutefois révélé que, malgré leurs critiques, la dissociation des termes relève de la sémantique et non pas de la logique conceptuelle. Schoorman *et al.* (2007) ont également établi que les perceptions de la compétence, de la bienveillance et de l'intégrité d'une organisation demeurent représentatives du degré de confiance qui y est. Concrètement, à l'instar de l'aspect interpersonnel, la confiance organisationnelle implique un calcul d'intérêt et une perception de vulnérabilité entre les partenaires. Elle reflète, à la lignée de Zaheer *et al.* (1998), l'attente qu'une organisation remplisse ses obligations et se comporte de manière prévisible et équitable, même si elle est capable de se résoudre à son opportunisme encastré. Elle est également développée le long d'un continuum relationnel, c'est-à-dire qu'elle est portée à évoluer à mesure que les partenaires témoignent de leur bienveillance, de leur fiabilité et de leur honnêteté (Morgan et Hunt, 1994, p. 23).

2.3.2.3 La confiance institutionnelle

Si l'on considérait la nature et la force du lien et la proximité sociale entre les acteurs comme une représentation du niveau de confiance, la confiance interpersonnelle perdrait son poids dans un système socio-économique complexe où les individus sont peu familiers et disposent d'une faible continuité d'interactions (Lewicki et Bunker, 1995). Cette interprétation réductrice a été démontrée de manière extensive dans la littérature en sciences sociales et en économie. Afin de composer avec l'évolution socio-économique et la dégradation des liens sociaux, Zucker (1986) appelle à la reconstruction de la confiance à travers un processus *d'institutionnalisation*. Cette transformation crée une confiance dite institutionnelle, qui interpelle un ensemble d'arrangements explicites et implicites pour concilier les intérêts contingents des acteurs économiques et instituer des limites à l'action libre de chacun dans le cadre d'un système social organisé (Mangematin, 1998).

Concrètement, la confiance institutionnelle se manifeste lorsque les acteurs sociaux reconnaissent et s'alignent sur les règles de conduite imposées (Simon, É., 2007). Les arrangements implicites font de la confiance un contrat social, pour reprendre la terminologie de J.J Rousseau, et chaque individu lègue une partie de sa liberté devant un ensemble de contraintes sociales comportementales :

Chacun de nous met en commun sa personne et toute sa puissance sous la suprême direction de la volonté générale; et nous recevons en corps, chaque membre comme partie du tout. (Rousseau (1762), cité par Mangematin (1998, p. 18))

À partir de ce contrat social qui agit comme protagoniste institutionnel, la confiance systématique a été interprétée comme un mécanisme d'atténuation de la vulnérabilité entre des entités socialement situées et soumises à une autorité *supérieure au sein de la société* (Simon, É., 2007, p. 89). Cette autorité donne aux acteurs un semblant de garantie contre les risques d'aléa moral et de sélection adverse auxquels ils s'exposent lorsqu'ils s'engagent dans une relation d'échange marquée d'une asymétrie d'information et d'un opportunisme encastré (Mangematin, 1998). Dans un extrait de son article « Production of Trust : Institutional sources of Economic Structure 1840 to 1920 », Zucker explique :

Les mécanismes locaux de production de la confiance pourraient bien fonctionner dans les sociétés primitives ou dans des relations d'échanges individuelles, mais pas aussi bien dans les échanges moins personnels et à grande échelle, si courants dans les économies de marchés modernes [...] Ce n'est que lorsqu'elles sont reconstruites comme étant intersubjectives et faisant partie d'un monde extérieur *connu en commun*, qu'elles peuvent être généralisées. Ce processus de reconstruction a été appelé *l'institutionnalisation*. (Zucker, 1986, p. 62-63)

Afin de bien comprendre les caractéristiques de cette confiance, il convient d'abord de définir la notion d'institution. Dans sa forme générale, une institution est une « contrainte conçue par l'humanité pour structurer les interactions politiques, économiques et sociales » (North, 1991, p. 97, traduction libre). Elle a pour rôle de restreindre le champ des actions possibles dans l'environnement transactionnel, en définissant les règles de conduite et en spécifiant les conséquences relatives à chaque infraction de règles (Glaser *et al.*, 2019). Les institutions imposent concrètement un spectre restreint de comportements ce qui permet d'uniformiser les actions et de créer des attentes stables vis-à-vis des actions de toutes les entités situées dans le périmètre

institutionnel (Rousseau *et al.*, 1998). Chacun accepte d'abandonner une partie de ses actions (et de sa liberté en l'occurrence) à une autorité et un pouvoir de coercition délégué (Mangematin, 1998). Cette autorité supérieure peut prendre deux formes : une forme informelle ou une forme formelle. La première catégorie décrit les contraintes tracées par les normes sociales, culturelles et éthiques, et qui guident les comportements individuels et collectifs dans un environnement socio-économique restreint (Dixit, 2009). Il s'agit d'un mécanisme de gouvernance fondée sur des normes de réciprocité implicites et qui ne nécessitant aucune représentation explicite. Comme exemple d'institutions dans cette catégorie, Zucker (1986) cite les fraternités, les églises, les associations professionnelles, ou encore les ONGs. Celles-ci créent vraisemblablement des cadres interprétatifs et des attentes de fond qui généralisent la familiarité des relations interpersonnelles à une échelle plus large (Zucker, 1986). North aborde les institutions informelles en reflétant sur les pratiques taboues, les costumes, les traditions ou encore, les codes de conduites implicites (1991, p. 97). Ce mode de gouvernance apparaît également dans les travaux d'Elinor Ostrom sur les régimes communs, où la lauréate du prix Nobel explique comment les communautés de petite taille peuvent se passer de règles institutionnelles formelles pour une gouvernance propre (citée par Werbach (2018a, p. 26)).

Si la confiance issue des mécanismes informationnels peut instaurer l'ordre social dans des communautés restreintes, elle n'y parviendrait pas, selon Zucker, dans un contexte socio-économique complexe marqué par une conjonction des intérêts et une asymétrie informationnelle entre les acteurs. C'est ainsi qu'elle élabore sur l'importance des institutions formelles. Celles-ci représentent l'ensemble des cadres normatifs et des règles écrites, qui imposent des directives normatives au sein d'un périmètre institutionnel prédéfini et les font valoir à travers des mécanismes de contrôle et d'exécution structurels (Glaser *et al.*, 2019). Zucker distingue deux sources de confiance institutionnelle : les processus de normalisation et les intermédiaires. Le premier type décrit les signaux normatifs qui donnent l'assurance structurelle que le comportement des entités socio-économiques est organisé. Pour mettre cette confiance en contexte, Mangematin donne les exemples des associations professionnelles, des diplômes universitaires, et des organismes de la mise en conformité des procédures de production, ISO. Pour un industriel, se conformer à un standard de production crée une confiance à travers un signal de qualité que l'entreprise envoie à tous ses partenaires (Mangematin, 1998). Un exemple plus vertical de

comment les institutions formelles peuvent créer la confiance est donné par Werbach (2018a) qui réfère au modèle Léviathan du philosophe du 17^e siècle, Thomas Hobbes, et qui présente les institutions comme les piliers de la civilisation humaine. Ce modèle met en exergue l'autorité des systèmes juridiques et politiques et leur rôle dans la gouvernance des interactions entre les acteurs économiques, les organisations, et la société dans son ensemble. La logique *Léviathane* introduit la confiance comme la conséquence d'un arrière-plan politique. Elle s'installe entre les acteurs économiques grâce à la certitude que les comportements seront encadrés par le cadre réglementaire sous-jacent et les sanctions qu'il impose (Werbach, 2018, p. 27). Cette logique est appuyée par Dasgupta qui profère la relation entre le degré de confiance entre les acteurs économiques, et le degré de confiance dans les organismes qui exécutent les sanctions⁴⁸. Le récipiendaire du prix Nobel en sciences économiques de l'année 1993, Douglas North corrobore cette perspective lorsqu'il souligne le rôle critique de l'état dans la modélisation des règles institutionnelles et les contraintes sociales, politiques et économiques (1991).

Pour ce qui est des intermédiaires qui constituent la deuxième source institutionnelle et formelle de confiance selon Zucker (1986), c'est un ensemble d'acteurs externes qui instaurent la confiance dans l'environnement institutionnel en mitigant les risques des contreparties dans une relation d'échange (Lacity *et al.*, 2019). En raison de leurs intérêts conflictuels et de la limite spatiale et temporelle des cadres réglementaires, les acteurs économiques peuvent se tourner vers des intermédiaires de confiance, censés concilier entre les intérêts personnels et l'intérêt collectif. Ces derniers construisent leurs propres règles et processus normatifs à travers des politiques internes et externes et des doctrines, et imposent un spectre de sanctions légales en recourant à des contrats réglementés. L'exemple retenu par Zucker est celui de l'assurance, qui représente un signal émis par un intermédiaire pour créer une confiance à travers la certitude que le sinistre sera couvert, selon les modalités convenues entre les parties prenantes (Zucker, 1986)⁴⁹.

⁴⁸ En citant Dasgupta, Helen Eenmaa-Dimitrieva et Maria José Schmidt-Kessen (2019, 248) profère que « Si une personne n'a pas de confiance en un organisme d'exécution, elle sera moins susceptible de faire confiance à des acteurs économiques pour remplir leurs obligations telles qu'énoncées dans un contrat »

⁴⁹ Le sinistre dans l'exemple de Zucker s'attache aux dommages portés à de la marchandise transportées lors du fret aérien.

2.3.3 La confiance dans la discipline des systèmes d'information

Avec l'émergence et l'évolution des technologies d'information et de communication, la question de la confiance devint au centre des débats académiques dans la discipline des SI. D'une part, l'émergence d'internet a transformé les frontières culturelles et sociales, élargissant ainsi le spectre relationnel en dehors du champ de gouvernance institutionnel et interpersonnel (McKnight, D. Harrison *et al.*, 1998). D'autre part, la digitalisation a transformé la dynamique des interactions entre les agents économiques, résultant à un milieu transactionnel dépolarisé et globalisé qui soulève des questions sur la validité des conceptualisations de la confiance dans la littérature existante (Söllner *et al.*, 2016). Certaines de ces questions portent sur la bienveillance des intermédiaires de confiance lorsque l'environnement d'interaction est digital. D'autres questionnent l'efficacité des mécanismes de gouvernance traditionnels et leur capacité à générer la confiance et à gérer les conflits dans un milieu où les fondements institutionnels ne s'appliquent pas (Bodo, 2020). Cette conjoncture a donné naissance à deux paradigmes pour confiance dans la discipline des SI: d'abord, les technologies furent initialement perçues comme des outils de médiatisation de la confiance⁵⁰. Les avancées du web 2.0 et des systèmes automatisés ont ensuite permis de prendre conscience que les technologies peuvent susciter la confiance – ou la méfiance – des utilisateurs. Cela s'est traduit par l'introduction d'un nouveau paradigme de confiance associée aux *artefacts technologiques*. Ces deux approches seront décrites dans les prochaines sections.

2.3.3.1 Les technologies comme outils pour véhiculer la confiance

La logique de la confiance véhiculée par les technologies (ou « *IT-mediated Trust* » en anglais) fit son apparition avec la première version du web, et fut propulsée par le succès des commerces électroniques (Li, Xin *et al.*, 2008). Cette contextualisation puise ses sources dans plusieurs disciplines annexes telles que la psychologie, la sociologie, la philosophie, et repose explicitement sur une démarcation entre un trustor et un trustee où les technologies sont perçues comme des moyens de communication capables de faciliter les interactions entre les deux entités (Söllner *et al.*, 2012). Initialement, le concept s'articulait autour de la fiabilité d'un vendeur dans sur le web, et la confiance se construit à la suite d'une évaluation rationnelle de la part de l'acheteur (Gefen *et*

⁵⁰ Le terme original en anglais est IT mediated-trust.

al., 2003; McKnight, D Harrison *et al.*, 2002a, 2002b). Il fut ensuite généralisé pour inclure toutes les interactions dans un environnement technologique comme dans les communautés virtuelles et les réseaux sociaux. Le modèle ABI de Mayer Mayer *et al.* (1995) a d'ailleurs été pris comme référence pour l'analyse de la fiabilité du trustee et des facteurs d'émergence de la confiance (Söllner *et al.*, 2012). Sur la base de ce modèle, McKnight, D Harrison et Chervany (2001) proposent une topologie multidimensionnelle de la confiance véhiculée par la technologie, en la définissant comme une variable psychologique, relationnelle et institutionnelle. Le cadre proposé a été validé par McKnight, D Harrison *et al.* (2002a) à travers une étude empirique sur les commerces électroniques. Les relations entre les différents aspects sont illustrées dans la figure ci-dessous :

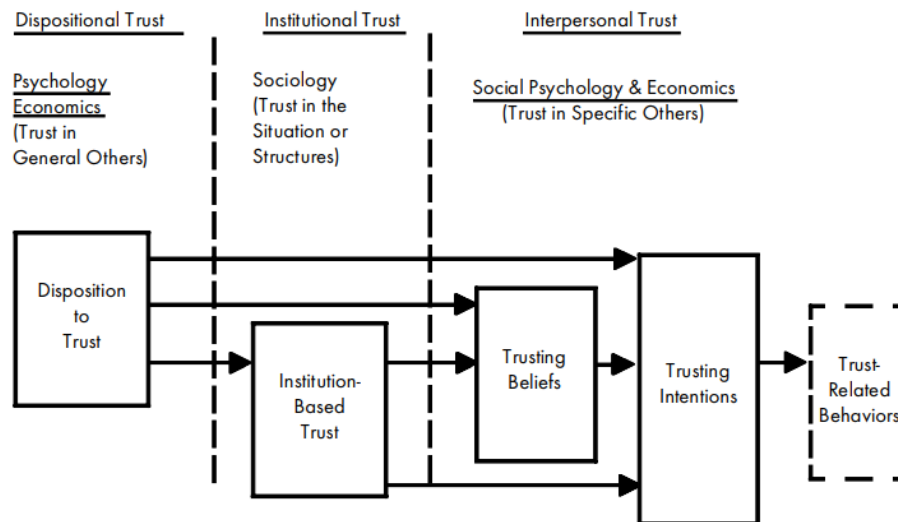


Figure 2-10 Modèle interdisciplinaire de la confiance véhiculée par la technologie (McKnight, D Harrison et Chervany, 2001, p. 42)

McKnight, D Harrison et Chervany (2001) associent la confiance dans le domaine électronique (c'est-à-dire l'acte de faire confiance) à une intention qui reflète la disposition de dépendre d'une autre partie, soit la probabilité subjective de dépendre de cette partie sans pouvoir la contrôler⁵¹

⁵¹ Dans leur recherche sur les domaines de commerce électroniques, la McKnight et al. (2001) prennent pour référence la relation entre un acheteur et un vendeur. Concrètement, l'intention de confiance traduit la disposition de l'acheteur à se rendre vulnérable face aux actions et aux comportements du vendeur.

(2001, p. 46). L'intention en question est influencée par trois variables, notamment la disposition de l'individu à faire confiance, ses croyances de fiabilité au sens de Mayer et al., (1995), ainsi que par l'environnement institutionnel qui encadre la relation dans le domaine électronique :

Premièrement, McKnight, D Harrison et Chervany (2001) ont constaté que l'intention de faire confiance dans le domaine électronique se construit d'abord sur la base d'une *disposition générale* (ou « *Disposition to trust* » en anglais) basée sur des éléments personnels et non cognitifs qui dérivent du système de valeurs internes et de l'état psychologique du trustee. Elle s'appuie plus explicitement sur deux éléments, notamment leur foi en l'humanité et leur position de confiance. D'une part, la position de confiance signifie que l'individu reconnaît que l'interaction inconditionnelle avec les autres crée de la valeur. D'autre part, la foi en l'humanité est définie comme l'assomption que les autres sont de nature compétente, bienveillante, honnête et prédictible, sur la base de la réciprocité de ces valeurs. Elle rend les individus plus enclins à faire confiance aux vendeurs dans le domaine électronique. L'applicabilité des variables psychologiques de la confiance sur le domaine électronique a été empiriquement validée par la suite, démontrant ainsi leur pertinence dans le domaine des SI. Par exemple, McKnight, D Harrison *et al.* (2002a) ont établi que la foi en l'humanité a un impact significatif sur les intentions de faire confiance dans le domaine du commerce électronique. Ridings *et al.* (2002) observent que la disposition à faire confiance augmente la confiance dans les communautés virtuelles. Dans la même veine, Pennington *et al.* (2003) trouvent que les perceptions psychologiques augmentent la confiance des utilisateurs envers les vendeurs en ligne.

Au-delà de sa dimension psychologique, McKnight, D Harrison et Chervany (2001) estiment que l'intention de faire confiance dans le domaine électronique est également influencée par des variables institutionnelles d'assurance structurelle et de normalité situationnelle qui s'apparentent à l'existence de réglementations, de cadres judiciaires, de garanties et de procédures en place pour garantir le succès et la normalité de la relation dans l'environnement technologique (McKnight, D Harrison et Chervany, 2001; McKnight, D Harrison *et al.*, 2002b). Concrètement, l'assurance structurelle se définit comme la reconnaissance que des structures de protection telles que des garanties, des contrats, des normes formelles, ou encore des règles et des procédures légales sont en place pour assurer le déroulement propice d'une transaction électronique (McKnight, D. Harrison *et al.*, 1998). La normalité situationnelle, d'un autre côté, signifie que les conditions

relationnelles sont normales et propices au déroulement de la relation (McKnight, D Harrison et Chervany, 2001). Ces résultats ont été validés par Gefen *et al.* (2003) et McKnight, D Harrison *et al.* (2002b) qui constatent que l'aspect institutionnel a une incidence significative sur la confiance et sur les intentions de faire confiance dans un contexte de commerce électronique. Parallèlement, la recherche menée par Pennington *et al.* (2003) a également révélé que les variables d'assurance structurelle et de normalité situationnelle ont une influence positive sur les croyances de fiabilité et les intentions de faire confiance d'un individu. De plus, les chercheurs constatent que l'existence des barrières institutionnelles reflète la compétence, l'intégrité et la bienveillance du vendeur, ce qui impacte positivement les intentions de faire confiance des acheteurs dans l'environnement technologique (Pennington *et al.*, 2003). Ces constats sont aussi retrouvés chez Li, Xin *et al.* (2008) qui ajoutent que la qualité d'un domaine électronique produit un sentiment d'assurance et de sécurité qui réduit l'incertitude engendrée par la non-connaissance des acteurs dans l'environnement transactionnel (Li, Xin *et al.*, 2008).

Le tableau suivant résume les dimensions et les sous-dimensions de la confiance véhiculée par la technologie.

<u>Dimension de la confiance du modèle de McKnight et Chervany (2001)</u>	<u>Définition de la dimension par McKnight et Chervany (2001)</u>	<u>Sous-dimensions de la confiance selon McKnight et Chervany (2001; 2002a)</u>	<u>Analogie avec le modèle de Zucker (1986)</u>
Disposition à faire confiance <i>Disposition to Trust</i>	Degré auquel les individus manifestent leurs tendances à faire confiance.	Foi en l'humanité : L'assomption que les autres sont de nature bienveillante, intègre et prédictible	Confiance basée sur les caractéristiques ou intuitu personae
		La position de confiance : La reconnaissance de l'individu que l'interaction inconditionnelle avec autrui crée de la valeur pour soi.	
Confiance basée sur les institutions <i>Institution-based trust</i>	L'existence d'environnement réglementaire, commercial et technique, favorable pour le succès des opérations sur le web et pour assurer le déroulement propice d'une opération	Assurance Structurale: La reconnaissance que des structures de protection telles que des garanties, des contrats, des normes formelles, ou encore des règles et des procédures légales sont en place pour assurer le déroulement propice d'une transaction électronique.	Confiance institutionnelle
		Normalité Situationnelle : La perception que les conditions relationnelles sont normales et favorables au déroulement de la relation.	
Les croyances de fiabilité <i>Trusting beliefs</i>	La croyance que le <i>trustee</i> possède au moins une des caractéristiques qui soient bénéfiques au <i>trustor</i>	Intégrité	Confiance relationnelle
		Bienveillance	
		Compétence	
		Prédictibilité	
Les intentions de faire confiance <i>Trusting intentions</i>	La disposition de dépendre d'une autre partie, soit la probabilité subjective de dépendre de cette partie sans pouvoir la contrôler.	Disposition à dépendre	Confiance relationnelle et/ou interpersonnelle
		La probabilité subjective de dépendre	

Tableau 2-3 Dimensions et sous dimensions de la confiance véhiculée par la technologie selon le McKnight et Chervany (2001)

2.3.3.2 La confiance dans l'artefact technologique

La popularisation d'internet et la prolifération des systèmes informatiques ont rendu les technologies des incontournables de la vie quotidienne. Les outils numériques devinrent utilisés pour fournir des recommandations (Komiak et Benbasat, 2006), donner des suggestions (McKnight, D Harrison *et al.*, 2002b), ou pour réaliser des tâches spécifiques (Li, Xin *et al.*, 2008; Li, Xin *et al.*, 2012; Söllner *et al.*, 2012). Cette tendance s'est accompagnée d'une prise de conscience que les acteurs socio-économiques deviennent de plus en plus dépendants des artefacts technologiques (McKnight, D Harrison, 2005) dont la portée allait bien au-delà de la simple médiation des relations interpersonnelles (Komiak et Benbasat, 2006). C'est dans cette optique que la recherche sur la confiance dans la discipline des SI s'est orientée vers l'exploration de la fiabilité des systèmes technologiques, c'est-à-dire la capacité d'un artefact technologique à produire la confiance (Söllner *et al.*, 2012). Ce revirement fit un changement dans l'épistémologie de la confiance et ses constructions, en ce qu'il modélise une interaction entre une entité sociale humaine et une entité virtuelle (Komiak et Benbasat, 2006). McKnight, D Harrison *et al.* (2011) définissent les artefacts technologiques comme des logiciels programmés pour effectuer une tâche donnée. La confiance dans l'outil technologique (ou dans un algorithme) est par ailleurs définie comme la disposition à dépendre d'un logiciel pour la réalisation d'une tâche donnée (Li, Xin *et al.*, 2008; McKnight, D Harrison, 2005), réalisation qui prend place dans un environnement technologique (Söllner *et al.*, 2012). Cette contextualisation de la confiance a donné naissance à deux nouveaux paradigmes de recherches. Le premier considère les *technologies comme des acteurs sociaux* (en anglais : *Computers as Social Actors*, ou *CSA*) (Li, Xin *et al.*, 2008). Il admet concrètement que les individus ont tendance à *humaniser* certains systèmes d'information - tels que les systèmes de recommandations, les systèmes GPS - qui possèdent des attributs humains sur lesquels la confiance peut se construire (McKnight, D Harrison, 2005; Nass *et al.*, 1995). Cette construction de la confiance ne s'applique pas aux systèmes blockchain et ne fera, en l'occurrence, pas l'objet de la présente étude. La deuxième construction de la confiance, en revanche, traite l'interaction de l'homme avec l'artefact technologique (en anglais *Humain-Computer Interaction* ou *HCI*), c'est-à-dire avec tout outil technique conçu pour remplir une tâche spécifique (McKnight, D Harrison,

2005; Mcknight, D Harrison *et al.*, 2011). Elle trouve ses racines dans une série de travaux⁵² axés sur l'étude de la confiance dans des systèmes complexes et automatisés, soit dans tout outil technologique capable de « collecter, d'analyser et de traiter les données, de prendre des décisions ou des contrôler des processus » (Söllner et al., 2012, p. 4). Cette contextualisation, qui remonte à Lee et Moray (1992) et Lee et Moray (1994), suggère une substitution, totale ou partielle des dimensions interpersonnelles de la confiance qui devient fondée sur les attributs de l'artefact technologique parce que les bases psycho-sociales de la confiance relationnelle ne sont pas applicables à cet artefact (Söllner *et al.*, 2012). Concrètement, Lee et Moray (1992), proposent de modéliser la confiance technologique sur la base de trois variables, notamment de la performance de la machine, de ses processus, et de ses objectifs. La performance reflète la capacité d'un système d'information automatisé à atteindre les objectifs souhaités par l'utilisateur du système. Les processus reflètent la perception de l'utilisateur vis-à-vis des algorithmes, ainsi que des processus informatiques d'un système d'information automatisé. Finalement, les objectifs reflètent les perceptions qu'un utilisateur peut avoir vis-à-vis des intentions du concepteur d'un système automatisé, ainsi que l'estimation de la valeur potentielle qu'il peut tirer par l'utilisation de l'artefact (Lee et Moray, 1994). En lien avec cette représentation, McKnight, D Harrison (2005) appelle à la séparation entre les attributs sociaux et technologiques lors de l'étude de la confiance dans l'artefact TI. Il explique dans son article « *Trust in a Specific Technology: An Investigation of Its Components and Measures* »:

La confiance (et plus précisément les croyances de confiance) est une croyance selon laquelle une personne- ou une technologie -posséderait les attributs nécessaires pour fonctionner comme prévu dans une situation donnée. Tout comme la confiance placée dans des personnes, l'évaluation des attributs par les utilisateurs reflète leurs croyances sur la capacité d'une technologie à respecter la promesse de ses caractéristiques objectives. [...] en comparant la confiance dans les personnes et les technologies, les utilisateurs expriment des attentes envers des attributs différents. (Mcknight, D Harrison *et al.*, 2011, p. 12:15, traduction libre)

Pour expliciter les frontières entre les deux interprétations, l'auteur propose de modéliser la confiance dans l'artefact TI autour du ressenti envers ses *capacités* et sa *prévisibilité* (McKnight,

⁵² Nous en citons, par exemples, les autopilotes Matthias Söllner et al., «Understanding the formation of trust in IT artifacts», dans *International Conference on Information Systems (ICIS)* (2012), les systèmes de surveillance et de contrôle D Harrison McKnight, «Trust in information technology», dans *The Blackwell encyclopedia of management*, sous la dir. de Gordon B. Davis (2005).

D Harrison, 2005). Les capacités renvoient concrètement à la perception de l'utilisateur que le système dispose des fonctionnalités, ou d'une capacité fonctionnelle qui lui permet d'effectuer une tâche spécifique. Cette perception surpasse les aspects moraux et émotionnels de l'acteur humain, faisant que la confiance devient strictement fondée sur une évaluation cognitive de la capacité de l'artefact à remplir sa finalité (McKnight, D Harrison, 2005). Pour ce qui est de la *prévisibilité*, elle renvoie à l'image, capturée par son utilisateur, de la tolérance de la technologie, c'est-à-dire sa capacité à fonctionner sans retards, erreurs ni échecs potentiels (2005, p. 330). Dans une publication postérieure, McKnight, D Harrison *et al.* (2011) proposent un cadre pour l'analyse de la confiance dans l'artefact technologique⁵³. Celui-ci met en exergue trois types de variables susceptibles d'influencer le développement cognitif et la confiance technologique. Elle dépend concrètement de constructions psychologiques et des ressenti d'assurance structurelle et de normalité situationnelle renvoyés par l'environnement institutionnel ainsi que des attributs de l'artefact qui construisent les croyances de fiabilité (McKnight, D Harrison *et al.*, 2011). Il s'agit, plus précisément, de la perception des utilisateurs vis-à-vis de la *fonctionnalité* (qui sont analogues aux capacités dans le modèle précédent), de la *prévisibilité*, et de la *commodité* d'un système. Cette dernière présume que l'artefact, étant dépourvu de moralité, ne peut ni être bienveillant ni veiller à l'intérêt de son utilisateur. Il peut toutefois, par le biais de ses outils d'assistance, rendre son expérience positive et sans contraintes, ce qui renforcerait la dynamique homme-machine (ibid). Lankton et McKnight (2011) généralisent l'interprétation de la commodité pour qu'elle reflète la convivialité de l'artefact et sa complexité globale telle que perçue par ses utilisateurs. Cette logique, à l'image de la réflexion de Gefen *et al.* (2003), sous-entend que la complexité augmente la vulnérabilité des utilisateurs, et en l'occurrence, leur perception du risque et de l'incertitude liée à l'utilisation de la technologie. Ces facteurs peuvent toutefois être atténués si l'utilisateur estime que l'artefact dispose des outils nécessaires pour fournir de l'assistance en temps voulu (Lankton et McKnight, 2011). Le cadre proposé par les auteurs est représenté dans la figure suivante.

⁵³ La validité empirique et conceptuelle de ce modèle a été prouvée à travers une étude réalisée auprès des utilisateurs du système Excel dans : McKnight, D. H., Carter, M., Thatcher, J. B. et Clay, P. F. (2011). Trust in a specific technology: An investigation of its components and measures. *ACM Transactions on management information systems (TMIS)*, 2(2), 1-25.

Des résultats similaires ont été retrouvés lors d'une étude enquête avec les utilisateurs de Facebook dans : Lankton, Nancy K., and D. Harrison McKnight. "What does it mean to trust facebook? Examining technology and interpersonal trust beliefs." *ACM Database: The database for Advances in Information Systems* 42.2 (2011): 32-54.

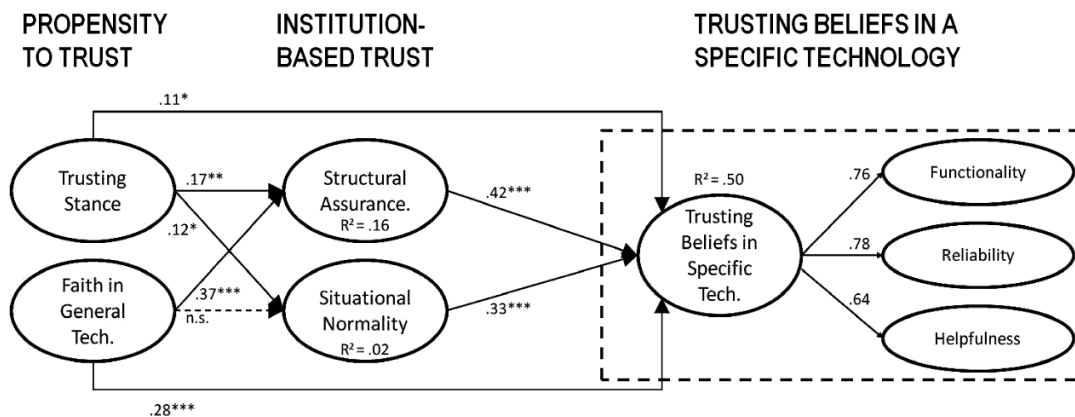


Figure 2-11 Modèle de la confiance dans l'artefact technologique, par Mcknight et al. (2011)

2.3.4 La confiance dans l'environnement technologique des chaînes de blocs.

Une revue de la littérature centrée sur les concepts de la « confiance » et « blockchain » a été élaborée en suivant les recommandations de Webster et Watson (2002). Le processus d'examen a été entamé par l'analyse des articles publiés dans les huit journaux (*communément connu sous le nom Basket of Eight*) et les quatre conférences les mieux cotées dans la discipline des systèmes d'information, selon le classement de l'AIS - *Association of Information Systems*. Les journaux en question sont : *MIS Quarterly*, *Journal of Strategic Information Systems*, *Journal of MIS*, *Journal of AIS*, *Information Systems Research*, *Information Systems Journal*, *European Journal of Information Systems* et *Journal of information Technology*. La revue *MIS Quarterly Executive* a aussi été consultée. Les conférences examinées sont *ICIS*, *AMCIS*, *PACIS* et *ECIS*. Les articles du *Basket of eight* ont été collectés à partir des bases de données: *Business Source Complete*, *ScienceDirect*, *ABI/INFORM Collection*, *CRKN Wiley Online Library*, *SAGE Journals*, *Elsevier* et *Taylor and Francis Online*. Toutes les bases de données sont accessibles depuis l'outil *Virtuose*. La plupart des conférences sont disponibles sur la librairie électronique de l'AIS⁵⁴.

⁵⁴ La librairie de l'AIS est accessible sur <https://aisel.aisnet.org/conferences/>.

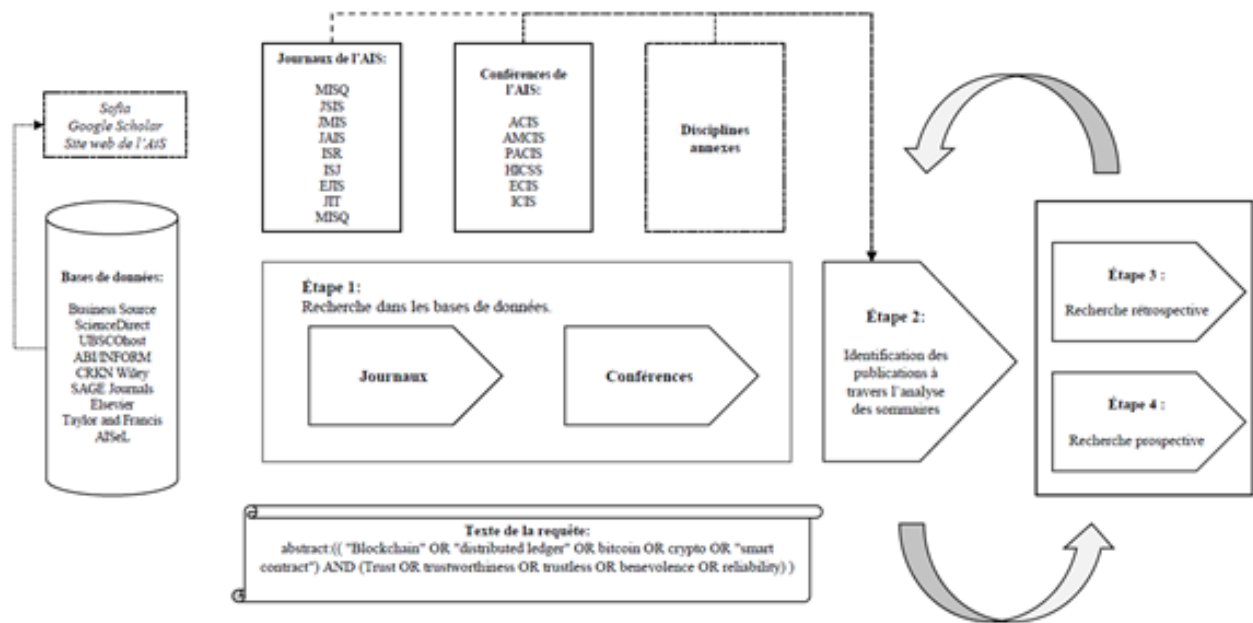


Figure 2-12 Schéma synoptique du processus de revue de la littérature, basé sur les recommandations de Webster et Watson (2002)⁵⁵

Une première requête sur les revues du *Basket of Eight* a été effectuée pour collecter les articles dont le titre comprend l'association des termes « *Trust* », avec l'un des termes « *Blockchain* », « *Distributed Ledger* », « *DLT* », « *Smart contract* » « *crypto* » ou « *bitcoin* ». Faute de résultats, la recherche a été étendue sur les mots clés, puis sur l'ensemble du texte. Cette deuxième requête a produit 34 articles scientifiques où le terme « *confiance* » a été associé à la technologie des chaînes de blocs. Toutefois, aucun de ces articles ne porte explicitement sur le phénomène de la confiance dans la technologie blockchain, ce qui signifie que le terme est uniquement mentionné de manière brève ou abordé dans le cadre d'une autre théorie. Le défaut de publications dans les journaux du *basket of eight* n'est qu'un autre reflet de la carence de travaux sur la confiance dans les chaînes d'approvisionnement, carence que nous avons explicitement souligné au début de ce rapport. D'ailleurs, les résultats de notre première requête sont similaires à ceux de Ostern (2018)

⁵⁵ Une première requête sur les bases de données a été réalisée en juillet 2021. Une deuxième a été faite en février 2022 pour tenir compte des nouveaux travaux dans littérature sur la période.

et Wallbach *et al.* (2020), dont les revues de la littérature ont également été basées sur les recommandations de Webster et Watson (2002). En ce qui concerne les conférences sélectionnées, la même requête de recherche appliquée sur les titres a permis de générer 12 articles portant explicitement sur la dynamique des blockchains et la confiance. Il s'agit des publications de Walton et Dhillon (2017), Swan et Brunswicker (2018), Ostern (2018), Auinger et Riedl (2018), Sadhya *et al.* (2018), Zhao *et al.* (2018), Loebbecke *et al.* (2018), Jahanbin *et al.* (2019), Wallbach *et al.* (2020), Carvalho et Karimi (2020), Shao *et al.* (2020) et Weiss et Obermeier (2021). Finalement, et dans le but de créer une revue plus exhaustive, d'autres articles ont été ajoutés à l'échantillon en appliquant le snowballing de Patton aux citations du basket of eight lorsqu'ils témoignent d'une qualité et d'une rigueur scientifique suffisante (Webster et Watson, 2002).

2.3.4.1 Les chaînes de blocs et la dynamique de la confiance

Au vu de ce balayage, il est notable que la discussion sur les blockchains et la confiance gagne de plus en plus d'importance dans la discipline des systèmes d'information et que l'intérêt académique s'accompagne d'une évolution remarquable dans les paradigmes. Les premières publications considéraient que l'avantage principal d'un système blockchain est celui de l'élimination de la confiance sociale, qui devient surpassée par l'autorité algorithmique du système. En réalité, la logique de l'élimination de la confiance remonte à la première publication sur Bitcoin dans laquelle Satoshi Nakamoto déclare que son système « permet d'effectuer des transactions électroniques sans recourir à la confiance » (2008, p. 8, traduction libre). Sur la base de cette déclaration, la propriété des systèmes *sans confiance* a été endossée et popularisée par certains comme une caractéristique inhérente des blockchains. La tendance est observée par Auinger et Riedl (2018, p. 2) et leur revue de la littérature, au bout de laquelle les auteurs constatent que les thèmes « *confiance dans l'algorithme* », « *mécanismes technologiques et confiance* » et « *substitution des intermédiaires et confiance* » sont les plus répandus dans la recherche actuelle sur le sujet. Elle apparaît également chez Frizzo-Barker *et al.* (2020) et leur analyse systématique de 2293 publications scientifiques, dont la moitié souscrit à cette logique.

En outre, la conceptualisation des blockchains comme des systèmes sans confiance suppose que les blockchains éliminent le besoin de recourir aux dimensions interpersonnelles et institutionnelles de la confiance. C'est justement *l'autorité algorithmique* de la blockchain qui deviendra source d'assurance structurelle et suscitera la normalité situationnelle dans l'écosystème transactionnel

(Ostern, 2018). Rappelons dans ce contexte la définition de l'autorité algorithmique donnée par Lustig et Nardi, où le terme reflète « la confiance placée dans un algorithme pour diriger l'action humaine et vérifier les informations, au lieu de se soumettre à une autorité humaine » (2015, p. 743, traduction libre). Chez Greiner et Wang (2015), la notion est apparentée à la capacité des blockchains à créer un registre immuable, et de manière automatique et consensuelle et sans le recours à un tiers. L'exécution crypto-enforcée du consensus permet, selon les auteurs, de s'affranchir à la fois des institutions et du besoin de faire confiance aux acteurs du système. La réflexion est partagée par Chanson *et al.* (2019) qui considèrent que les blockchains peuvent éliminer le besoin de recourir à la confiance inter-organisationnelle et interpersonnelle en faveur d'une interaction transactionnelle égalitaire et démocratisée (Chanson *et al.*, 2019). Beck, R. *et al.* (2016) approfondissent la notion de l'autorité algorithmique en explorant la capacité d'un prototype de DAO à remplacer un système de paiement centralisé dans une station à café self-service. Cette étude conclut que la blockchain rend possible la création d'un écosystème économique où il est possible d'effectuer des transactions sans conflits grâce à un ensemble de règles auto-applicables. En éliminant le risque et l'incertitude, les croyances sociales de fiabilité sont surpassées par une certitude dans le fonctionnement du système, instaurant ainsi les bases pour une économie *affranchie de confiance*. Davidson *et al.* (2016) modélisent les blockchains comme des institutions au sens de la Nouvelle Économie Institutionnelle. Leur analogie est fondée sur la capacité du système à instaurer l'ordre et à faire valoir les sanctions au moyen d'un ensemble de règles embarquées dans l'infrastructure sous-jacente. Similairement, Carvalho et Karimi (2020) proposent un système basé sur des contrats intelligents pour médiatiser les interactions et récompenser les prestataires dans un contexte de crowdsourcing. Les auteurs postulent que les blockchains possèdent des capacités institutionnelles qui leur permettent d'instaurer une confiance systématique dans l'environnement transactionnel. Une approche moins radicale est adoptée par Mehrwald *et al.* (2019) qui présentent un modèle théorique de la confiance dans un contexte d'économie de partage en combinant les conceptualisations de la confiance sociale et le cadre Mcknight pour la confiance technologique. Dans ce modèle, les variables de l'assurance structurelle et la normalité situationnelle sont surpassées par l'usage de la blockchain et par sa capacité à aligner les comportements et à arbitrer les conflits. En parallèle, les auteurs s'attendent à ce que l'autorité algorithmique élimine l'opportunisme, ce qui augmenterait les perceptions de l'intégrité et de la bienveillance entre les entités individuelles. Gipp *et al.* (2016) proposent un

prototype pour tester l'applicabilité d'une blockchain publique dans un contexte de télématique et sa capacité à assurer la sécurité et l'intégrité des données vidéos issues du dash-cam. Aussitôt qu'une collision est détectée, la vidéo est cryptée et hashée grâce à un service d'horodatage, et un contrat intelligent déclenche une transaction sur Bitcoin avec le Hash de la vidéo. De cette manière, la preuve vidéo de la collision est stockée de manière permanente, et l'intégrité de la vidéo ne peut être contestée. Ces mécanismes permettent, selon les auteurs, d'éliminer le risque de fraude et surpasser le besoin de faire confiance aux compagnies d'assurance (Gipp *et al.*, 2016). Il convient également de souligner que l'ancrage Trust-free n'est pas exclusif à la recherche scientifique et que cette notion est d'autant plus répandue dans la sphère professionnelle. La tendance a été identifiée par Bracamonte et Okada (2017) et leurs analyses des sites web de 43 applications blockchains applicatives. Cette recherche a révélé que la plupart des développeurs mettent l'affranchissement de la confiance en avant pour vendre leurs solutions blockchains. Elle est notamment utilisée pour décrire l'autonomie des contrats intelligents et des DApps et leur immuabilité cryptographique qui permet d'éliminer le recours aux intermédiaires de confiance.

Si la logique de la confiance algorithmique a dominé la littérature lors des premières années suivant l'émergence de Bitcoin, les dernières années ont été marquées par une remise en question de sa validité conceptuelle et contextuelle. Le débat critique a été initié par Lustig et Nardi (2015) et leur étude empirique auprès des utilisateurs de Bitcoin. À la suite d'une série d'entrevues dirigées et de questionnaires réalisés avec les utilisateurs du système, les auteurs concluent que la confiance algorithmique ne s'attache pas uniquement aux attributs du système, mais également à un ensemble de facteurs sociologiques. D'abord, une grande partie des répondants a, en effet, rapporté que l'usage de Bitcoin est une réponse à une crise de confiance dans les institutions politiques et financières, et que les algorithmes sont considérés comme « plus fiables et autoritaires que les institutions existantes » (p. 748, traduction libre). Deuxièmement, il a été observé que la confiance algorithmique a une forte dimension sociale qui s'attache à complexité inhérente du système, résultat qui est corroboré par Bracamonte et Okada (2017). Les utilisateurs ont typiquement recours aux services d'un expert ou à des communautés virtuelles pour comprendre le fonctionnement et les tendances de Bitcoin. Cela interpelle leurs jugements cognitifs de la bienveillance, de l'intégrité et de la compétence de ces acteurs, d'où la dimension relationnelle de la confiance calculée. L'idée est développée davantage par Hawlitschek *et al.* (2018) qui suggèrent une corrélation directe entre

les connaissances techniques d'un utilisateur donné et le degré de confiance que celui-ci place dans l'algorithme. En contraste, tout utilisateur non habilité à comprendre le code sous-jacent aura tendance à évaluer la fiabilité du fournisseur, ce qui suggère une relation de substitution entre la confiance technologique et sa dimension sociale. Pour conclure, la recherche de Lustig et Nardi (2015) a souligné que les utilisateurs considèrent l'absence d'encadrement réglementaire comme une limite majeure de Bitcoin, ce qui signifie que l'autorité algorithmique inhérente devrait être couplée à une autorité institutionnelle externe (Lustig et Nardi, 2015). Sas et Khairuddin (2015) explorent les dimensions de la confiance dans le contexte des blockchains en appliquant le paradigme HCI. En dénonçant les limitations de la gouvernance qui ne peut résoudre les conflits hors des réglages algorithmiques prédéfinis, les auteurs identifient 5 groupes d'entités où les variables sociales de la confiance s'imposent. La recherche est conclue par une affirmation de l'omniprésence et l'interdépendance entre variables socio-économiques et technologiques de la confiance, réfutant ainsi la logique du trust free dans Bitcoin (Sas et Khairuddin, 2015). Toujours dans le cadre des applications financières des bitcoins, Auinger et Riedl (2018) réalisent une revue de la littérature et mettent en évidence l'importance de l'aspect social à travers une analogie entre les boutiques⁵⁶ de cryptomonnaies et les intermédiaires de confiance. Selon les auteurs, la présence de ces intervenants implique indéniablement une croyance en leur fiabilité, ce qui signifie que des constructions relationnelles de la confiance s'imposent. Ils ajoutent que les intermédiaires sont également soumis à un ensemble de lois et de réglementations qui veillent à la protection des utilisateurs. La recherche conclut que la confiance dans les blockchains n'est pas purement systématique, mais qu'elle est également influencée par des variables institutionnelles. L'extrait suivant résume les résultats de Auinger et Riedl (2018) :

C'est une exagération de proclamer que la blockchain est affranchie de confiance ou que la confiance dans les intermédiaires n'est plus nécessaire dans le contexte de la blockchain. La confiance n'est que transférée depuis des acteurs spécifiques du marché vers d'autres acteurs de l'écosystème de la blockchain [...] Les déterminants classiques de la fiabilité (compétence, bienveillance, intégrité), ainsi que les mécanismes connus pour établir la confiance dans les environnements en ligne (mécanismes institutionnels

⁵⁶ Toute personne peut créer une adresse sur une blockchain publique (celles-ci étant ouvertes). Toutefois, une adresse n'a aucune représentativité en elle-même et sont complètement isolées des modalités de paiement traditionnelles. Typiquement, les utilisateurs ont recours à des boutiques pour approvisionner leurs comptes. Ces boutiques (services en ligne, sites web) agissent comme passerelles entre le monde réel et la blockchain. Lorsque les boutiques reçoivent une commande (un utilisateur veut acheter des cryptomonnaies avec de la monnaie fiduciaire), une transaction est effectuée vers l'adresse publique de l'utilisateur avec le montant en cryptomonnaie désiré.

tiers), demeurent critiques dans le contexte des blockchains. (Auinger et Riedl, 2018, p. 7, traduction libre)

Les critiques de l'affranchissement de la confiance continuent avec De Filippi dans son article « *The pitfall of a trustless dream* », où l'auteur répond à l'analogie de Davidson *et al.* (2018) qui comparent la gouvernance des blockchains à une *catallaxie* au sens de Hayek. Tout comme la loi de l'offre et de la demande ne suffit pas pour instaurer l'ordre dans les marchés économiques qui sont vulnérables à la manipulation de plusieurs acteurs (et le scandale de la plateforme de courtage Robin Hood est un exemple récent de cette manipulation), l'autorité algorithmique des systèmes blockchains doit aussi être encadrée par des normes institutionnelles formelles et informelles sans lesquelles le système deviendrait vulnérable (De Filippi, 2019). Cette réflexion apparaît également dans les résultats de la revue de la littérature menée par Notheisen, Cholewa, *et al.* (2017) sur les applications financières de la technologie, ainsi que chez Hawlitschek *et al.* (2018) et Johnson (2019) dans un contexte d'économie de partage. Glaser *et al.* (2019) critiquent explicitement l'affranchissement de la confiance en modélisant l'infrastructure d'une blockchain comme étant une institution socio-économique située, ayant des dimensions formelles et informelles. Ils ajoutent, d'une part, que les utilisateurs doivent avoir confiance dans l'exactitude du code ce qui implique de faire confiance aux développeurs des systèmes. D'autre part, les utilisateurs doivent également faire confiance aux autres membres de l'écosystème (communauté dans les blockchains publiques, mécanismes de réputation, administrateur du réseau dans les systèmes à permissions, boutiques, etc.) ce qui implique la médiation d'une confiance relationnelle par l'artefact technologique (Glaser *et al.*, 2019). Lemieux (2016) analyse la confiance dans le registre blockchain en adoptant les antécédents du standard ISO 15489 et les principes de la préservation des documents d'ARMA. Deux aspects de la confiance sont étudiés : la perception de la fiabilité du registre, et celle de son authenticité. La solution étudiée a été créée à la suite d'un partenariat entre l'agence foncière du Honduras et la startup basée au Texas, Factom. Cette dernière fournit une solution applicative qui permet d'horodater et d'archiver des enregistrements en exploitant l'infrastructure de Bitcoin. Le projet veut assurer la traçabilité et l'audibilité des transferts des titres fonciers en Honduras. La recherche a conclu que la blockchain n'était pas outillée pour garantir la fiabilité du registre, ce qui implique un recours indispensable à des tiers de confiance pour valider la saisie des données. Dans ce cas précis, les enregistrements sont consolidés dans les serveurs de Fatcom avant d'être transférés à la blockchain ce qui les rend vulnérables au problème du GIGO. En revanche, les

blockchains excellent dans la garantie de l'authenticité, ce qui en fait une source de confiance technologique. Il en demeure toutefois que certaines limites fonctionnelles, d'ordre sécuritaire notamment, peuvent entraver le développement de cette confiance (Lemieux, 2016). Loebbecke *et al.* (2018, p. 7) démontrent que le recours exclusif à l'autorité algorithmique conduit à des abus de la confiance dans un contexte de suivi de diamants au moyen d'une blockchain privée. Les aléas émergent essentiellement lors de l'enregistrement des biens sur la blockchain et de la consolidation des mondes physiques et virtuels, ce qui renvoie encore une fois aux frictions du first mile. Ils concluent que la conciliation sociale demeure nécessaire pour assurer que les données provenant de l'environnement externe de la blockchain n'ont pas été altérées et modifiées avant leurs enregistrements sur la chaîne. Cette réflexion est aussi retrouvée chez Swan et Brunswicker (2018) et leur interprétation de la théorie des pratiques socio-matérielles dans l'environnement technologique des chaînes de blocs. Les auteurs considèrent que l'utilisation de la technologie n'exclut pas la confiance relationnelle étant donné que *l'intra-action* entre les différentes parties prenantes de la chaîne d'approvisionnement est nécessaire pour la cocreation de la réalité sociale, ce qui implique une dimension relationnelle de la confiance (2018, p. 3). Mathews *et al.* (2017) reflètent sur le GIGO dans les chaînes de construction et comparent les oracles à des intermédiaires de confiance. Ils concluent concrètement qu'un certain seuil de confiance dans les différents points d'enregistrement et de contrôle est indispensable pour contrer la vulnérabilité des oracles aux aléas moraux. Celle-ci peut être relationnelle dans le cas des blockchains privées où les entités se connaissent, ou institutionnelle si l'opération est supervisée par des intermédiaires de confiance (Mathews *et al.*, 2017). D'ailleurs, une étude de cas multiples a récemment été réalisée par Batwa *et al.* (2021) pour investiguer l'impact des blockchains privées sur les dimensions individuelles de la confiance dans l'industrie des métaux confirme ce raisonnement. En interrogeant divers acteurs organisationnels, les auteurs concluent, d'un côté, sur la pertinence des variables ABI de la confiance relationnelle, qui sont aussi identifiées comme des antécédents de la confiance dans la chaîne d'approvisionnement. Une corrélation entre la fiabilité perçue du fournisseur blockchain et l'émergence de la confiance technologique a également été identifiée. Cette dernière est catalysée par les signaux normatifs formels et par l'authenticité du registre.

Certains chercheurs ont exploré le lien entre les caractéristiques individuelles et la perception de la confiance du point de vue des utilisateurs de la technologie. La plupart des travaux dans ce contexte

explorent la confiance sous le prisme TAM (Technology Acceptance Model, en anglais), une théorie qui s'intéresse à la confiance initiale et ses répercussions sur l'intention des utilisateurs à adopter la technologie. Sadhya *et al.* (2018), par exemple, proposent un modèle théorique pour l'étude de la confiance technologique dans le système Bitcoin en prenant pour tremplin la littérature du paradigme HCI. Ce modèle établit un lien entre les caractéristiques du système et les dimensions de la confiance. Ostern (2018) combine l'approche HCI et la littérature en sciences sociales et réalise une étude qualitative sur la perception de confiance des utilisateurs de Bitcoin vis-à-vis des caractéristiques de la technologie. Sa recherche montre que les principaux antécédents de méfiance du point de vue des utilisateurs sont liés à la sécurité du système, l'absence de barrières institutionnelles, l'irrévocabilité de la plateforme, la complexité technique de la blockchain, ainsi que d'autres facteurs socio-environnementaux tels que la volatilité de la cryptomonnaie et la perception des autres utilisateurs. En contraste, la cryptographie, la transparence, la désintermédiation, l'immutabilité et la convenance ont été identifiées comme des antécédents de confiance. Fleischmann et Ivens (2019) étudient empiriquement la perception des utilisateurs de plusieurs applications blockchain et constatent que la confiance (sociale et/ou algorithmique) est fortement corrélée à la perception de la valeur ajoutée par l'utilisation de la technologie. Leur analyse, qui prend l'angle des consommateurs en questionnant des experts des solutions blockchains, identifie des bénéfices à la fois fonctionnels et émotionnels. Les premiers peuvent être économiques (économie de coûts, optimisation des processus, etc.) ou technologiques (automatisation, immutabilité, efficacité globale, etc.). Quant aux bénéfices émotionnels, ceux-ci peuvent avoir une dimension sociale (positionnement stratégique, innovation), comme ils peuvent être personnels, comme l'ambition de contrôle et de supervision. (Fleischmann et Ivens, 2019, p. 6849-6852). Ces résultats sont solidifiés par une recherche ultérieure où les auteurs observent que la blockchain, au vu des caractéristiques précédemment décrites, peut restaurer la confiance auprès des utilisateurs après son érosion dans un contexte de transgression numérique (Fleischmann *et al.*, 2020a). Enfin, Wallbach *et al.* (2020) explorent la relation entre la confiance et la perception de l'immutabilité, de la traçabilité et de l'anonymat. Les auteurs concluent que les deux premières variables sont des antécédents de la confiance dans l'artefact technologique des blockchains. L'anonymat en revanche est une source de méfiance

2.3.4.2 L'impact des blockchains sur la confiance dans les ASC

Au-delà des discussions générales sur les dimensions de la confiance et ses antécédents dans l'environnement blockchains, certains chercheurs se sont focalisés sur l'étude de sa dynamique dans les chaînes d'approvisionnement agroalimentaire. Par exemple, la revue de la littérature réalisée par Wang et al. (2019) a révélé que le principal avantage de la technologie est sa capacité à instaurer la confiance entre les acteurs, qu'ils définissent comme une perception de la « fiabilité des informations fournies par les partenaires commerciaux et de la sécurité des données gérées par une autorité » (2019, p. 71, traduction libre). Ils expliquent que la traçabilité et la transparence de la technologie garantissent la sécurité, la légitimité et l'authenticité des produits véhiculés dans les chaînes d'approvisionnement. Cela a pour effet de réduire les incertitudes environnementales d'une part en permettant une meilleure gestion, et comportementales de l'autre parce qu'elle réduit l'opportunisme et les aléas moraux des agents économiques. Longo *et al.* (2019) procèdent à une analyse comparative des coûts et des bénéfices de la blockchain UnicalCoin⁵⁷ qui est dotée d'un mécanisme de certification pour garantir l'origine, l'authenticité et l'intégrité des informations sur les produits échangés dans la partie en amont de chaîne (le producteur est exclu de la simulation). Les auteurs soulignent l'efficacité et la performance globale des chaînes de blocs appliquées à la gestion des données, et soulignent que l'intégration de la technologie peut minimiser « les conséquences négatives de l'asymétrie d'informations entre les différents échelons d'une chaîne d'approvisionnement, et découragent les entreprises de toute mauvaise conduite » (2019, p. 68, traduction libre). Joo et Han (2021) estiment que l'application des blockchains dans le secteur agroalimentaire peut résoudre les problèmes de méfiance qui résultent de l'opportunisme encadré, des erreurs et des jugements arbitraires des parties prenantes. À travers une enquête réalisée auprès de 318 producteurs agricoles embarqués sur la blockchain VeChain⁵⁸, la recherche a révélé que le développement de la confiance technologique est fortement corrélé avec trois aspects de la blockchain, notamment la traçabilité, la transparence et la sécurité. L'analyse des sondages montre également que les trois antécédents de la confiance, et en particulier la transparence, augmentent la satisfaction des producteurs agricoles. Pour conclure, les auteurs soulignent que les blockchains,

⁵⁷ Unicalcoin est une blockchain expérimentale publique avec des caractéristiques similaires à Ethereum. Elle a été développée à l'université de Calabria pour des fins scientifiques et académiques.

⁵⁸ VeChain, en collaboration avec la « Chinese National Agricultural Science Technology Innovation Alliance » a lancé une initiative pour embarquer les producteurs agricoles chinois sur la blockchain.

malgré leurs autorités algorithmiques, ne peuvent faire abstraction de l'intervention humaine et de l'encadrement institutionnel. La nuance est résumée dans l'extrait suivant de leur recherche :

De manière générale, les blockchains, y compris les contrats intelligents, contribuent à des systèmes de confiance puisqu'ils permettent des transactions plus transparentes, traçables et sécurisées, et par ce qu'elles accélèrent la décentralisation des structures organisationnelles et des écosystèmes commerciaux. Cependant, même si la technologie déplace partiellement la confiance dans les personnes et les institutions vers une confiance dans la technologie et le domaine spécifique, les rôles humains, les lois et les institutions demeurent critiques pour construire la confiance dans les chaînes d'approvisionnement basées sur la blockchain, et pour créer des entreprises durables. (Joo et Han, 2021, p. 13, traduciton libre)

Du côté du consommateur, Garaus et Treiblmaier (2021) démontrent empiriquement que la traçabilité des blockchains augmente la confiance avec les chaîne de vente au détail. Leur recherche sonde un échantillon de 180 étudiants, présentés par deux scénarios de vendeurs. Le premier (scenario A) est réputé pour la qualité de ses produits et ses pratiques durables et utilise une blockchain pour la traçabilité de ses produits. Le deuxième aussi a bonne réputation, mais utilise un système de traçabilités interne (ERP). Les deux chaînes donnent à leurs consommateurs la possibilité de consulter la traçabilité. L'étude statistique des réponses a révélé que la technologie blockchain permet de véhiculer l'intégrité et la bienveillance de l'acheteur, et augmente la perception de l'acheteur de son altruisme et sa bonne foi. Les auteurs ont aussi constaté que le fait d'informer les consommateurs sur les avantages spécifiques de la blockchain renforce leur familiarité et leur relation avec les détaillants, et que les vendeurs peu connus des consommateurs ont plus d'avantages à tirer de l'implémentation d'un système de traçabilité blockchain (Garaus et Treiblmaier, 2021). Cao *et al.* (2021) analysent l'impact d'une traçabilité transnationale basée sur une blockchain sur la confiance des consommateurs dans un contexte d'échange de produits bovins entre l'Australie et la Chine. Les auteurs interrogent les consommateurs chinois sur un prototype de système de traçabilité BeefLedger basé sur Ethereum, qui permet de consulter l'historique du flux informationnel, attestés par des documents cryptographiquement scellés lors de chaque activité de la chaîne. Les focus groups réalisés ont révélé que le mécanisme proposé renforce la confiance des consommateurs finaux dans les produits et véhicule leur confiance dans les acteurs de la chaîne d'approvisionnement (Cao *et al.*, 2021). Un autre prototype conceptuel de blockchain hybride est proposé par Hu *et al.* (2021) dans une tentative de réduire la fraude durant le cycle de production des produits organiques. Le système est alimenté par des capteurs connectés qui

transmettent les données sur les conditions de production (température, humidité, etc.) à un serveur local, où elles seront traitées, analysées, consolidées dans des rapports, puis transférées sur une blockchain fédérée. Le modèle a été testé dans une ferme de citrons organiques, une expérience conclue par la proposition du système comme réponse à la crise de la confiance dans le secteur agricole (Hu *et al.*, 2021). Finalement, Sander *et al.* (2018) démontrent que la complexité associée aux labels de certification conventionnels des produits agroalimentaires à base de viande accable et réduit la confiance des consommateurs. En contrepartie, l'implémentation des blockchains semble exercer une influence positive sur la perception de la qualité et la confiance de ces derniers.

2.3.5 Conclusion

Si l'intérêt d'utiliser des blockchains dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire n'est pas remise en question, ce qui inclut son impact sur la confiance entre les différentes parties prenantes et dans le secteur, les catalyseurs de cette confiance ne sont pas encore bien définis dans la littérature. Concrètement, les défenseurs de la *Lex Cryptographica*, de De Filippi *et al.* (2018), d'un côté, arguent que l'autorité algorithmique surpasse le recours aux mécanismes d'arbitrage et de conciliation relationnels et institutionnels. Cette autorité, au reflet de la fiabilité de l'artefact, est catalysée par : l'authenticité du registre (Beck, R. *et al.*, 2016; Lemieux, 2016) ; la transparence et la disponibilité des flux informationnels (Salah *et al.*, 2019; Wallbach *et al.*, 2020) ; la non répudiation des transactions (Salah *et al.*, 2019; Shahid *et al.*, 2020) et l'efficacité logistique (Longo *et al.*, 2019). Certains détracteurs du solutionnisme technologique, en revanche, défendent la validité d'une confiance pluridimensionnelle où des mécanismes socio-économiques complémenteraient l'autorité algorithmique des systèmes blockchains (Batwa *et al.*, 2021; Joo et Han, 2021). Cette hybridation préconisée suggère que l'élimination – ou la substitution – totale des dimensions sociales expose l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement à une vulnérabilité inévitable, qui ne peut être atténuée que par le recours à l'institutionnalisation et le développement du lien relationnel. Dans sa forme la plus simple, la dimension sociale peut refléter la disposition d'un membre de la chaîne à s'exposer au risque du GIGO sur la base d'un risque transactionnel calculé et mesuré. Il peut également s'agir d'associer des contrats intelligents non déterministes à une vérification tierce- *humaine, institutionnelle ou autre-* pour augmenter l'assurance structurelle (Lemieux, 2016; Mathews *et al.*, 2017). En l'absence de ces paramètres qui peuvent différer dans leurs mécaniques mais servent ultimement la même finalité, les blockchains ne sont rien d'autre

que ce que Powell *et al.* (2022) appellent: des systèmes qui permettent le partage « *de rebuts transparents très sécurisés* », ce qui signifie que les informations qu'elles contiennent, bien que transparentes et immuable, ne procurent aucune valeur si leurs sources sont compromises et qu'elles ne peuvent pas être vérifiées (p. 1, traduction libre).

CHAPITRE 3

CADRE CONCEPTUEL

Ce chapitre présente le cadre conceptuel de notre recherche, cadre qui façonnera notre démarche analytique et nos résultats. Le modèle que nous avons retenu pour l'investigation de la confiance s'inspire d'un cadre théorique proposé par Batwa et Norrman (2021), qui à son tour, avait été adapté d'un travail de thèse réalisé par Bakvand à l'université de Land en 2019. Nous entamons ce chapitre avec une section qui décrit le cadre initial de Batwa et Norrman (2021). Une deuxième section décrit notre adaptation conceptuelle du modèle au reflet de la revue de la littérature et des objectifs de notre recherche. Cette modification permet, d'une part, d'accommoder la proposition initiale des auteurs à la complexité du système agroalimentaire et à la multitude de liens qui existent entre ses différents maillons. Elle propose également une démarche pragmatique qui concilie théorie et pratique, pour une étude objective et approfondie des multiples facettes de la confiance dans la chaîne d'approvisionnement.

3.1 Description de la proposition de modèle de Batwa et Norrman (2021)

Batwa et Norrman (2021) considèrent que les chaînes d'approvisionnement s'inscrivent dans un assemblage sociotechnique et que le partage d'informations sur la blockchain dépend de facteurs technologiques endogènes et de constructions sociales exogènes. Cet encastrement est reflété par une confiance à deux dimensions: la première est relationnelle et est enracinée dans la perception des entités, individuelles ou organisationnelles, de la fiabilité de leurs partenaires. La deuxième dimension de la confiance est technologique. Elle décrit la fiabilité perçue, par les acteurs de la chaîne d'approvisionnement, de la blockchain en sa qualité d'artefact technologique soumis à la confiance de ses utilisateurs (p. 206). Concrètement, Batwa et Norrman (2021) estiment que la dynamique collaborative repose, d'une part, sur une confiance relationnelle déjà existante et une confiance technologique nécessairement manifestée. D'autre part, les auteurs suggèrent que l'utilisation de la blockchain agit sur la perception de l'information partagée entre les acteurs, et que l'intégration de la technologie peut se répercuter positivement, comme elle peut se répercuter négativement sur les constructions existantes de la confiance dans la chaîne d'approvisionnement (Batwa et Norrman, 2021; Batwa *et al.*, 2021). Cette réciprocité est représentée par les flèches doubles dans la figure suivante qui synthétise la proposition des auteurs.

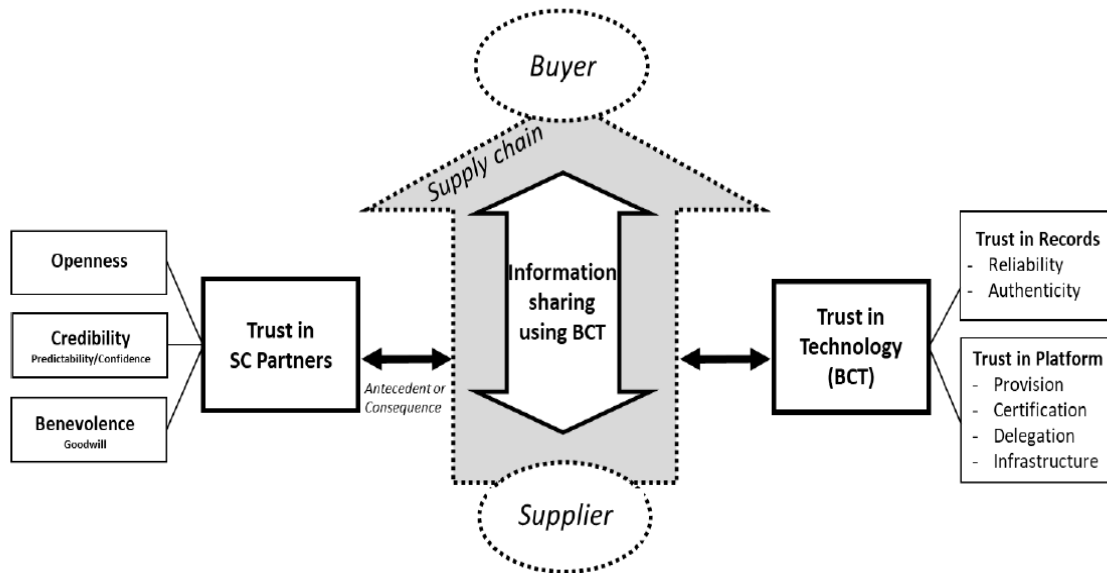


Figure 3-1 Cadre d’investigation de la confiance dans les chaînes d’approvisionnement (Batwa et Norman 2021)

Afin d’investiguer les attributs relationnels de la confiance dans la chaîne d’approvisionnement, Batwa et Norman (2021) canalisent les conceptualisations classiques de la confiance interpersonnelle – ou inter-organisationnelle- dans l’environnement socio-économique qui reposent sur la perception d’un *trustor*, de la fiabilité d’un *trustee* partenaire. Les auteurs proposent de capturer cette confiance à travers l’analyse de la bienveillance, de la crédibilité et de la transparence. Dans une publication ultérieure dans laquelle le cadre conceptuel est empiriquement mis à l’épreuve, Batwa *et al.* (2021) ajustent les variables de la confiance relationnelle pour y intégrer les aspects de la compétence et de l’intégrité. En ce qui concerne la dimension technologique, elle est interprétée sous un prisme institutionnel et est définie comme étant la croyance, perçue par les membres de la chaîne d’approvisionnement, vis-à-vis de la performance de la blockchain en tant qu’institution (p. 206, traduction libre)⁵⁹. Cette conceptualisation de la confiance technologique, imprégnée de la logique de l’affranchissement, stipule que l’autorité algorithmique est l’unique source d’assurance structurelle et de normalité situationnelle. Deux

⁵⁹ « Trust in technology can be interpreted as the beliefs regarding the performance of an institution or organization, rather than the individual, and it corresponds to structural institutional trust ».

variables sont d'ailleurs proposées pour sa capture: la fiabilité de la plateforme et la fiabilité du registre transactionnel ⁶⁰. La première se rapporte à une recherche réalisée par Grandison et Sloman (2000) sur la confiance dans les applications distribuées basées sur internet. Elle est subdivisée en quatre variables : l'assurance que l'utilisateur utilisera un service sans demander l'accès aux ressources du fournisseur (*Provision Trust*) ; la croyance que l'identité d'un utilisateur correspond aux certifications qu'il présente (*Certification trust*); l'utilisation d'un service qui appartient – *et est sous le contrôle* – d'un mandataire de confiance (*Delegation trust*); et enfin la confiance dans l'infrastructure technologique (*Infrastructure Trust*). Pour ce qui est de fiabilité du registre, celle-ci dépend de la perception de la viabilité des enregistrements (la manière dont ils ont été créés, et par qui); et de la perception de leur authenticité, c'est-à-dire de la manière dont elles sont entretenues (Batwa et Norman, 2021, p. 206, traduction libre).

En outre, le modèle d'investigation de Batwa et Norman a été retenu parce qu'il répond à trois critères principaux que nous recherchions pour les fins de la présente étude :

Il reconnaît d'abord que la confiance dans les chaînes de blocs est basée à la fois sur des constructions sociales et technologiques, une condition qui nous semble nécessaire au vu des résultats de l'état de l'art mobilisé dans le chapitre 2 du présent travail. La conjugaison des démarches sociales et technologiques respecte la multidisciplinarité de la confiance et la nécessité de l'étudier dans toute sa complexité. Elle permet également de tenir compte de la multitude de contextualisations dans la littérature et d'en concilier les différentes approches. Deuxièmement, la modélisation de la dimension sociale tient compte des critiques de la logique de l'affranchissement et admet que cette dernière ne peut être complètement éliminée par l'intégration de la blockchain. Cette dimension reflète également la vulnérabilité des systèmes blockchains et des chaînes d'approvisionnement alimentaire à l'incertitude comportementale et aux enjeux de la polycentricité située, d'où la nécessité de combiner les approches sociales et technologiques. Il convient, dans ce contexte, de se rappeler les conclusions de la sous-section 2.2 et de réfléchir aux échecs de la mise en application de la technologie que nous avons consignés dans la littérature. Les abus de la confiance relevés lors de la consolidation des flux physiques et informationnels portent à croire que l'autorité algorithmique, en elle-même, est incapable de normaliser les comportements et que

⁶⁰ Les termes originaux utilisés par Batwa et Norman sont « trust in the platform » et « trust in records » respectivement.

le recours exclusif à la confiance technologique n'a pour effet que la prolifération des incertitudes le long de la chaîne. Par ailleurs, l'autorité du code, reflétée par la confiance technologique, se doit d'être combinée à d'autres formes sociales de la confiance, faute de quoi l'intérêt collectif de la chaîne d'approvisionnement se heurtera à l'opportunisme des acteurs individuels. Enfin, la relation bilatérale entre les attributs de la confiance (technologique et relationnelle) et le partage d'informations dans la chaîne nous aligne davantage à l'oxymore *de la confiance sans confiance* de Kevin Werbach. Elle reflète, en effet, une certaine dynamique de substitution et d'élimination, qui vient s'ajouter à la complémentarité précédemment évoquée entre la confiance technologique et relationnelle. Cette dynamique sera explorée en reflétant sur les sources de la confiance et ses caractéristiques, ce qui permettra de dresser un portrait holistique de ses antécédents dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire.

3.2 Adaptation du cadre conceptuel

Malgré sa cohérence et sa pertinence théorique, il a été jugé nécessaire d'apporter certaines modifications conceptuelles à la proposition de Batwa et Norrman (2021), celle-ci ne cadrant pas avec les objectifs de notre recherche et notre revue de la littérature à différents niveaux. Le cadre conceptuel final retenu pour les fins du présent travail est schématisé dans la figure 3.2. La couleur bleue reflète nos modifications, qui seront expliquées ci-après.

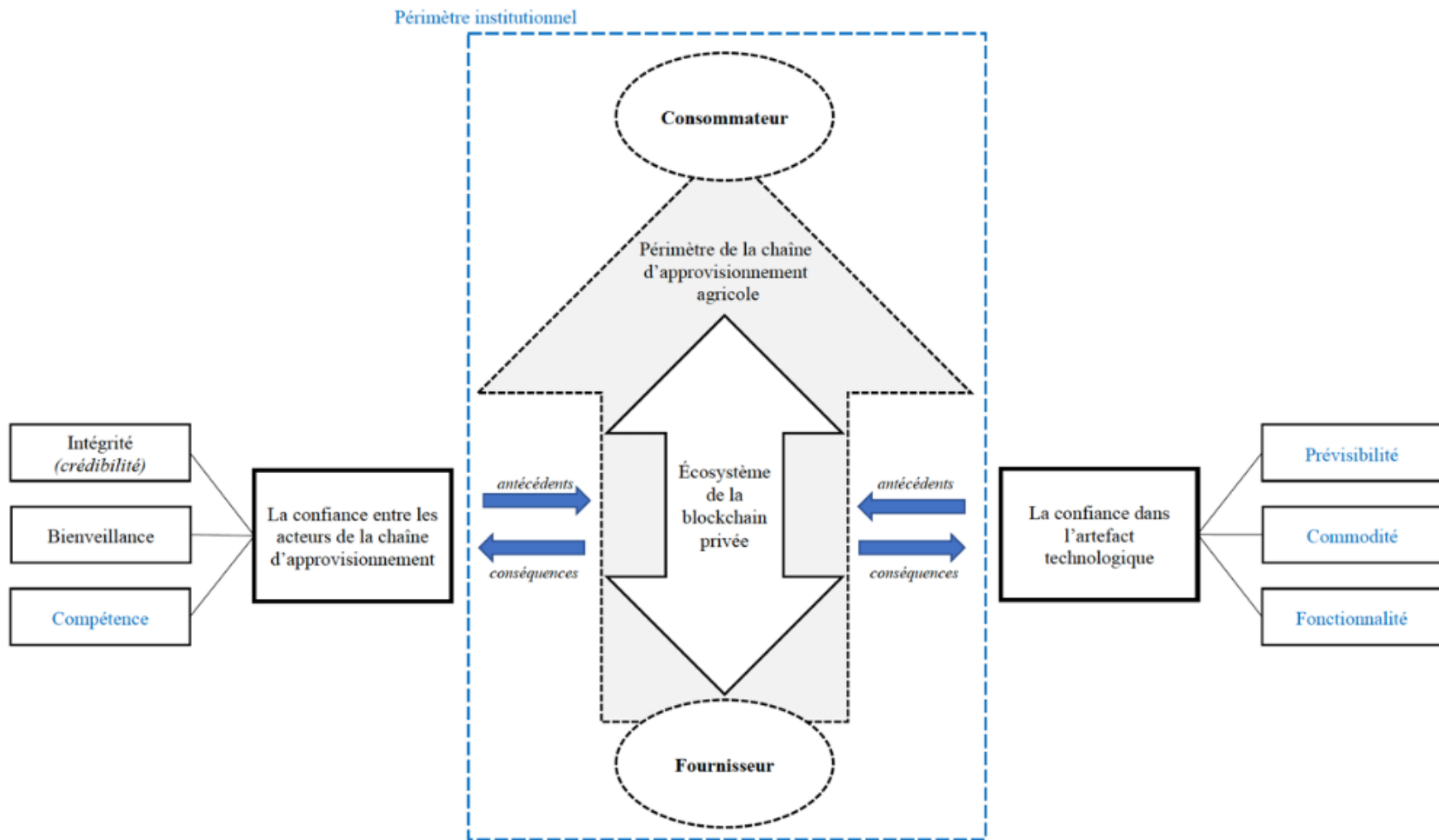


Figure 3-2 Adaptation du modèle d'investigation de la confiance de Batwa et Norrman (2021, p. 212) (notre illustration)

Bien que l'aspect de la confiance technologique fasse partie intégrante du modèle de Batwa et Norrman, sa conceptualisation proposée et la manière dont il a été défini portent à croire que les systèmes blockchains constituent l'unique source d'assurance structurelle et de normalité situationnelle dans l'environnement de la chaîne d'approvisionnement. Il sous-entend vraisemblablement que le recours à la gouvernance technologique élimine complètement les institutions socio-économiques au sens classique et que le périmètre institutionnel est exclusivement délimité par l'autorité algorithmique du code de la blockchain. D'ailleurs, notre remarque s'applique également à la recherche de Batwa *et al.* (2021) où le cadre d'investigation est empiriquement mis à l'épreuve dans l'industrie des métaux, même si les auteurs ajoutent une troisième dimension à la confiance technologique pour tenir compte de la fiabilité de la « structure de gouvernance », qui n'est rien d'autre que l'administrateur du système blockchain. À la lumière des résultats de notre revue de la littérature, il est considéré qu'une démarcation entre la confiance technologique et la confiance institutionnelle est nécessaire. Nous approcherons ainsi cette dernière comme une dimension à part de la confiance, dimension que nous représentons dans notre modèle avec le cadrant « *périmètre institutionnel* ». Celui-ci agit comme une coupole pour l'ensemble des liens de confiance dans l'écosystème de la chaîne d'approvisionnement. Nous appuyons ce choix par les quatre arguments suivants :

Premièrement, les chaînes agroalimentaires sont soumises à une autorité exogène qui relève de l'existence d'une multitude d'institutions formelles et informelles, telles que les valeurs organisationnelles, les normes réglementaires de sécurité et de transparence, les certifications, etc. Ces constructions ont un impact non négligeable sur les perceptions d'assurance structurelle et de normalité situationnelle, faisant que l'émergence de la confiance institutionnelle ne devient plus exclusive à l'autorité algorithmique. Deuxièmement, il est considéré que les institutions peuvent aussi impacter la perception de la fiabilité des utilisateurs de la technologie, comme il a été le cas pour Bitcoin et les plateformes financières publiques (ex : Auinger et Riedl (2018); Lustig et Nardi (2015); Ostern (2018)). Concrètement, notre modélisation du périmètre institutionnel est alignée à la conceptualisation de Hu *et al.* (2021), par exemple, qui différencie entre les antécédents systémiques et technologiques de la confiance dans les chaînes d'approvisionnement organiques (2021, p. 2-3). Selon les auteurs, « la confiance systématique est désincarnée, universelle, et enracinée dans les institutions [...] celle-ci doit être étendue avec une la confiance technologique,

qui amène d'autres concepts connexes, dont la sûreté⁶¹, la sécurité et la fiabilité de la technologie » (p. 2, traduction libre). En plus de définir une limite à l'autorité algorithmique, la dissociation des constructions systématiques admet que les institutions peuvent avoir un effet substantiel sur les modèles de coordination et les perspectives comportementales, et en l'occurrence, sur la dynamique des relations et de la confiance au sein de la chaîne d'approvisionnement (Mcknight, D Harrison *et al.*, 2011). Il convient dans ce contexte de rappeler les résultats de De Filippi *et al.* (2020), qui soulignent l'influence des variables institutionnelles sur les constructions interpersonnelles de la confiance, ou de la *confidence*, pour être plus précis.

Troisièmement, la plupart des cas d'applications de la blockchain dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire utilisent une architecture permissionnée dont le protocole et les contrôles d'accès et de participation sont administrés par une seule entité de confiance (BIS, 2022). Ces derniers peuvent prendre la forme de communautés open source, des entreprises publiques et privées, des consortiums d'organisations, des ONGs, etc. Dans le cas spécifique de Food Trust qui est une solution blockchain privée, l'entité en question est IBM qui demeure l'unique propriétaire du canal de Food Trust sur Hyperledger Fabric⁶². Cela en fait concrètement une source institutionnelle de la confiance au sens de Zucker (1986), d'où l'obligation de la représenter en tant que mécanisme non technologique. Finalement, nous estimons que la représentation de la confiance technologique de Batwa et Norrman (2021) peut compromettre l'objectivité de la recherche, car elle repose sur une conceptualisation préconçue de la logique du trust-free. Ainsi, et dans le but de limiter les biais, nous avons choisi d'adopter une position neutre en séparant l'institutionnalisation exogène et l'autorité algorithmique endogène. La nature exploratoire et inductive de la recherche permettra d'identifier les antécédents de la confiance pour chaque source potentielle et d'en étudier les répercussions sur la dynamique collective dans la chaîne d'approvisionnement.

En ce que la séparation entre l'institutionnalisation et l'autorité algorithmique change systématiquement la compréhension de cette dernière, il nous impose aussi de redéfinir l'aspect de

⁶¹ Traduit de l'anglais « dependability ».

⁶² Nous pouvons également considérer que Food Trust est un canal de la IBP, qui est l'implémentation commerciale de Hyperledger Fabric réservée à IBM. Concrètement, c'est IBM qui attribue et administre les permissions d'accès, de participation au consensus, et d'écriture sur le registre pour chaque organisation adhérente. Ces derniers gèrent, à leurs tours, les permissions des membres de leurs canaux organisationnels respectifs, qui sont analogues à un fragment de Food Trust.

la confiance technologique et de réajuster ses variables. Pour ce faire, la contextualisation de Mcknight, D Harrison *et al.* (2011, p. 12:17) est retenue, de même que ses antécédents de la prévisibilité (*reliability*), de la commodité (*helpfulness*) et de la fonctionnalité (*functionality*). Rappelons que cette dernière s'entend de la croyance que la technologie possède les capacités, les composantes et les attributs pour mener à bien une tâche spécifique. La prévisibilité signifie que le système est capable de fonctionner adéquatement sans retard, erreurs, ni échecs. Finalement, la commodité renvoie à la facilité de l'utilisation de la technologie et à sa convivialité (Mcknight, D Harrison *et al.*, 2011). L'adoption de ce modèle ne signifie pas que l'autorité algorithmique de la blockchain est éliminée. Elle devient simplement reflétée par la fiabilité perçue du système blockchain et de ses mécanismes technologiques. Il convient d'ailleurs de préciser que la validité conceptuelle de ce modèle, et de l'approche HCI d'une manière générale, est de plus en plus appuyée par les chercheurs. Certes, la plupart s'intéressent aux applications financières des blockchains publiques où l'enjeu de la confiance technologique est plus important considérant les consensus BFT de ces blockchains. Nous en citons, par exemple, celles de Sas et Khairuddin (2015), Auinger et Riedl (2018), Sadhya *et al.* (2018), Ostern (2018), Carvalho et Karimi (2020), etc. Certains chercheurs ont toutefois généralisé la validité du paradigme HCI sur les blockchains privées, et même à leur applicabilité sur les chaînes d'approvisionnement. Nous retrouvons cette logique, par exemple, dans la conceptualisation théorique de la confiance proposée par Hu *et al.* (2021); dans la recherche Garaus et Treiblmaier (2021) qui reflètent sur la perception des consommateurs des systèmes blockchains pour analyser l'impact de la technologie sur leur confiance avec les détaillants; et plus récemment encore, dans une publication de Brookbanks et Parry (2022) qui incorporent le modèle de Mcknight, D Harrison *et al.* (2011) pour analyser les répercussions de la blockchain sur le rôle de la confiance et la maturité du lien relationnel entre les producteurs, les exportateurs, les agences douanières et les importateurs de vins.

Pour conclure, un ajustement mineur a aussi été réalisé sur l'aspect relationnel de la confiance proposé par Batwa et Norrman (2021), où la transparence des partenaires, qui réfère à la disposition des partenaires à partager des informations fiables et de qualité, a été exclue de l'analyse. En effet, il est considéré que la transparence est une conséquence de l'intégrité (qui correspond à la prédictibilité) et la bienveillance. Nous choisissons également d'explorer une troisième variable qui tienne compte de la compétence des acteurs dans la chaîne d'approvisionnement. À travers ce

choix, nous répondons à l'appel explicite d'Auinger et Riedl (2018) et de plusieurs autres chercheurs comme Notheisen, Hawlitschek, *et al.* (2017), Hawlitschek *et al.* (2018), Mehrwald *et al.* (2019) et Bodo (2020), qui soulignent la pertinence des variables ABI. Soulignons aussi, Batwa *et al.* (2021) ont fait le même choix d'ajouter la compétence aux variables sociales de la confiance lors de la mise en épreuve empirique de leur modèle.

CHAPITRE 4

MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

Ce chapitre décrit et justifie le choix de notre méthode de recherche, sur la base des recommandations et des conclusions tirées de l'état de l'art. Il comporte trois sections : la première décrit la nature et le positionnement épistémologique de la présente recherche. Cette dernière est concrètement de nature exploratoire et souscrit à un paradigme constructiviste. Ensuite, une seconde section présente et explique le choix de l'étude de cas unique comme méthode de recherche, puis décrit les différentes techniques utilisées lors de la collecte de données. Les deux méthodes retenues sont la documentation et l'enquête par l'entretien semi-dirigé. Pour finir, une troisième grande section, inspirée des recommandations de Miles et Huberman (2003) et d'Alain Noël (2011), décrit la démarche analytique choisie pour l'étude du cas CHO. Une condensation hybride qui combine un codage théorique et un codage émergent a été appliquée dans le cadre de l'analyse. Les données encodées ont été consolidées dans des tableaux et des réseaux pour faciliter la représentation des données.

4.1 Nature de la recherche

Notre recherche est centrée sur la perception humaine et sur la subjectivité de la personne en raison du caractère intersubjectif de la confiance et son attachement à un ensemble d'éléments contextuels. Nous souscrivons donc à une perspective *interprétativiste* ou *constructiviste*. Cette approche est apparue voilà maintenant plus d'un siècle pour donner une alternative au positivisme, qui fut auparavant le paradigme dominant de toutes les sciences. À l'issue de l'œuvre de Jean Piaget et ses travaux sur l'épistémologie générique, le paradigme s'est imposé dans les recherches en sciences sociales et en particulier en science de la gestion (Velmuradova, 2004). Piaget décrit l'épistémologie comme l'étude de la constitution de connaissances valables. Il ajoute que les approches épistémologiques s'appuient essentiellement sur la méditation théologique, c'est-à-dire que tout est hypothèse et toute connaissance est une réponse à une question (cité par Le Moigne, 2001, p. 199-205). Au milieu de cette méditation, l'approche constructiviste considère que la connaissance n'est pas que simple représentation d'une réalité iconique, mais qu'elle se développe à travers la recherche de l'interaction entre le sujet et l'objet (Perret et Séville, 2003). Comme le profère Le Moigne: « Au-dessus du sujet, au-delà de l'objet, la science moderne se fonde sur le

projet. Dans la pensée scientifique, la méditation de l'objet par le sujet prend toujours la forme du projet » (2001, p. 205). De par sa dépendance à une série de constructions circonstanciées et contextuelles, la réalité devient, pour reprendre Perret et Séville, « inconnaissable dans son essence ». (2003, p. 28) et la séparation entre le sujet observé et les connaissances devient difficilement réalisable (Salmons, 2015, p. 46-47). Ainsi, la connaissance devient la chronique de plusieurs interprétations socialement situées, contextuellement construites et perçues différemment par leurs sujets (Noël, 2011, p. 66).

En plus de notre positionnement constructiviste, une approche qualitative a été retenue pour cette recherche. Par définition, l'approche qualitative désigne l'ensemble des techniques et des modèles orientés vers l'exploration et la découverte des phénomènes, des situations, des personnes et des événements. Cette méthode, expliquent Denzin et Lincoln, est particulièrement pertinente lorsqu'il s'agit d'explorer des phénomènes socialement situés puisqu'elle permet d'interpréter les connaissances « à raison des significations que les sujets leur accordent » (1994, p. 3, traduction libre). Elle permet, d'une part, de bien comprendre la perception et les sentiments des personnes. D'autre part, l'approche qualitative excelle dans l'étude de « la qualité des entités, des processus et des significations qui n'ont pas été examinés ou mesurés expérimentalement [...] » (p. 10, traduction libre). Ces deux raisons font qu'une recherche qualitative est appropriée pour le présent travail. En effet, la démarche permet d'accommoder la dépendance des sujets avec leurs réalités et de capturer la confiance telle qu'elle est perçue par les opérateurs de la chaîne d'approvisionnement à l'étude (Perret et Séville, 2003). Ce choix est aussi adapté à l'état actuel des connaissances et de la littérature sur la confiance et les blockchains qui, rappelons-le, est dominé par des travaux théoriques et conceptuels (Vu et al., 2021; Wang et al., 2019). Il répond également à l'appel lancé par Batwa et Norrman (2021) à « explorer et à tester empiriquement leur modèle, par le biais de recherches qualitatives » (p. 217, traduction libre).

4.2 Méthode de la recherche

Une étude de cas unique a été choisie pour explorer les dynamiques de la confiance entre les acteurs de la chaîne d'approvisionnement alimentaire. Cette stratégie compréhensive de recherche est analogue à une *expérience unique* et a pour finalité de dresser un portrait réel et concret du phénomène à l'étude (Yin, 2018, p. 4; 20-22). Il s'agit en effet, pour reprendre Giordano et al.

(2003, p. 45)⁶³, d'exemplifier un phénomène que l'on veut observer pour capturer un morceau de la réalité en en préservant les particularités contextuelles. Bien que les résultats de l'expérience ne constituent pas une vérité absolue, elles sont généralisables en connaissances théoriques (Yin, 2018, p. 21-22)⁶⁴, d'où son utilité dans le cadre des recherches à visées exploratoires et qui portent sur des phénomènes contemporains peu élucidés par les chercheurs (p. 2). Les menaces potentielles de l'étude de cas sur la validité des résultats seront développées davantage à la section 7.2 qui aborde les limites de la recherche. Cette dernière décrit également notre approche et les techniques retenues pour limiter les biais potentiels de la recherche.

Notre choix de l'étude de cas est appuyé par les deux logiques suivantes : premièrement, le recours à cette méthode est particulièrement pertinent lorsque les frontières entre le phénomène et son contexte sont brouillées et que le phénomène est dépendant de ses conditions contextuelles (p. 8-9). Cela est dû au fait qu'elle documente la réalité du sujet sans le séparer délibérément de son cadre de développement. Elle excelle ainsi dans l'accommodation d'une perspective relativiste et la tolérance de réalités multiples qui dépendent du sujet et du contexte (p. 14-16). Ce point est particulièrement important dans le cadre de notre recherche qui sollicite la perception des acteurs de la chaîne d'approvisionnement vis-à-vis de la confiance. Cette dernière étant enracinée dans la pensée individuelle, elle ne peut être capturée qu'à travers une analyse approfondie et exhaustive du cas à l'étude. Notre choix de réaliser une étude de cas unique est aussi imputé à une réalité du terrain pratique à laquelle nous avons dû nous ajuster: premièrement, la gestion des chaînes d'approvisionnement est un champ d'application relativement récent des blockchains, qui, depuis leur émergence, étaient principalement imputés aux cryptomonnaies et aux applications financières (Notheisen, Hawlitschek, *et al.*, 2017). Comme nous l'avons précédemment souligné, seules 16 solutions opérationnelles sont listées dans le rapport de la BIS qui présente une analyse globale et exhaustive du marché des blockchains dans l'industrie agroalimentaire (BIS, 2022). Deuxièmement, il est particulièrement difficile d'identifier des terrains concrets de recherche en

⁶³ Giordano, Y., Giordano, Y., & Allard-Poesi, F. (2003). *Conduire un projet de recherche : une perspective qualitative* (Ser. Les essentiels de la gestion). Éditions EMS.

⁶⁴ Yin distingue entre les généralisations analytiques visées par les études de cas uniques et les généralisations statistiques. La première forme consiste à traduire les faits de l'expérience en propositions théoriques. En contraste, la généralisation statistique signifie que les résultats de l'étude peuvent être extrapolés en dehors du contexte de l'expérience et produire des modèles probabilistes (2018. p. 21-22).

raison de l'invisibilité des blockchains à caractère privé dans les milieux organisationnels, et de la rareté des blockchains actives hors projets pilotes dans le secteur agricole (Chen *et al.*, 2020; Vu *et al.*, 2021). Il convient d'ailleurs de souligner, dans ce contexte, que nombre d'acteurs réputés pour l'utilisation de la technologie ont été sollicités durant les premiers stades de la recherche, requêtes qui n'ont pas abouti. Finalement, rappelons que l'intégration de la blockchain dans les chaînes d'approvisionnement améliore substantiellement la transparence et la traçabilité (Kamath, 2018), en plus de réduire les coûts associés à la gestion des flux informationnels et physiques. L'usage de la technologie procure ainsi un avantage compétitif pour les entreprises, ce qui pourrait les rendre peu enclines à partager les détails de leur projet et justifier le manque frappant d'étude de cas sur les grands opérateurs du secteur. Concrètement, il devient dans l'intérêt stratégique d'une organisation de ne pas diffuser d'informations sur sa chaîne logique et sur ses processus afin de maintenir son avantage commercial et se démarquer de la compétition. Ces éléments font de sorte que le cas CHO puisse être qualifié de cas *insolite et révélateur*, pour reprendre les mêmes terminologies utilisées par Yin pour décrire les opportunités de recherche difficilement accessibles (2018, p. 50, traduction libre). Ils font également de tel qu'il est difficile, voire irréalisable, à ce stade de maturité de la technologie, d'opter pour une étude multi-cas ou une analyse multi-contextuelle des usages des blockchains dans les chaînes d'approvisionnement agroalimentaire.

Pour résumer, une étude de cas unique a été réalisée sur le groupe CHO et sa chaîne d'approvisionnement oléicole. Sa position de chef de file dans le secteur oléicole et rôle pionnier dans le développement de l'écosystème Food Trust fait de l'organisation un excellent cas d'étude. Une description détaillée et de sa chaîne d'approvisionnement est présentée dans le prochain chapitre du présent travail. Le design du cas, défini par Yin comme étant « la séquence logique qui connecte les données empiriques à la question initiale de la recherche et à ses conclusions » (2018, p. 30, traduction libre) est basée sur les éléments du cadre conceptuel précédemment décrit.

4.3 Méthodes de collecte de données

L'un des principaux avantages de la recherche par l'étude de cas relève de sa capacité à combiner plusieurs sources de données et de les juxtaposer via un processus de *triangulation* (Yin, 2018, p. 126). Cette technique dérive du principe de la navigation selon lequel « l'intersection de lignes provenant de différents points de référence est utilisée pour calculer l'emplacement précis d'un

objet » (p. 127-128, traduction libre). Plus il y'a de lignes, plus l'emplacement sera précis. Le même principe est applicable pour les données de la recherche où les différentes sources de données produisent des mesures multiples d'un même phénomène, ce qui a pour effet de renforcer la validité, la fiabilité et la crédibilité des résultats (p. 129). De plus, il est jugé que la combinaison de plusieurs sources de données permet d'apporter plus de profondeur à la recherche et donner plus de contexte au phénomène à l'étude (p. 126). Pour Eisenhardt, la triangulation n'est pas simplement un atout, mais une nécessité dans le cadre d'une étude de cas unique en ce qu'elle minimise les déficiences et les biais liés à la singularité du cadre de la recherche (1989, p. 534). Noël (2011, p. 191) ajoute qu'elle établit les bases pour la validité interne de l'analyse en transformant les données brutes en fait analysables et classées. Il convient dans ce contexte de s'appuyer sur une recherche citée par Yin (2018, p. 126), où les auteurs comparent la validité de plusieurs études de cas. Cette analyse a révélé que les études de cas uniques qui combinent plusieurs sources de données sont généralement mieux notées, en termes de qualité globale, que les études de cas multiples avec une seule source.

En tenant compte des recommandations de (Yin, 2018, p. 152-170), le cas CHO a été étudié en combinant deux méthodes parmi les six qui ont été proposées par l'auteur : La documentation et les entrevues.

4.3.1 La documentation

L'analyse du cas CHO a été entamée par l'étude de la documentation publique sur la compagnie et sur la chaîne FoodTrust. Pour ce faire, plusieurs requêtes sur le groupe CHO et ses filiales ont été réalisées sur les moteurs de recherche *Google*, *Bing* et *Yahoo*. Les ressources générées consistaient principalement en articles de presse sur les réalisations de la compagnie et son projet blockchain, des publications sur les réseaux sociaux (notamment LinkedIn, Twitter et Facebook) sur - *et par* - l'entreprise, des newsletters du groupe et ses filiales (CHO France et Canada) et des entrevues réalisées par des tiers avec les directeurs de l'organisation dans le cadre d'événements et de foires internationales. Les pages web du groupe CHO et de ses filiales ont été scannées en utilisant l'outil « Wayback Machine », une archive accessible au public qui conserve des snapshots d'anciennes versions de sites web. Cela a permis de retracer les publications historiques de l'entreprise et de suivre son évolution. Une description sommaire des activités et des processus de la production a été générée à partir de ces pages. Cependant, aucune documentation publique ne portait sur le flux

des activités sur la blockchain. Afin de combler cette carence, l'étude de cas a également pris pour base les documents techniques sur FoodTrust. Ceux-ci proviennent essentiellement de la section « documentation » du site web de IBM, des forums dédiés à la communauté de Hyperledger fabric et de la IBM Blockchain Platform (IBP), et d'espaces wiki pour les développeurs. La documentation technique s'adresse essentiellement aux membres de FoodTrust pour les aider à intégrer et à utiliser la solution. Cela en fait une source explicative, abondante et fiable de données. La collecte de la documentation publique a été réalisée en continu entre septembre 2021 et juin 2022. Une veille technologique a également été appliquée via l'outil Feedly sur les sites web du groupe CHO, ses filiales, et les pages de Terra Delyssa durant toute la période.

Une première étude de la documentation a été réalisée préalablement à l'accès au terrain pour mieux comprendre le modèle et la structure de l'entreprise, ses processus, ses activités, et de dresser un portrait général sur sa chaîne d'approvisionnement et son projet blockchain. En un sens, cette analyse a servi de préparation aux entrevues en ce qu'elle a permis d'affiner le devis de la recherche et de construire des guides d'entretien mieux adaptés à la réalité du terrain observé (Yin, 2018, p. 127, traduction libre). D'un autre côté, les données issues de la documentation publique ont également permis d'enrichir les résultats de notre recherche. Compte tenu de l'absence de rigueur scientifique dans la documentation publique, ces données (de nature secondaire) ont principalement été utilisées pour des fins de triangulation, de validation de proposition et pour l'identification de pistes de réflexion, nous alignant ainsi à la remarque de Yin (2018) selon laquelle les déductions issues de la documentation ne devraient pas être considérées comme des conclusions définitives (p. 115, traduction libre).

Lors de notre visite au siège social du groupe CHO en Tunisie, la direction de l'entreprise nous a donné accès à des documents internes, notamment un livre de présentation du groupe CHO et de ses activités, une fiche descriptive du processus oléicole, une présentation PowerPoint des activités sur la blockchain, et une série de captures d'écrans de leurs interfaces blockchain. L'entreprise nous a également autorisés à utiliser les données de la blockchain accessibles depuis l'application pour les consommateurs. Les résultats de l'étude documentaire ont permis d'établir une description exhaustive et détaillée de la chaîne d'approvisionnement à l'étude, présentée à la section 5.1. Cela comprend notamment le séquençement des phases du processus, ses acteurs, l'enchaînement des flux physiques et informationnels ainsi que leur conjugaison sur la blockchain. Ces dynamiques

reflètent concrètement l'état de la chaîne oléicole de CHO à la date de la soumission du présent rapport. Soulignons toutefois que la chaîne logistique de l'entreprise est portée à évoluer dans le futur. Les changements projetés et leurs significations en termes de confiance ont été discutés lors des entrevues, qui furent notre source principale de données.

4.3.2 L'enquête par l'entretien

Si l'étude documentaire a permis de mieux comprendre le modèle de CHO et d'appréhender les aspects techniques de Food Trust, la majorité des réponses à notre question de recherche ont émergé d'une série d'entrevues semi-directifs que nous avons réalisés avec les employés et responsables de l'entreprise. Cette méthode, identifiée par Yin comme « l'une des sources les plus importantes de preuves dans une étude de cas » (2018, p. 161, traduction libre), est particulièrement pertinente lorsqu'il s'agit d'explorer un phénomène particulier et de répondre à une question formulée autour du comment du pourquoi (2018, p. 4). Elle permet, d'une part, de concilier l'organisation et le cadre de l'approche structurée, avec la spontanéité et la flexibilité de l'entretien non structurée. La nature ouverte des questions tient compte de la méditation théologique de Le Moigne (2001, p. 205) et laisse plus d'espace, au sujet, dans l'expression nuancée ou détaillée de sa réalité, soit de ses opinions, ses expériences, son expertise et des perspectives. Par le même fait, la forme d'entretien donne la possibilité au chercheur d'orienter la discussion de la manière qu'il juge opportune sur la base des éléments de réponses qui émergent lors de l'entretien (Yin, 2018, p. 118-121). Cette interaction continue entre le chercheur et le sujet est l'essence même de l'épistémologie constructiviste. Sans compromettre leur flexibilité, les entretiens semi-dirigés permettent, d'autre part, d'apporter de la profondeur à l'étude de cas en sollicitant des témoignages et des représentations profondément enchâssées dans l'esprit, dans les sentiments ou dans les émotions des personnes interrogées (Savoie-Zajc, 2009, p. 342). Cela en fait concrètement des méthodes de premier choix pour l'exploration des objets intersubjectifs et subjectifs, dont la confiance est un exemple typique.

Recrutement des participants :

Au total, 11 entrevues ont été réalisées avec des responsables de CHO, dont 9 ont servi pour la collecte de données, et deux à des fins de présentation et de préparation. Les répondants interviewés

sont répartis entre la compagnie mère du groupe CHO (CHO Company), la filiale de distribution française (CHO France) et la filiale Nord-Américaine (CHO America). Toutes les entrevues se sont déroulées entre décembre 2021 et avril 2022. L'accord de la direction avait été obtenu au préalable après une conversation téléphonique avec le CEO du groupe CHO, à la suite de laquelle un courriel qui résume les modalités de la recherche, ses objectifs et ses implications a été envoyé à la direction. Cette dernière nous a fait part de son consentement par la signature de la lettre en date du 16 juin 2021, et nous avons aussitôt été mis en relation avec un responsable du groupe qui a été chargé de coordonner les activités de notre recherche.

Le processus de recrutement a commencé aussitôt que les démarches académiques et éthiques avaient été finalisées. Nous avons été invités, dans un premier temps, à échanger sur notre projet de recherche avec la personne responsable assignée et un responsable de la direction. Après un échange ouvert et informel qui a duré environ 120 minutes, une entente de confidentialité a été signée avec la direction de l'organisation comme prévu à la section « autorisations » de la demande de certificat éthique⁶⁵. La collecte des données a été effectuée sur deux phases : la première s'est déroulée en Tunisie, et s'est soldée par la réalisation de 5 entrevues avec différents intervenants de CHO Company. Un local nous a été alloué par la direction de l'entreprise pour toute la durée de la recherche. Cette dernière nous a aussi initialement mis en contact avec deux membres de l'équipe blockchain, auxquels nous avons physiquement transmis un formulaire de consentement qui décrit toutes les considérations d'ordre éthique de la recherche. Parmi les points importants énoncés dans le formulaire sont les modalités prévues pour protéger l'anonymat des participants, les risques et les bénéfices associés à la participation, les modalités de conservations, etc. À la suite de ces deux premières rencontres, le *snowballing* (ou *chain sampling*) de Patton (2002) a été appliqué pour l'identification et le recrutement de répondants potentiels, qu'il appelle des « informateurs clés riches en informations » (p. 237). Le choix des répondants interpellait leurs connaissances de la blockchain et leurs interactions avec la chaîne logistique de l'entreprise. Toutes les personnes recommandées se sont également vu remettre un formulaire de consentement. Le snowballing a permis d'ajouter trois répondants, dont deux directeurs et un responsable des ventes et des

⁶⁵ Durant cette première réunion, deux responsables de la direction nous ont expliqué le déroulement des opérations et ont pris connaissance des détails du projet de notre recherche. Le contenu de cette réunion a été exclu de la base de données par souci de conformité éthique.

opérations. Les entrevues avec CHO ont duré 60 minutes en moyenne. Sur les cinq participants recrutés, trois ont consenti à l'enregistrement de la rencontre pour des fins de transcription. Ces derniers ont demandé qu'une copie du verbatim leur soit envoyée, demande que nous avons traité aussitôt la retranscription terminée. Dans le souci d'éviter le piège de la langue décrit par Noël (2011, p. 250-251), les participants étaient libres de s'exprimer dans la langue de leur choix entre l'arabe, le français et l'anglais. Il nous semblait important de leur accorder cette flexibilité afin d'éliminer toute barrière de langue et capturer les nuances dans leurs expressions. Toutes les rencontres avec la CHO Company ont pris place au siège du groupe, situé à Sfax⁶⁶. La première phase de recrutement et de collecte s'est conclue en janvier 2022 lorsque toutes recommandations de recrutement avaient été épuisées. Tous nos participants ont été sollicités pour de documentation pertinente sur la chaîne logistique de CHO et son intégration de Food Trust. Ces demandes étaient sujettes à l'approbation de la direction de l'entreprise.

Le cycle de recrutement et de collecte, qui se focalise sur le segment de la distribution dans la chaîne d'approvisionnement, a repris en février 2022 lorsque nous avons été mis en contact avec un responsable chez CHO America. Nous avons également contacté la filiale de distribution française du groupe CHO, et un représentant de sa structure *Medolio* a accepté de nous rencontrer. Au final, la seconde phase de collecte de données s'est concrétisée par la réalisation de quatre entrevues, dont deux avec le même responsable des ventes et des opérations, une rencontre avec un directeur et une autre avec un haut cadre exécutif du groupe CHO. Toutes les entrevues ont été effectuées entre mars et mai 2022. Les rencontres avec la filiale de distribution se sont déroulées en mode bimodal et ont duré 30 minutes en moyenne. Concrètement une partie des entrevues s'est déroulée physiquement dans les bureaux de CHO America, situés à Montréal. L'autre partie a été réalisée par Zoom. Notons que la pratique des vidéoconférences, comme alternatives aux entretiens physiques, a connu un intérêt croissant de la part des chercheurs qualitatifs durant les dernières années. Sa pertinence en tant qu'outil de collecte de données a particulièrement été constatée au cours de la pandémie lorsqu'une recherche socialement distante s'imposait en raison du contexte sanitaire global (Archibald *et al.*, 2019). Janet Salmons, qui défendait la valeur de ces outils depuis 2015 dans son livre « *qualitative online interview* », explique qu'ils permettent *une immersion par*

⁶⁶ L'emplacement de l'entrevue a été laissé à la discrétion des participants. Ces derniers avaient également le choix entre des rencontres physiques ou virtuelles dans le formulaire de consentement.

la présence dans ce que Meek (2012) appelle un « *Cyberlieu* ». Le concept renvoie à un engagement concret avec un lieu caractérisé par « hybridité spatiale de la vie sociale médiatisée par la technologie, et où les interactions sont explicitement incarnées dans l'espace, le temps et les événements » (Salmons, 2015, p. 96, traduction libre). L'environnement permet donc de médiatiser la présence du chercheur et de ses participants dans l'espace digital et de recréer les mêmes conditions d'une entrevue physiques. Cela implique les présences environnementales, personnelles, sociales et cognitives dont la jonction reproduirait les conditions contextuelles de l'interaction (Salmons, 2015, p. 97). Afin de valider ces propositions, Jenner et Myers (2019) ont comparé la richesse des données provenant des deux sphères qui ont été collectées auprès d'un même groupe de participants. Cette étude a révélé que les usages technologiques amènent une richesse similaire en termes de qualité et de profondeur des données, de même que certains participants seraient plus enclins à exprimer leurs expériences personnelles dans l'environnement digital. Zoom en particulier, s'introduit dans la communauté scientifique comme une plateforme hautement adaptée à la collecte de données qualitatives (Archibald *et al.*, 2019). Ce sentiment général, propulsé par l'accessibilité, la convenance et la facilité d'utilisation de l'artefact technologique, renforce la perception de la normalité situationnelle et de la confiance dans l'environnement digital. L'outil se présente également comme médiateur de confiance en ce qu'il renforce la dynamique relationnelle entre le chercheur et ses participants (Gray et al., 2020)⁶⁷.

Des modalités de recrutement et de déroulement similaires à celles avec CHO Company ont été adoptées lors des entretiens avec les filiales de distribution. Trois sur les quatre entrevues réalisées ont été enregistrées. Nous avons également demandé à nos participants si une mise en relation avec leurs clients, ou avec IBM pourrait être envisagée. Cette requête n'a toutefois pas abouti. Le tableau 4.1 résume la démarche de recrutement et de collecte de données :

⁶⁷ Gray, L. M., Wong-Wylie, G., Rempel, G. R. et Cook, K. (2020). Expanding qualitative research interviewing strategies: Zoom video communications. *The Qualitative Report*, 25(5), 1292-1301. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2020.4212>

Catégorie/ Entreprise	CHO Company		Filiales de distribution (Medolio et CHO America)
Nombre d'entrevues réalisées	2	5	4
Type d'entrevues	Physiques Informelles	Physique directe (4) et indirecte (1) ⁶⁸	Physique directe (2) et à distance (2)
Mise en contact avec les participants	Par téléphone et physiquement	Présentation du projet par téléphone et par courriel, puis snowballing (recommandations)	Invitations par courriel, puis recommandations et snowballing
Période et durée des entrevues	Décembre 2021 120 minutes	Décembre 2021- janvier 2022 60 minutes en moyenne	Mars – mai 2022 30 minutes en moyenne
Particularité	<ul style="list-style-type: none"> - Premier contact direct avec la direction de l'entreprise. - Introduction de l'entreprise, de ses activités, et de son projet blockchain - Description du projet et des attentes mutuelles. - Mise en contact avec des participants potentiels et transmission de formulaires de consentement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rencontres avec des membres de l'équipe blockchain et des acteurs spécialisés dans le processus de la transformation; Compréhension et représentation des flux physiques et informationnels et de la chaîne logistique du groupe CHO. - Discussions sur les dynamiques relationnelles dans l'amont de la chaîne, et sur la confiance entre l'unité de transformation et les producteurs et distributeurs. - Rencontre avec des responsables de la haute direction, et discussion des dimensions organisationnelles et la portée stratégique du projet blockchain. 	<ul style="list-style-type: none"> - Acteurs de la phase de distribution - Discussions sur les relations avec entre les filiales de distribution les clients et les consommateurs, ainsi que leurs relations avec l'unité de transformation (triangulation) - Rencontre avec des responsables de la haute direction et discussions sur les aspects organisationnels et stratégiques du projet

Tableau 4-1 Tableau récapitulatif de la démarche de recrutement et d'entrevues

⁶⁸ Un de nos répondants a choisi de répondre à nos questions par écrit. Afin d'accommoder sa demande, et dans l'optique de recueillir un maximum de données, un questionnaire avec des questions ouvertes lui a été communiqué par courriel. Alain Noel (2011, p. 250-258) consacre une section à ce type d'entrevues dans son livre « La conduite d'une recherche : mémoires d'un directeur ».

4.4 Analyse des données

Selon Miles et Huberman, toute recherche qualitative devrait s'approprier une démarche analytique concrète, car « la force des données qualitatives repose de façon très centrale sur la manière dont leur analyse est menée » (2003, p. 28). Ils résument le processus d'analyse en trois flux concurrents et parallèles d'activités, à savoir la condensation des données, la présentation des données et la conclusion analytique soutenue par la vérification des données. Les trois flux proposés ont été combinés de manière itérative et continue le long de la période de collecte et de l'analyse. Cela a permis d'éviter le risque de la circularité analytique décrit par Dumez (2013, p. 69), un point particulièrement important pour une recherche de nature inductive telle que la nôtre. Cette approche, qui s'oppose à la recherche déductive, signifie que les conclusions de la recherche émergeront des données recueillies sur le terrain. De plus, le jumelage des flux analytiques permet d'être plus attentif aux particularités du terrain et d'explorer toutes les pistes de réflexion qui émergent de la collecte. Il contribue, également à la réduction des biais associés à une préconception des résultats et du site, ce qui a pour effet de maximiser la pertinence et la validité du construit (Miles et Huberman, 2003, p. 28).

Les prochains paragraphes décrivent l'approche analytique qui a été utilisée pour l'étude du cas CHO. Cette démarche tient compte des recommandations de Miles et Huberman (2003). Les trois flux de recherche seront présentés de manière linéaire pour des fins de simplification.

4.4.1 La condensation des données

La condensation des données désigne à l'ensemble des processus « de sélection, de concentration, de simplification, d'abstraction et de transformation des données brutes » (Miles et Huberman, 2003, p. 29). Cette méthode a été appliquée tout au long de la collecte et de l'analyse des données : une première réduction anticipatoire avait déjà été opérée lors de la construction du devis de la recherche. Ensuite, les données issues de l'étude documentaire ont fait l'objet d'une condensation automatique⁶⁹ qui a permis d'exclure toute documentation non pertinente pour l'objet de la recherche. D'ailleurs, toute documentation utile a été enregistrée pour créer ce que Yin (2018, p.

⁶⁹ La condensation automatique décrit le processus de tri et de sélection de la documentation (veilles technologiques, requêtes sur les moteurs de recherche, etc.) qui ont permis de réduire la taille de la documentation et d'éliminer tout volume non pertinent.

130-131) appelle « *la base de données du cas* ». Celle-ci a été construite à l'aide de Nvivo, un logiciel d'analyse de données qualitatives assistées par ordinateur (CAQDAS).

La condensation des données a continué lors de notre visite aux locaux de CHO, où nous avons consigné dans notre carnet de chercheur nos observations et nos réflexions du moment. Un journal de bord a été maintenu pour documenter toutes les étapes de la recherche. Après chaque rencontre, nous avons produit un sommaire d'une demi-page pour résumer le contenu de l'entretien et documenter les commentaires et les hypothèses qui y ont été formées. Cette démarche, décrite par Gordon et Finlayson (2010) comme la « force motrice de toute recherche inductive », canalisait *notre mémoire de travail* et *notre perception cognitive* de la rencontre (cité dans Saldaña, 2013, p. 52). Elle s'est révélée particulièrement utile pour l'élaboration et la reconstruction logique de notre chaîne argumentaire. Au terme de ce premier cycle d'entretiens (avec CHO Company), toutes les données ont fait l'objet d'une transcription textuelle, puis été injectées sur Nvivo 12. Ceci inclut, entre autres, la documentation, les mémos rédigés, les notes d'observations et les transcriptions d'entrevue. Le contenu de la base de données a été codifié en suivant les recommandations de Saldaña (2013) et les 10 principes décrits par Dumez (2013). Ce processus sera décrit ci-après. Dans le souci de préserver la confidentialité et l'anonymat de nos répondants, toutes les données collectées sur le terrain ont été anonymisées, ce qui inclut les transcriptions d'entrevues, les mémos, les sommaires, les notes consignées lors des entretiens, etc. Un identificateur unique et aléatoire à trois chiffres a été généré pour chacun de nos participants. Ces identifiants n'ont aucun sens en dehors de l'étude (ex. W2T). Nous avons également fait de sorte que nos répondants ne puissent pas être identifiés par leurs postes en utilisant des descriptifs vagues de leurs fonctions, tels que « dirigeant » et « responsable des ventes et des opérations », sachant que l'entreprise emploie plus de 1200 employés à travers ses filiales.

4.4.2 La codification des données

En résumé, le codage (ou codification) des données est un processus d'étiquetage systématique qui, dans son sens le plus abstrait, consiste à associer une donnée à un code (Dumez, 2013, p. 74). Ce code est un attribut symbolique, sommatif et saillant, qui « attribue un sens interprété à chaque donnée individuelle » (Saldaña, 2013, p. 3, traduction libre). Il permet de catégoriser les données de la recherche et de consolider les faits interprétés (p. 9). En un sens, le codage se qualifie de

méthode de condensation parce qu'il permet de composer avec la nature hétéroside des données collectées et de réduire la masse du matériau de recherche (Dumez, 2013, p. 75). Il s'agit toutefois également d'une méthode d'analyse à part entière et d'une étape fondamentale de toute recherche qualitative rigoureuse. Noël (2011, p. 206) explique que l'identification des thèmes et des codes implique un degré d'analyse préalable de la part du chercheur puisqu'elle fait appel à son jugement dans le sens qu'il attribue à ses observations. Toute réduction ou catégorisation subséquente de codes peut également être interprétée comme étant partie intégrante du processus analytique puisqu'elle limite les résultats de la recherche au spectre des liens identifiés par le chercheur. Pour reprendre Saldaña (2013) : « le codage ne consiste pas simplement à étiqueter, mais aussi à établir des liens. Il conduit des données à l'idée, et de l'idée à toutes les données qui se rapporte à cette idée » (p. 8, traduction libre).

Afin de structurer l'analyse du cas CHO, il a été choisi de combiner un codage émergent et un codage théorique. Les codes théoriques sont le résultat d'une *classification thématique*, qui consiste à structurer les données brutes en décomposant le phénomène initial en un nombre réduit de classes (Velmuradova, 2004, p. 78). Cette approche admet que la conception de l'étude de cas se base d'abord sur un ensemble de propositions théoriques qui ont conduit à la construction d'un cadre conceptuel, reflétant les questions de la recherche et les résultats de la revue de la littérature (Yin, 2018, p. 186). Concrètement, nos codes théoriques prendront pour valeurs les dimensions et sous-dimensions de la confiance qui ont mené à la construction de notre cadre conceptuel. Miles et Huberman soulignent l'importance de cette approche :

Une méthode (celle que nous préférons) consiste à établir une « liste de départ » de codes avant le travail sur le terrain. Cette liste provient du cadre conceptuel, de la liste des questions de recherche, des hypothèses, des problèmes et des variables clés que le chercheur apporte à l'étude. (Miles et Huberman, 2003, p. 115)

Pour limiter les biais associés à une préconception des résultats de la recherche, le codage théorique est couplé à un codage émergent. Il s'agit, selon Dumez (2013, p. 71) d'une technique *de codage pur* qui donne du sens aux données de manière totalement dissociée de la théorie. Son principe s'inspire de la théorisation ancrée, une philosophie selon laquelle aucun présupposé théorique ne devrait être utilisé dans une analyse qualitative, en ce que la théorie émerge du matériau de

recherche lui-même (p. 71-73). Ainsi, la méthode n'admet aucune démarche formelle et sa conception dépend fortement de la nature de la recherche et des arbitrages faits par le chercheur.

En outre, notre codage émergent a été réalisé en combinant trois techniques de codage itératives et concourantes, à savoir un codage initial, axial puis sélectif⁷⁰. La première méthode consiste à décomposer le matériel de la recherche en segments discrets puis à les examiner de près pour en dégager les similitudes et les différences. Elle permet de capturer les nuances de sens encastrées dans le datum collecté en le timbrant avec un code descriptif qui reflète cette unité de sens (Saldaña, 2013, p. 100). Le codage initial donne l'avantage de rester ouvert à toutes les directions théoriques contenues dans les données. Les thèmes dégagés de cette première itération ont concrètement été consolidés à travers un codage axial, une démarche analytique qui permet de repenser la configuration initiale des codes pour en éliminer les *fractures*⁷¹ et les rassembler en axes thématiques sommatifs. Dans notre cas, les codes axiaux s'apparentent aux antécédents de la confiance que nous avons identifiés dans la littérature générale du terme. Notre démarche de codage a été conclue par une classification sélective qui a permis de relier les axes de codes à notre objet principal de recherche, soit la confiance. Les facteurs qui relèvent des sous-dimensions prédéfinies par notre cadre conceptuel ont été couplés aux codes théoriques identifiés lors de la première étape de codage. Les facteurs émergents ont été renseignés dans de nouvelles classes thématiques. Le tableau suivant, extrait de notre base de données, met en contexte nos catégories de codes et illustre la succession logique dans notre démarche de codage. La figure 4.1 présente la structure exhaustive de nos codes théoriques et axiaux sur Nvivo.

⁷⁰ Les termes codages sélectif et codage théorique sont utilisés de manière interchangeable (Saldaña, 2013, p.51).

⁷¹ Le terme fracture est utilisé par Saldaña (2013, p. 218) pour décrire les redondances et les incohérences retrouvés dans les codes initiaux.

	<i>Unité de sens</i> (<i>extrait de la rencontre avec nos participants</i>)	<i>Code initial</i> (<i>sens interprété et condensé</i>)	<i>Code axial</i> (<i>antécédent de la confiance</i>)	<i>Code théorique</i>	<i>Dimension de la confiance</i>
A	Food Trust fait que toute ton information est là. C'est disponible et c'est rapidement accessible et c'est visible pour tout le monde.	Le blockchain réduit l'asymétrie informationnelle (devenu temporalité par la suite)	Transparence	Fonctionnalité –	Confiance technologique
A	En cas de demande, ou bien de retour, ou bien en cas de réclamation, le client n'a pas besoin de demander l'accès aux documents. [...] Tous les documents seront déjà sur son application.	La blockchain facilite le repérage des produits (Devenu dépistage, par la suite)	Traçabilité		
A	Ce que nous avons remarqué par contre au niveau de l'application blockchain, c'est qu'il peut y avoir quelques défauts techniques. Parfois, des lots ne passent pas. Parfois le consommateur saisit le numéro de la bouteille sur l'application et n'a pas accès à l'historique du lot	Défaut technique avec l'application pour consommateurs	Problème fonctionnel		
A	Blockchain ou pas blockchain, on ne pourra jamais faire abstraction des documents de contrôle et des analyses qu'ont fait aux différents niveaux de la production	L'autorité algorithmique de la blockchain n'élimine pas les analyses de conformité.	Documentation certifiée	Processus de normalisation	Confiance institutionnelle
A-C	La confiance, elle est là. Food Trust est venue en ajouter une couche additionnelle. Mais ce n'est pas la blockchain qui a créé la confiance. Demain si nous n'avons pas Food Trust, ça ne veut pas dire que personne n'achètera nos huiles.	Importance de la confiance basée sur la connaissance et de la stabilité du lien relationnel	Réputation et lien relationnel	Intégrité	Confiance relationnelle

Tableau 4-2 Aperçu du processus de codage et de la déclinaison des codes dans la démarche analytique

4.4.3 La présentation des données

Le second courant majeur de l'activité analytique décrit par Miles et Huberman (2003, p. 174) est celui de la présentation, qui consiste à organiser, dans un format ramassé et ordonné, les données recueillies et préalablement condensées. Un format de présentation, dans ce contexte, s'entend de tout « assemblage organisé d'informations qui permet de tirer des conclusions fondées et de passer à l'action » (p. 29). Ces derniers peuvent prendre plusieurs formes, allant du simple texte narratif jusqu'à l'élaboration de liste, de grilles et de gabarits d'analyse (Noël, 2011, p. 195-223).

L'utilisation d'un CAQDAS s'est révélée très pratique pour la présentation des données. En effet, Nvivo 12 a facilité l'organisation des blocs textuels de données codifiées. Chaque code correspond à un nœud sur Nvivo et contient l'ensemble des morceaux de textes portant son étiquette. Les liens entre les nœuds ont été modélisés par des « nœuds de relations » verticaux (si la relation entre les nœuds est une relation parent-enfant), et horizontaux (si le lien implique une causalité). Cette organisation systématique a non seulement permis de consolider les différents fragments d'évidences éparpillés à travers les éléments de notre base de données (documents, mémos, transcriptions), mais aussi d'ajouter une dimension visuelle au processus analytique. Concrètement, les outils intégrés de Nvivo, (notamment les nuages de mots, cartes conceptuelles, diagrammes hiérarchiques, etc.) ont été utilisés tout au long du processus analytique. La représentation synoptique des codes et des éléments de données nous a permis d'optimiser la structure de nos thèmes et d'être plus attentifs aux concepts clés et aux éléments importants qui émergent des entretiens. C'est d'ailleurs ce va-et-vient continu entre la collecte, le codage et la représentation qui nous a conduits à affiner notre protocole et à restructurer le guide que nous avons utilisé pour les entretiens avec les filiales de distributions (Annexes A et B). Dans un stage plus avancé de l'analyse, des requêtes d'encodage matriciel, de tableaux croisés et de réseaux ont été effectuées sur Nvivo pour faciliter l'extraction des données. Cette démarche, également inspirée des recommandations de Miles et Huberman (2003, p. 176-179), sera détaillée dans les prochains paragraphes.

4.4.3.1 Les tableaux et matrices d'analyse croisée

Les fonctionnalités intégrées de Nvivo ont permis de générer des tableaux d'analyse croisée, ou pour reprendre la même terminologie que Miles et Huberman (2003, p. 231), des *matrices à*

groupements conceptuels. La démarche que nous avons suivie pour générer les tableaux et les matrices est la suivante :

Les données sources (lignes) correspondent à nos trois nœuds de *codes théoriques*, à l'intérieur desquels nous avons sélectionné toutes les données sous-encodées (en cochant la case prévue à cet effet sur Nvivo). Les nœuds en question sont les antécédents technologiques, relationnels et institutionnels de la confiance. Les colonnes du tableau (ou de la matrice) correspondent aux attributs de la classification du cas choisis. Concrètement, nos entretiens ont été classés selon deux critères : la fonction du répondant dans l'organisation (membre de l'équipe blockchain, ventes et opérations ou haute direction), et le rôle de l'organisation dans la chaîne de distribution (unité de transformation ou filiale de distribution)⁷². Les cellules du tableau, quant à elles, renseignent le nombre d'occurrences (ou son pourcentage pondéré selon les critères définis dans la requête), et ce, par nœuds et par catégorie de répondants. Même si l'analyse des fréquences n'est pas considérée comme de l'analyse qualitative, l'utilisation des tableaux s'est révélée être très pratique pour la classification des concepts et l'analyse de leur pertinence (par l'application des cartes de chaleur sur tableaux), ainsi que pour l'identification des similitudes et des écarts entre les perspectives et la triangulation des réponses. D'ailleurs, Nvivo permet d'accéder facilement aux blocs de données textuelles qui deviennent regroupées selon les paramètres du tableau. Cela fait de ces outils, en plus de la présentation des données, des méthodes de réduction à part entière (Miles et Huberman, 2003, p. 231). Un exemple de carte de chaleur qui illustre la répartition de code théorique par attribut de cas est présenté dans le tableau 4.3.

Une autre fonctionnalité dont nous avons également abusé pendant le processus d'analyse est celle des corrélations Pearson entre plusieurs catégories des données, corrélation que Nvivo calcule en mesurant les similitudes et différences dans les données encodées⁷³. Cette fonctionnalité nous a

⁷² Durant la transcription des entrevues, nous avons testé l'ajout de divers critères de classification (démographiques, géographiques, départements, etc.) pour dégager le maximum de liaisons et de corrélations. Au final la meilleure combinaison, compte tenu de la taille réduite de notre échantillon, est celle que nous avons retenues. Concrètement, l'ajout de classe surchargeait le tableau de concept avec des cases vides, ce qui diminuait à la fois la performance de Nvivo, et la présentation visuelle de la matrice.

⁷³ La configuration suivante a été utilisée pour le calcul de la corrélation : Les données sources (lignes et colonnes) correspondent à nos trois catégories de codes en y sélectionnant tous les codes sous-jacents. Le critère de classification retenus est celui de l'encodage similaire « Coding Similariy ». La cellule prendra la valeur 0 si une même donnée

donné plusieurs pistes à explorer et permis de nous situer à plusieurs reprises face au grand volume de données, surtout considérant la nature inductive de notre recherche et le fait que nous n'avions aucune idée préconçue des résultats. Nous avons, par exemple, trouvé une corrélation de 0,57 entre les antécédents technologiques et les codes antécédents institutionnels, ce qui signale, à première vue, une relation de causalité et de dépendance entre les deux variables.

4.4.3.2 Les tableaux et matrices d'analyse croisée

La deuxième fonctionnalité de Nvivo que nous avons abusée, surtout au début et au milieu du processus analytique, est celle des cartes conceptuelles. Elles ont été utilisées durant les premiers cycles de codage pour modéliser le processus oléicole de CHO et le séquençage de ses flux informationnels et physiques. Puisque nous demandions à nos répondants chez *CHO Company* de nous expliquer le processus, chaque entrevue a mené à une modélisation conceptuelle. Celles-ci ont été comparées les unes aux autres, puis confrontées à la documentation publique et interne que nous avons collectée, pour enfin aboutir aux modélisations que nous présentons à la section 5.1 du présent rapport. Cette démarche nous a également permis de reconstituer la chaîne logistique de l'entreprise et de construire le logigramme des activités de production (figure 5.3). Dans un stage plus avancé du processus d'analyse, les fonctionnalités graphiques de Nvivo ont été utilisées pour générer des réseaux sémantiques. Cela permet d'avoir une vue holistique sur tous les nœuds et de modéliser toutes les relations (verticales et horizontales) dans un seul graphique, graphique qui, au fur et à mesure que nous itérons nos codes, perd son allure en spaghetti et prenait la forme de notre cadre conceptuel. D'ailleurs, une particularité de ces réseaux est qu'ils ressortent clairement les nœuds aberrants, c'est-à-dire les codes initiaux qui n'ont aucune affiliation axiale ou théorique. Ces valeurs « atypiques » ou « extrêmes » sont pertinentes dans le cadre d'une recherche indicative et particulièrement lorsqu'il s'agit d'étudier des phénomènes émergents et peu explorés dans la littérature (Miles et Huberman, 2003, p. 447-448). Une illustration du réseau sémantique qui correspond à notre arbre de codes final est présentée ci-après. Pour des fins de clarté visuelle, nous avons décoché les nœuds horizontaux (relations) de notre requête.

encodée a des codes différents, et 1 si la même référence a été codée deux fois dans deux axes de codes à la fois, ce qui signifie qu'elle renferme deux unités de sens à la fois.

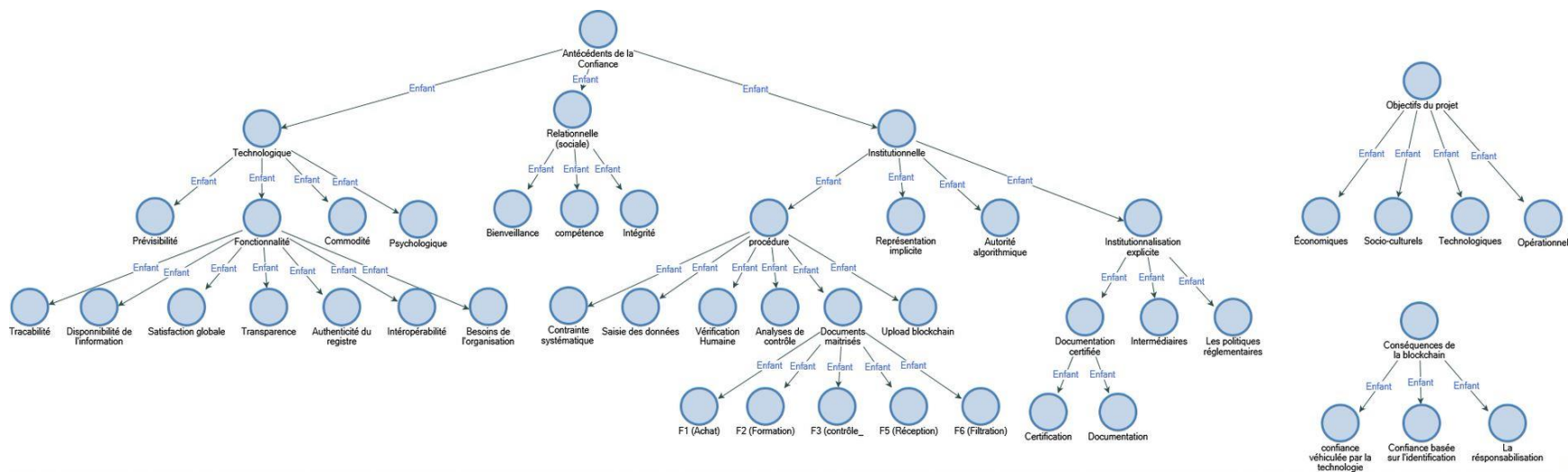


Figure 4-1 Réseau sémantique des codes initiaux, axiaux et sélectifs du cas CHO

	A : Cas CHO:Segment = Transformateur	B : Cas CHO:Segment = Distribution	C : Cas CHO:Niveau hiérarchique = opérations et ventes	D : Cas CHO:Niveau hiérarchique = Haute direction	E : Cas CHO:Niveau hiérarchique = Équipe blockchain
1 : Institutionnelle	43.85 %	6.15 %	18.36 %	5.02 %	26.61 %
2 : Relationnelle	21.04 %	28.96 %	17.2 %	26.01 %	6.79 %
3 : Technologique	31.76 %	18.24 %	15.27 %	11.91 %	22.82 %

Tableau 4-3 Carte de chaleur des codes théoriques croisés par classification de cas

4.4.4 La vérification et la conclusion

La vérification et la conclusion constituent le troisième courant de l'activité analytique recommandé par Miles et Huberman (2003). Cette dernière permet de passer de la présentation et/ou de la condensation à l'interprétation, et de la vérification à l'explication pour pouvoir en tirer des conclusions. Il va sans dire que la vérification et la conclusion ont été appliquées tout au long du processus analytique. Elle est par exemple reflétée par notre démarche itérative de codage qui s'inscrit dans la logique des auteurs de « l'identification des patterns les explications, les configurations possibles, les flux de causalité et les propositions » (Miles et Huberman, 2003, p. 30). La classification thématique a permis de regrouper les concepts et de confronter les perspectives à la fois individuellement et collectivement. Les matrices et les réseaux utilisées pour la présentation des données ont permis d'identifier des patterns, de dégager des pistes analytiques, d'interpréter les valeurs aberrantes, atypiques et extrêmes, et d'affiner les conclusions (p. 447). Sans oublier la triangulation, qui a surtout été appliquée verticalement, horizontalement et transversalement sur les données d'entretien pour en renforcer leur confirmabilité et leur validité (p. 31). Par souci de redondance et de répétition, nous illustrerons les différentes activités analytiques ayant menés à l'interprétation dans la figure 4.2 qui synthétise les différents outils et axes méthodologiques retenues pour la présente recherche.

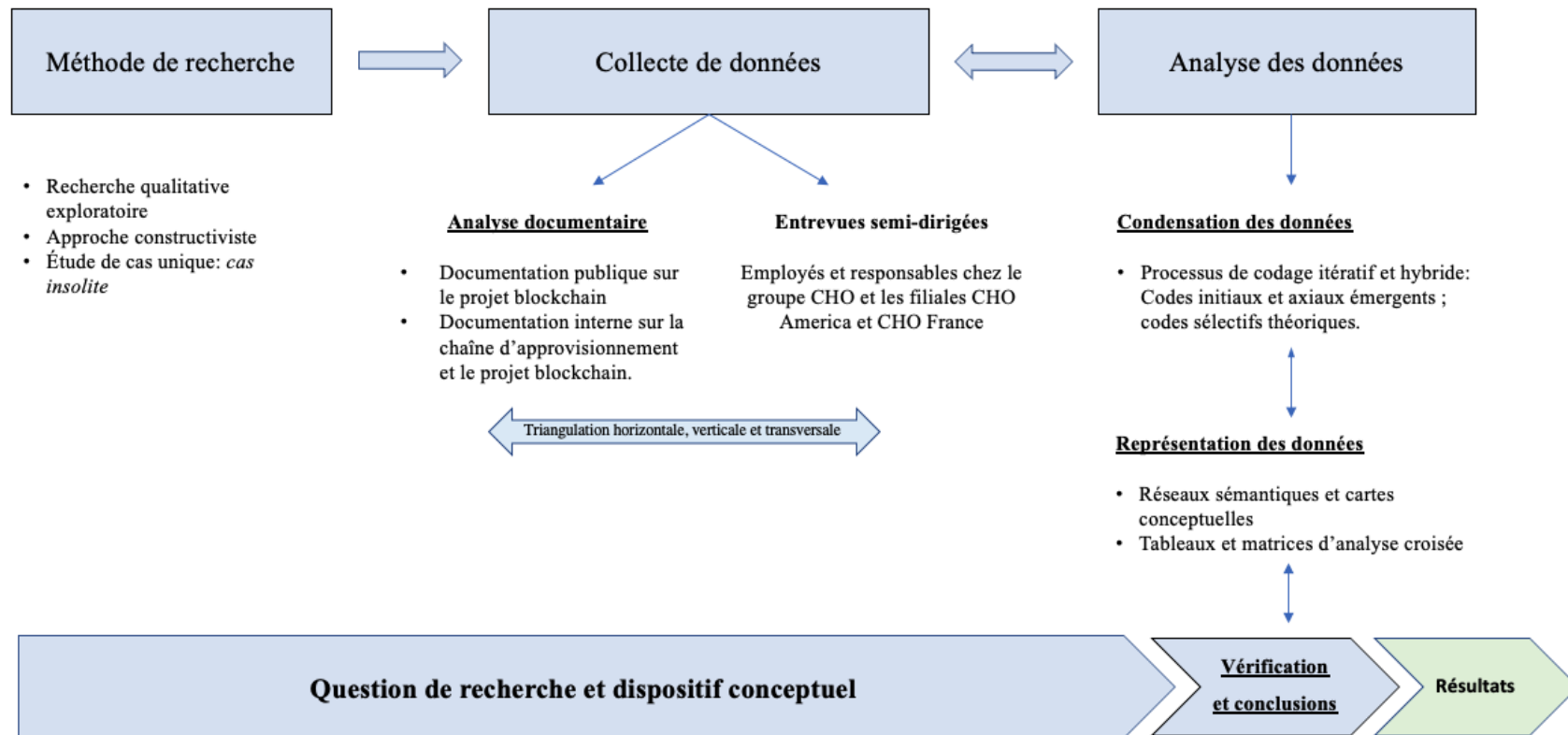


Figure 4-2 Synthèse de la démarche méthodologique retenue pour l'investigation de la confiance dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire basées une blockchain privée.

CHAPITRE 5

ANALYSE DES RÉSULTATS

Ce chapitre présente les résultats de notre analyse de la chaîne d'approvisionnement de CHO et son projet blockchain. Il se décline en trois sections. La première présente le cas d'analyse et donne une vue holistique de sa chaîne logistique et des mouvements de flux physiques et informationnels dans sa chaîne d'approvisionnement. Une seconde grande section confronte le projet blockchain de l'entreprise à notre cadre conceptuel adapté de Batwa et Norrman (2021) en vue de répondre à nos deux premières sous-questions de recherche. Dans la même veine que notre logique interrogative, la section a été divisée en deux parties. La première analyse les antécédents de la confiance technologiques en appliquant le modèle de Mcknight, D Harrison *et al.* (2011). Elle identifie concrètement les facteurs fonctionnels et non fonctionnels d'influence sur la fiabilité perçue de l'artefact, facteurs qui se reflètent sur la perception de l'autorité algorithmique de la blockchain. La deuxième sous-section se concentre sur l'analyse des aspects relationnels et institutionnels de la confiance dans l'ASC. Enfin, la dernière section du chapitre analyse la valeur ajoutée de l'utilisation des blockchains privées en termes de création de confiance dans les ASCs, ce qui répond à notre troisième questionnement sur la répercussion de la technologie sur ses dynamiques sociales.

En résumé, l'analyse des antécédents technologique a débouché sur la pertinence de la transparence, de la traçabilité, de l'immutabilité et de la modularité. Le système fait toutefois défaut sur les plans de la maturité et de l'interopérabilité, ce qui se répercute négativement sur la prévisibilité et la commodité perçue par ses utilisateurs. L'analyse a également révélé que la perception de l'autorité algorithmique peut être influencée par des variables psychosociales, essentiellement la résistance aux nouvelles technologies et l'effet réseau. Le questionnement des variables relationnelles et institutionnelles dans le contexte de l'application de la blockchain a révélé l'importance des constructions sociologiques. Les plus notables sont les processus de normalisation et les variables ABI. La figure 5-1 est une synthèse des antécédents de la confiance issus de nos résultats.

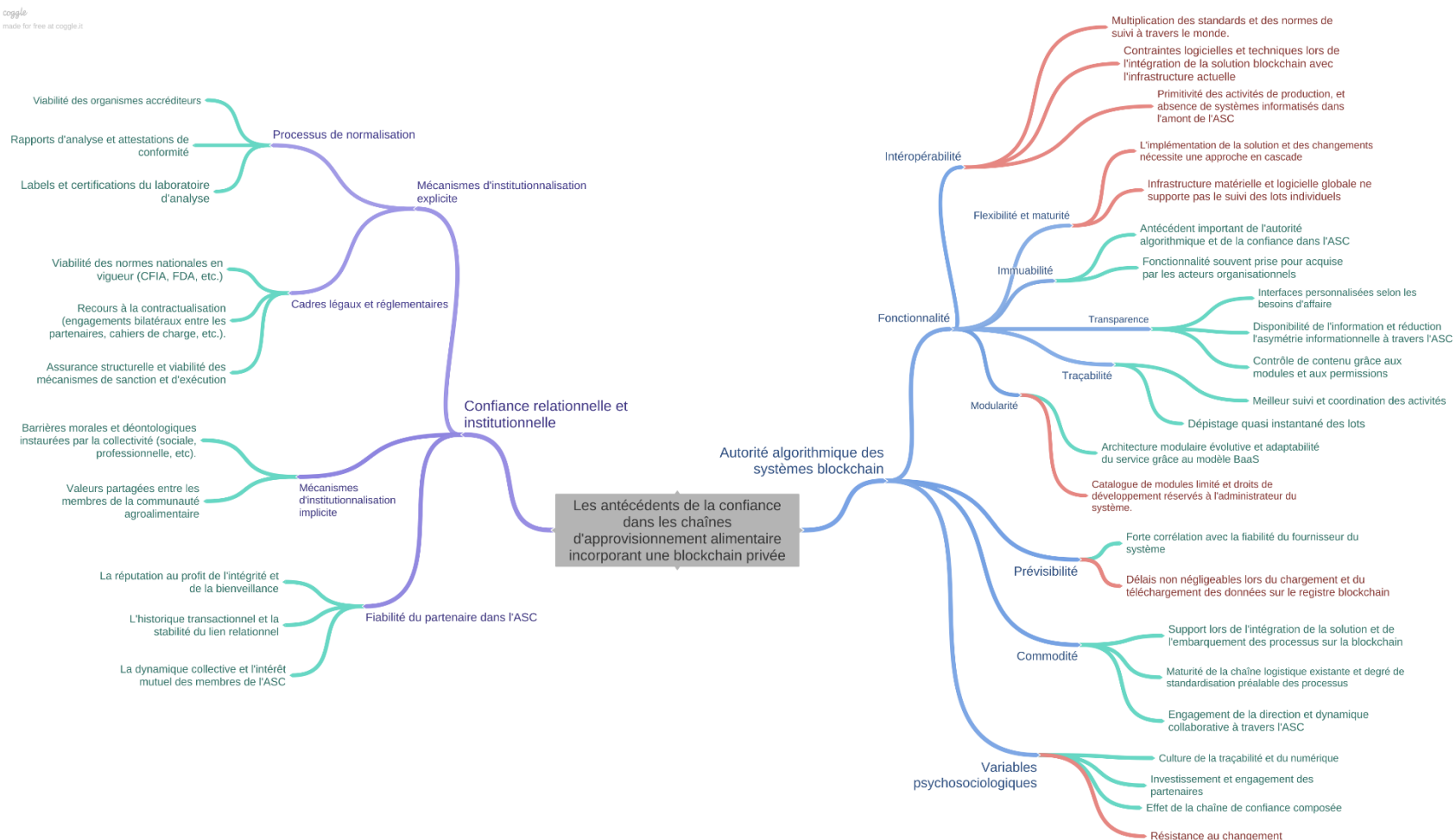


Figure 5-1 Synoptique des antécédents de la confiance dans la chaîne d'approvisionnement à l'étude⁷⁴

⁷⁴ Les éléments représentés par une couleur verte ont été décrits par nos répondants comme des antécédents de la confiance. La couleur rouge, en revanche, a été utilisée pour décrire les éléments qui font barrière à son développement.

5.1 Description du cas à l'étude

5.1.1 Profil de l'entreprise

Le groupe CHO est un opérateur mondial spécialisé dans la filière oléicole, dont le siège social est situé à la région de Sfax au centre de la Tunisie. L'entreprise possède un large éventail de produits et de services liés à l'huile d'olive allant de l'exploitation des oliveraies, jusqu'à la distribution des huiles conditionnées, en passant par la production des charbons écologiques issue des grignons, la production de savons naturels, de produits d'hygiène ou encore de produits de soins cosmétiques à base d'huile d'olive. Sa structure intégrée et sa maîtrise totale de la culture oléicole en font un acteur incontournable du secteur de l'huile d'olive en Tunisie et dans le monde. Aujourd'hui, CHO est présent dans plus de 40 pays, et opère, par l'entremise de ses différentes structures et filiales, plus de 50 chaînes de productions réparties à travers le globe (CHO, 2022).

Si la maîtrise de la chaîne de valeur a permis au groupe CHO de faire varier l'offre de ses produits, la production des huiles d'olive en demeure le cœur de métier. Avec ses 4000 hectares d'oliveraies plantées et un volume de stockage qui avoisine les 30.000 tonnes, le groupe est capable de produire 70.000 bouteilles d'huile d'olives conditionnées par heure. Cela le place à la tête des producteurs et des exportateurs d'huiles d'olive conditionnées en Tunisie et dans la région du sud de la méditerranée, avec un taux d'exportations qui dépasse 55% du volume total national (CHO, 2022). L'entreprise est également à l'avant-garde de l'innovation et de la transformation digitale dans le secteur agricole. C'est d'ailleurs dans cette optique, et dans le but de propulser l'intégration verticale et horizontale de ses structures qu'elle s'est associée avec IBM pour intégrer les flux informationnels de sa marque phare d'huiles conditionnées sur la blockchain privée Food Trust. Cette initiative, destinée à promouvoir la transparence et la traçabilité des produits, en fait concrètement la première entreprise au monde à adopter un système de suivi basé sur les chaînes de blocs pour la production et le conditionnement des huiles d'olive⁷⁵.

⁷⁵ <https://newsroom.ibm.com/2020-01-14-CHO-Taps-IBM-Food-Trust-to-Provide-Insight-on-Quality-and-Origin-of-Terra-Delyssa-Extra-Virgin-Olive-Oil>

5.1.2 Objectifs du projet blockchain de l'entreprise

Les motifs derrière l'implémentation et le choix de la blockchain ont été abordés lors des entretiens avec les différentes structures de CHO, et plus précisément avec les hauts responsables du groupe⁷⁶. Les objectifs identifiés ont été classés en quatre catégories, dépendamment de leur impact projeté sur les processus opérationnels, de leurs dimensions et de leur portée stratégique. Il peut concrètement s'agir d'objectifs sociopolitiques, opérationnels, technologiques ou encore d'objectifs économiques. Certes, ces classes ne sont pas exclusives et se recoupent à plusieurs niveaux en raison de la nature lucrative de l'organisation et de l'impact transversal de la blockchain sur les processus. La catégorisation demeure toutefois utile en ce qu'elle permet d'étiqueter les attentes organisationnelles d'un projet blockchain et de mieux en cerner les forces.

L'objectif principal, que nous étiquetons de *sociopolitique*, est de répondre à une série de campagnes de dénigrement adressées aux producteurs et exportateurs d'huiles d'olive tunisienne. En termes de confiance, l'entreprise aspirait, à travers la mise en place de sa blockchain, à instaurer - ou restaurer - chez les clients et consommateurs internationaux une confiance initiale dans les huiles d'origine tunisienne, origine sur laquelle l'entreprise base son image de marque. Le point a été explicitement souligné par quatre cadres supérieurs, dont deux ont évoqué l'aspect de la confiance. Par exemple : « Pourquoi la blockchain en particulier? C'est l'ajout de la composante confiance » (Entrevue A1W, traduction libre); « l'objectif principal était d'instaurer chez les consommateurs internationaux une confiance dans l'huile d'olive tunisienne » (Notes manuscrites de l'entrevue R7S). En développant le sujet, nos répondants nous ont expliqué que la diffamation a commencé il y a presque 8 ans alors que les organisations tunisiennes commençaient à s'internationaliser et à s'imposer sur les marchés internationaux. La frustration des compétiteurs face à la menace causée par ces nouveaux entrants les a poussés, dans une optique de protectionnisme économique, à mener une propagande négative sur les procédés de fabrication et d'industrialisation oléicoles en Tunisie. S'étant retrouvé au milieu de la diffamation, CHO a misé sur la transparence et sur l'immutabilité de la blockchain pour faire comprendre au public que les campagnes de dénigrement ne sont pas fondées, et que ses huiles passent par des contrôles stricts à chaque étape de la production et de la transformation. « Ils ont voulu dénigrer l'origine de nos

⁷⁶ « Pour quelles raisons avez-vous décidé de mettre en place une solution blockchain, et Food Trust spécifiquement? - What were the main motives behind CHO's blockchain project? And why Food Trust specifically? »

huiles, nous avons répondu et nous l'avons valorisé », déclare Rim Makhloufi, la DGA du groupe CHO dans une entrevue publique réalisée sur une radio locale⁷⁷. Un directeur que nous avons rencontré nous explique également : « ce qui nous a poussés à entreprendre le projet, ce sont les campagnes de dénigrement majeures qui ont touché l'huile d'olive tunisienne, et qui ont été menées par les pays compétiteurs » (Entrevue B3Q, traduction libre). Un deuxième responsable du groupe développe sur le sujet des campagnes de dénigrement en précisant le rôle de la blockchain dans la lutte contre celle-ci :

La blockchain nous permet d'accéder à des marchés conservateurs et nous imposer face aux campagnes de diffamation. Elle permet d'accéder directement à notre consommateur et lui donner un choix véritable qui n'a pas été diffamé. Nous lui montrons que nous maîtrisons notre filière oléicole de bout en bout, que nous aussi faisons des analyses organoleptiques et physicochimiques, que nous aussi avons nos cahiers de charges à respecter contrairement à ce qu'on dit dans les médias, et que nous aussi suivons une procédure très stricte [...] c'était le but initial de la blockchain. (Entrevue B8W, traduction libre)

En plus de favoriser la création de la confiance auprès des consommateurs et des clients, deux de nos répondants ont souligné que le secteur de l'huile d'olive fait face à une crise globale de confiance, et que l'intégration de la blockchain visait à démystifier la position de l'entreprise au milieu de la crise : « il y'a énormément de fraude dans le secteur de l'huile d'olive, [et de la production de miel], et c'est opaque parce que les industriels ont généralement quelque chose à cacher » (Entrevue B8W, traduction libre). Un autre répondant a indiqué que « la traçabilité traditionnelle n'a pas abouti », impliquant que les pratiques conventionnelles de gestion et suivi dans le secteur de l'huile d'olive posent un problème au niveau de la fraude et du temps, et que l'utilisation de la blockchain permet d'y remédier (Notes manuscrites de l'entretien R7S).

Un troisième objectif identifié dans la catégorie sociopolitique est celui de la sensibilisation à la culture oléicole. En utilisant le module « Consumer » de IBM Food Trust, l'entreprise présente à ses consommateurs des aperçus vidéos de toutes les étapes de la production. Un directeur compare l'expérience du consommateur sur Food Trust à un « voyage virtuel à travers lequel il [le consommateur] assiste à toutes les étapes de fabrication » (Entrevue B3Q, traduction libre). Dans

⁷⁷ <https://fb.watch/fdSaqAVpuF/>

une étape subséquente du projet, l'entreprise désire capitaliser sur cet actif culturel pour concrétiser une ambition bien plus grande du groupe CHO qui est de développer un écotourisme basé sur la production des huiles d'olive. Notre répondant explique :

Sur la base de cette expérience qu'il [le consommateur] a vécue avec sa blockchain, il va vouloir vivre et assister à l'expérience dès qu'il est en Tunisie. C'est ça le concept de l'écotourisme, et c'est ça notre but ultime [...] c'est un point très important en matière de communication par rapport au consommateur. (Entrevue B3Q, traduction libre)

La sensibilisation ne vise pas uniquement les consommateurs, mais aussi les producteurs du secteur agricole. En effet, deux répondants ont précisé que le projet constitue un pas de plus vers la digitalisation des pratiques oléicoles en Tunisie, un secteur d'ailleurs qualifié de *primitif* à plusieurs reprises par l'un des directeurs. Celui-ci, en comparant les utilisations des technologies pour la production agricole en Tunisie et en Espagne, a insisté sur le manquement de l'État tunisien à prendre ses responsabilités en précisant que « CHO prépare le terrain pour l'avenir » (Notes manuscrites de l'entrevue R7S). Une autre dimension politique du projet est « l'encouragement des jeunes à travailler dans le domaine de l'agriculture et [le] soutien de l'urbanisation croissante » (Entrevue G4D).

Le deuxième axe d'objectifs visés par l'intégration de la blockchain que nous avons identifié lors de nos entretiens décrit les objectifs métiers, c'est-à-dire ceux qui touchent directement aux activités et opérations de l'entreprise. Parmi ceux-ci, la standardisation des processus opérationnels se présente aux premiers rangs. À ce sujet, un cadre exécutif a mentionné que l'entreprise cherchait essentiellement à « standardiser [ses] processus davantage, et avoir plus de rigueur au niveau de la documentation et la saisie des données » (Entrevue A1W, traduction libre). Un directeur de CHO a précisé que l'entreprise vise, par l'intégration de la blockchain, la maîtrise à la fois interne et externe de ses flux physiques et informationnels, et ce de bout en bout :

Ce que nous voulons ici à CHO, c'est assurer la maîtrise de la filière oléicole de bout en bout. Et lorsqu'on dit de bout en bout, ça inclut aussi la maîtrise interne, c'est-à-dire la traçabilité à l'intérieur de nos structures, à partir du moment que l'huile est réceptionnée dans nos unités jusqu'à ce que le produit fini soit expédié au client. (Entrevue B3Q, traduction libre)

Outre les objectifs socioculturels et opérationnels, l'intégration de la blockchain découle d'une ambition d'innovation technologique et de positionnement stratégique. Un cadre exécutif chez CHO a expliqué que le projet plaçait l'entreprise dans une position avant-gardiste dans l'industrie agroalimentaire où la blockchain jouerait un rôle clé. Il précise que le programme Food Trust a pour vision idéale la création d'un écosystème global qui connecte tous les acteurs de l'industrie, et que tous les efforts étaient mobilisés pour atteindre cet objectif. Malheureusement, toutes les initiatives ont été arrêtées et retardées par le contexte pandémique de la COVID-19, durant lequel les priorités stratégiques des organisations participantes ont changé:

On se lance dans ça avec la vision que demain, le QR deviendra un smart Code, et le Smart Code peut devenir RFQ, où, sans aucun code, à partir du moment où une bouteille rentre en magasin, le gestionnaire du magasin lui-même a toute la traçabilité de tous ses produits. C'est en principe ce que Food Trust envisage. Je pense aussi que les deux dernières années nous ont ralentis parce que toutes les priorités ont changé, et pour tout le monde. (Entrevue A1W, traduction libre)

Finalement, le projet blockchain a aussi une dimension économique. D'une part, « la transparence de la technologie facilite l'accès à des marchés conservateurs » (Entrevue B8W) et permet de répondre aux besoins d'une clientèle « de plus en plus exigeante et [qui] revendique l'authenticité et la transparence sur les origines des produits » (Entrevue G4D). D'un autre côté, nous avons remarqué que l'usage de la blockchain, et Food Trust spécifiquement, du fait de son caractère novateur et de l'effervescence médiatique autour de la plateforme, amène un rayonnement publicitaire positif à toute compagnie adhérente. Cela permet également de se démarquer de la concurrence et d'augmenter la réceptivité des produits commercialisés auprès des chaînes de ventes de détail et des consommateurs. D'ailleurs, un directeur de CHO a commenté que le lancement du projet a eu une incidence instantanée sur la réputation de l'entreprise auprès de la communauté agroalimentaire internationale, ce qui s'est reflété sur les ventes et la rentabilité des produits (Notes manuscrites de l'entrevue R7S). Un autre responsable des ventes et des opérations ajoute :

C'est un très bon argument de vente pour l'acheteur, la chaîne de distribution avec laquelle nous travaillons, comme [chaîne A] [chaîne B]. Nous leur expliquons le processus de la blockchain et ils ont tendance à aimer. [...] Donc ça donne envie et ça donne confiance à nos clients dans le produit et c'est exactement ce que nous attendions de la blockchain. (Entrevue O5W, traduction libre)

Il est aussi intéressant de voir que les objectifs économiques peuvent être interprétés à travers le prisme de la confiance relationnelle, où ils refléteraient l'aspiration de l'entreprise à transformer la nature du lien relationnel avec ses consommateurs. Cette relation, conventionnellement basée sur l'émergence d'une confiance initiale à caractère calculatoire au sens de (Lewicki et Bunker, 1995), peut se développer sur la base de la connaissance et/ou l'identification.

5.1.3 Modélisation de la chaîne d'approvisionnement à l'étude

Comme toute chaîne d'approvisionnement, la chaîne oléicole de CHO peut être décomposée en trois segments, reliés par un continuum de flux physiques, informationnels et financiers. Les flux physiques se superposent avec le cycle de vie des huiles durant ses différentes étapes de production. Ils sont soutenus par des documents maîtrisés, des analyses de contrôle ainsi que des contraintes systématiques qui mettent en œuvre les procédures de l'entreprise le long du processus oléicole. Les flux financiers reflètent les mouvements de la trésorerie. Ces derniers ne feront pas l'objet de la présente analyse étant donné qu'ils ne sont pas pris en charge par la blockchain. La figure 5.2 schématise les dynamiques relationnelles et mouvements de flux entre les différentes catégories d'acteurs de la chaîne d'approvisionnement à l'étude.

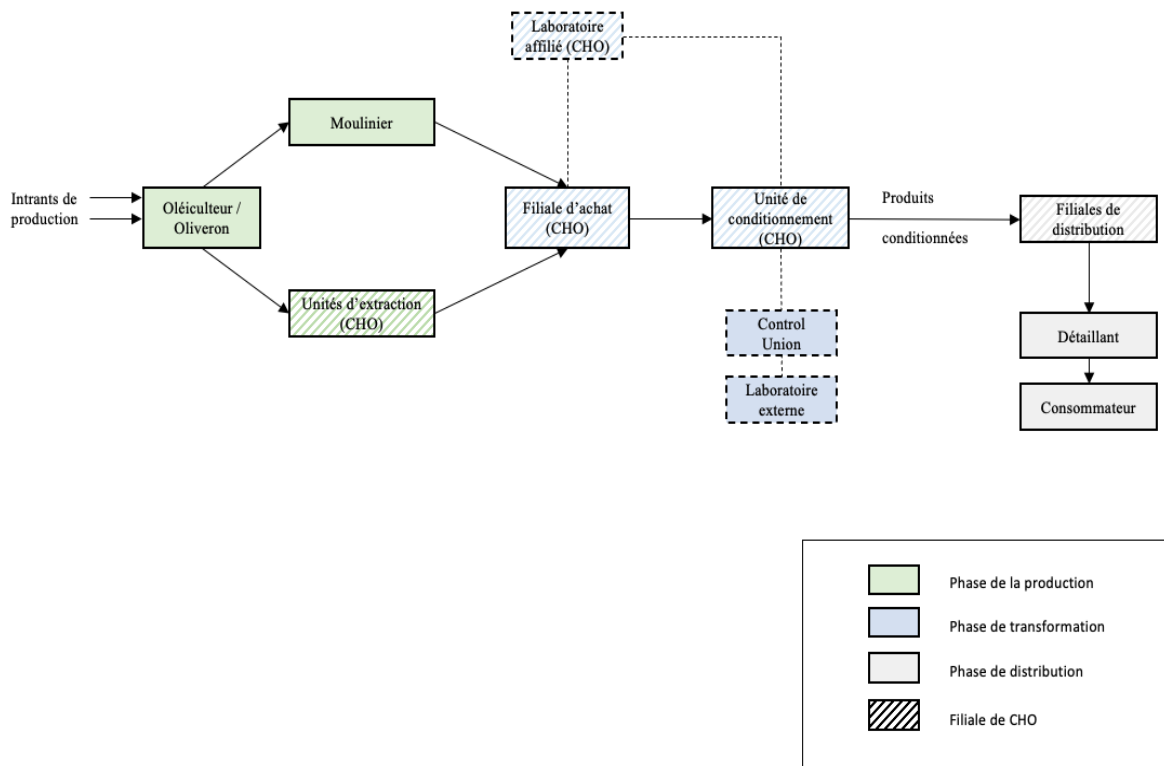


Figure 5-2 Modélisation des flux relationnels et des acteurs au sein de la chaîne d’approvisionnement oléicole du groupe CHO (notre illustration, adaptée d’une documentation interne)

L’amont de la chaîne d’approvisionnement (représenté en vert dans la figure 5.2) renvoie à la production des huiles à l’état brut, et décrit plus précisément la récolte des olives et l’extraction à froid des huiles. Une partie de la production oléicole est gérée à l’interne par les filiales de production et les unités d’extractions affiliées au groupe CHO. Parce que la quantité produite à l’interne ne couvre la demande des clients, elle est complémentée par une offre locale, tant en olives entières et en huiles à l’état brut. Cette quantité est fournie par des producteurs et des fournisseurs externes (CHO, 2022).

Le cycle de transformation (représenté en bleu dans la figure 5.2) commence lorsque l’huile brute parvient aux filiales d’achat de CHO, où elle sera entreposée dans des conditions adéquates de stockage. Chaque lot acheté est accompagné d’un *document maîtrisé* qui décrit les caractéristiques de l’huile achetée et des olives utilisées lors de la trituration (ex : date et région de la récolte, date

de l'extraction, etc.). Les informations qui se rapportent à la phase de production sont fournies par le vendeur d'huiles au moment de la transaction. Lors de la réception par la filiale d'achat de CHO, des analyses de contrôles sont effectuées par l'équipe de qualité du site de conditionnement pour s'assurer de la conformité de l'huile réceptionnée. Cinq de nos répondants ont confirmé que les analyses sont réalisées sur toutes les huiles achetées par la filiale d'achat, y compris celles qui proviennent des unités d'extraction affiliées au groupe. Nous en citons à titre indicatif: « Aucune huile ne sera achetée qu'après vérification de sa conformité aux normes, soit à toutes les normes externes ainsi que les limites internes que nous avons fixées au sein du groupe » (Entrevue Q9X, traduction libre). L'activité suivante est une étape de garantie de profil, à travers laquelle les lots individuels, déjà testés, sont consolidés pour former un seul lot mère d'huiles. Cette activité est réalisée par un laboratoire compétent affilié au groupe et est contrôlée à travers une série d'analyses physicochimiques et sensorielles (organoleptiques). Aussitôt que les critères de la qualité sont attestés conformes par le laboratoire, un deuxième document maîtrisé est émis et le lot mère nouvellement formé est transporté aux unités de conditionnement du groupe CHO, où il sera de nouveau testé, puis transféré à l'étape de la filtration. Chaque filtration est soutenue par des analyses de contrôle et d'autres documents maîtrisés qui décrivent les caractéristiques de l'huile. Elle est suivie par une activité de transformation qui correspond à la mise en bouteille. Les bouteilles conditionnées passeront par un contrôle ultime de la qualité, du goût et de la conformité. Trois entités interviennent dans ce dernier processus de contrôle : d'abord, un tiers certifié prélèvera et scellera des échantillons aléatoires à partir des huiles conditionnées. Un premier lot d'analyses sera réalisé à l'interne par le laboratoire affilié à CHO. Certains échantillons scellés seront en plus transportés à un laboratoire international externe pour confirmer la conformité des analyses et de la qualité des huiles. Le cycle de transformation prend fin lorsque la qualité des échantillons est attestée conforme aux normes internes et externes par les deux entités d'analyse. Cela déclenche une troisième phase de distribution, dont les activités sont gérées par l'entremise des filiales de CHO à l'international. Ces dernières, dont nous avons rencontré CHO France et CHO America, sont responsables des commandes, de la distribution et de la livraison des produits finaux aux chaînes de vente au détail, qui à leurs tours, assureront la vente définitive aux consommateurs. Les deux figures suivantes (5.3 et 5.4) représentent le logigramme des activités du processus oléicole de CHO, depuis l'achat jusqu'à la distribution finale des produits. Celui-ci a été produit en combinant des documents internes et les données collectées en entretien. À des fins

de clarté visuelle, le logigramme a été divisé en deux sous-processus. Le premier regroupe les activités de la production et de la transformation des huiles (figure 5.3), tandis que le deuxième illustre le sous-processus de distribution (figure 5.4).

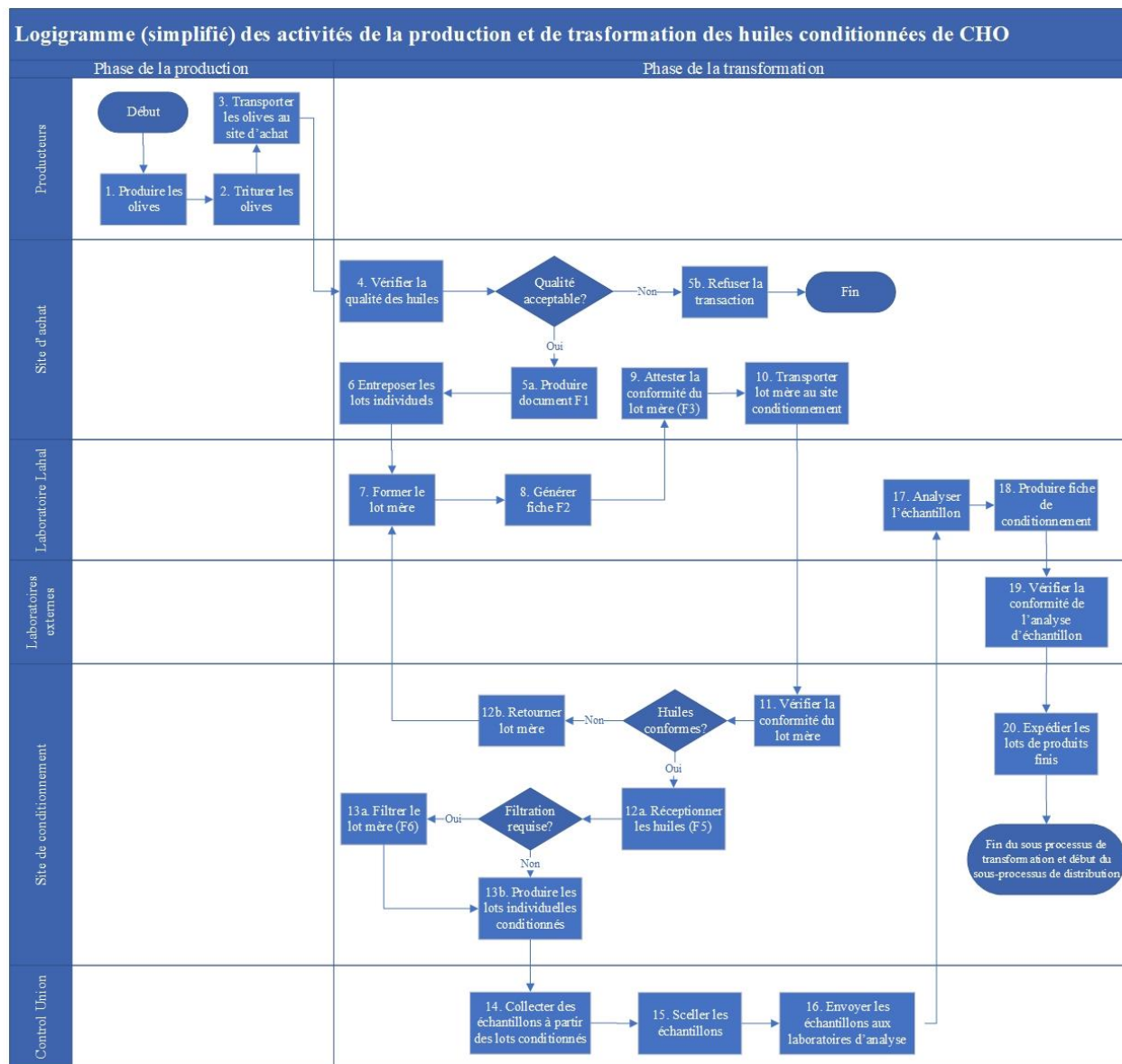


Figure 5-3 Logigramme simplifié des activités de la production et de la transformation des huiles conditionnées de CHO

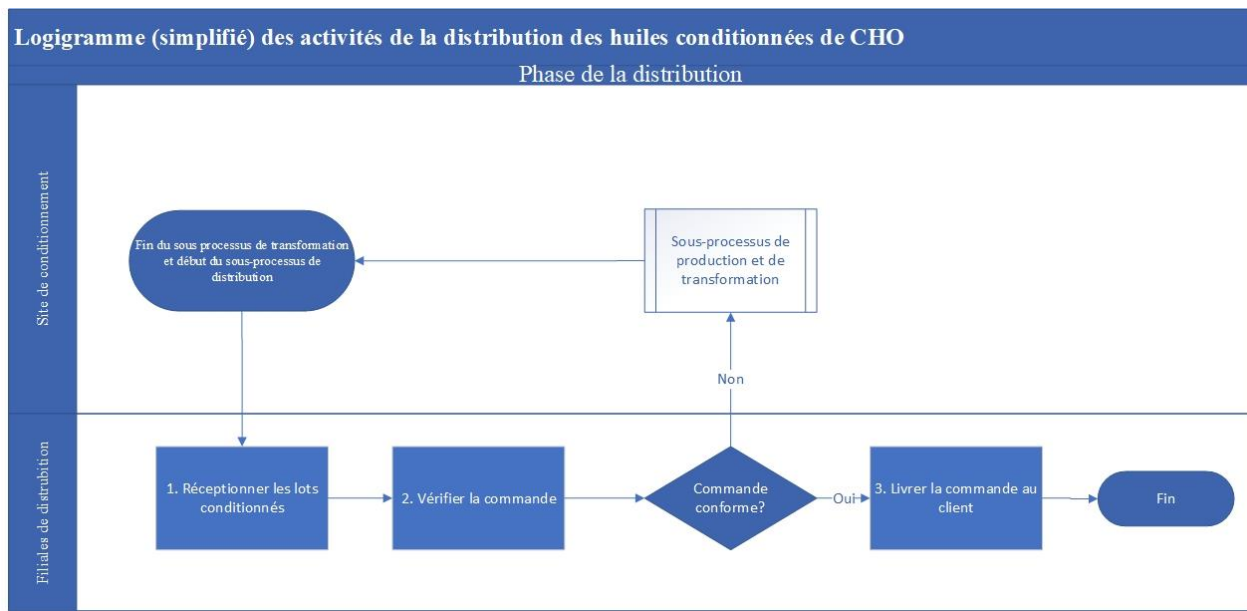


Figure 5-4 Logigramme simplifié des activités de la distribution des huiles conditionnées de CHO

5.1.4 Modélisations de la chaîne logistique et des flux d'informations

Selon les documents internes obtenus et nos répondants, CHO publie toutes les données qui se rapportent aux phases de la production et de la transformation des huiles Terra Delyssa sur la blockchain Food Trust d'IBM. Les informations sont agencées autour de huit points de contrôle, et chaque point traduit une activité spécifique du processus oléicole en un évènement EPCIS, conformément aux exigences de la blockchain. Les variables de chaque évènement (what, when, where, etc.) sont renseignées par les documents maîtrisés générés à chaque étape du processus oléicole. Les « *master data* » du processus sur Food Trust (les identifiants des unités organisationnelles des acteurs, etc.) sont ceux définis lors de l'intégration de la solution blockchain. Les identifiants des lots sont générés automatiquement à chaque fois qu'une commande est communiquée à CHO Company via ses filiales de distribution à l'international, celles-ci étant responsables de toute activité commerciale.

Le premier point de contrôle sur la blockchain (le point numéro 1 dans la figure 5.5) est un évènement de commission à l'issue duquel une trace des olives récoltées est créée dans le système.

Il est suivi par un évènement de transformation (point numéro 2) qui décrit l'activité de trituration. Un évènement d'observation est également créé au moment de la transaction pour attester de la qualité et de la conformité des huiles achetées aux normes externes et internes du groupe. Tous les points de contrôle subséquent se rapportent aux activités du segment de la transformation. Le stockage des huiles dans les filiales d'achat, par exemple, est décrit par un évènement de transformation dont les variables correspondent à l'emplacement du site et la date d'admission de l'huile. Un autre évènement de transformation traite de la création du lot mère. Il est soutenu par une observation qui spécifie les résultats des analyses organoleptiques et physicochimiques et un document maîtrisé qui atteste de la conformité des procédures et des documents. Le dernier point de contrôle sur la blockchain est un évènement d'agrégation qui décrit la date à laquelle les huiles emballées ont été libérées par l'unité de conditionnement en direction des filiales de distribution. L'illustration 5.5 met en contexte les événements EPCIS et leurs correspondances avec les activités du processus oléicole.

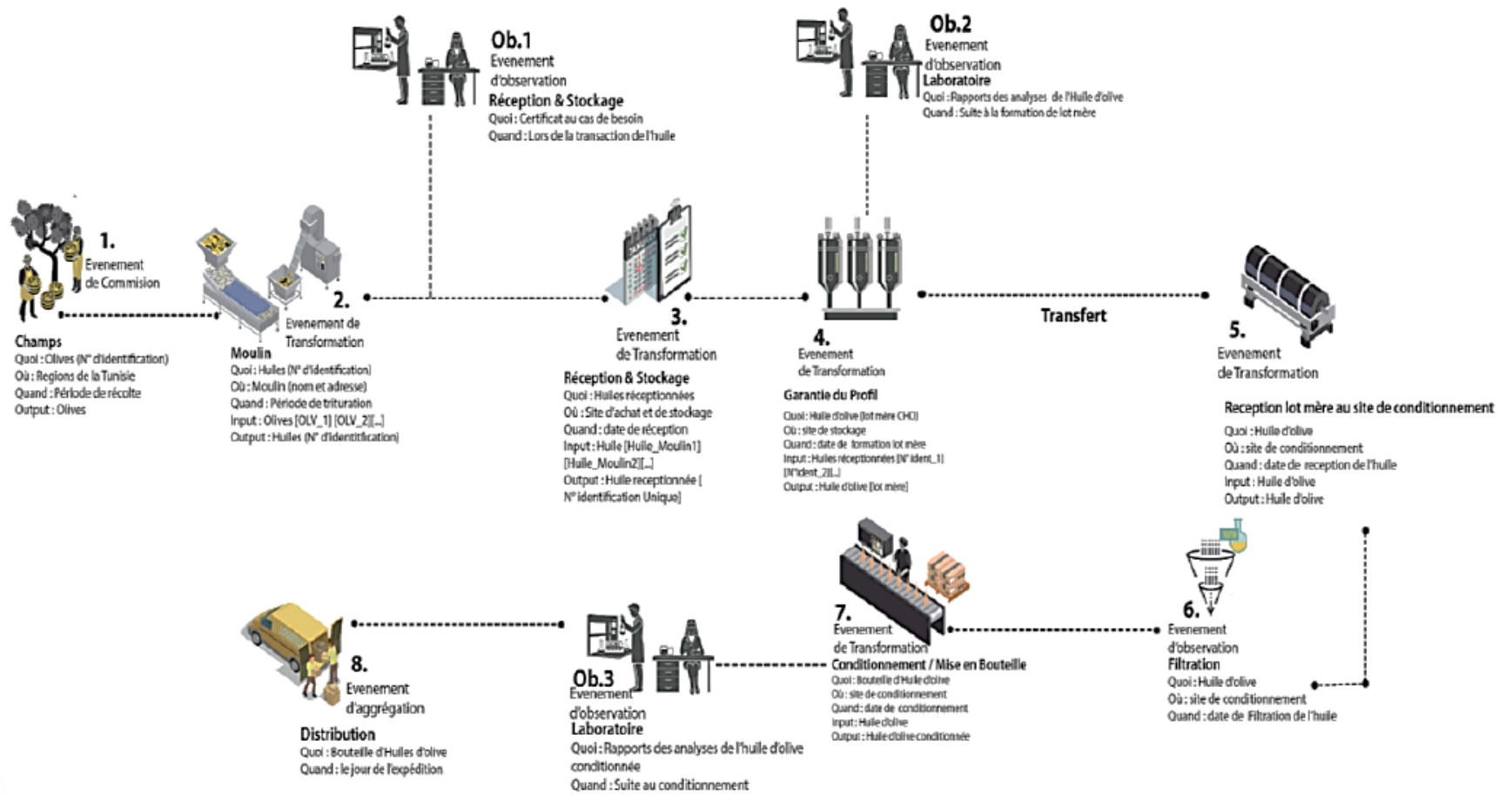


Figure 5-5 Séquencement des flux informationnels sur la blockchain (source: documentation interne)

Du côté du consommateur, une invitation à consulter la traçabilité des produits qu'ils achètent est envoyée via un code QR figurant sur l'étiquette de chaque produit Terra Delyssa. Ce code redirige vers une application web intitulée « Terra Delyssa Track » connectée au registre immuable de Food Trust (IBM-Newsroom, 2020). L'application est aussi accessible à partir du site web de CHO. Elle utilise le module *consumer* et l'API « Consumer Trace » des couches applicatives et connectives de IFT, et donne au consommateur un accès permissionné à un flux restreint d'informations sur le lot de produit qu'il scanne. Un aperçu de l'interface consommateur que nous avons généré en testant l'application web est d'ailleurs présenté à la figure 5.7. Une deuxième interface web de traçabilité, dédiée aux partenaires de CHO, leur donne accès à un deuxième palier d'informations plus détaillées comme des documents de contrôles et des analyses. Soulignons dans ce contexte que CHO utilise le module « *documents* » qui permet de partager des documents sur le registre de IFT et d'y accéder. L'enregistrement de ces documents se fait également en suivant la logique des événements EPCIS. Un participant explique que tout document numérique (qu'il s'agisse d'un rapport d'analyse émis par un laboratoire, une attestation de la conformité, etc.) sera téléversé sur les serveurs infonuagiques d'IBM, où il sera horodaté et haché. Le hash correspondant prendra la variable « *how* » de l'évènement EPCIS auquel le document est associé, qui sera stocké de manière définitive sur la blockchain une fois l'évènement ajouté: « Advenant que quelqu'un veuille modifier un document qui a déjà été associé à un évènement, elle [la modification] sera impossible à moins de le faire en addition », nous explique le participant. « Toute modification, et toute opération frauduleuse, et toute altération devient traçable », ajoute-t-il (Entrevue W2T, traduction libre).

À l'heure actuelle, CHO exporte l'intégralité de ses flux informationnels sur la blockchain à la fin du cycle de transformation, c'est-à-dire juste avant l'expédition des lots conditionnés. Cela signifie concrètement que toutes les données sont d'abord consolidées dans une base de données interne, à partir de laquelle est effectuée la migration vers le registre de IFT. Cette base de données (qui est interne, nous tenons encore à le préciser) est alimentée via une application web intégrée nommée « *traçabilité* » qui a été développée sur mesure lors de la mise en œuvre de la solution blockchain. La saisie des données sur cette application se fait de manière progressive tout au long de la réalisation des activités du processus. Elle est gérée par « des personnes qualifiées de l'équipe qualité », dispersées à travers les différentes filiales du groupe, à savoir les sites d'achat, de conditionnement et au niveau du laboratoire interne de CHO (Entrevue Q9X). Chaque point de

contrôle sur la blockchain correspond à une saisie d'informations sur l'interface web, et chaque saisie est soutenue par un document maîtrisé et/ou des rapports d'analyse. Les informations sur les activités de la production, par exemple, sont entrées au niveau de la filiale d'achat lors de l'admission de l'huile. Les rapports d'analyses sont directement téléversés par le laboratoire affilié à l'entreprise, de la même manière que les données relatives à la filtration et la mise en bouteille sont saisies au niveau du site de conditionnement. En ce qui concerne les laboratoires externes, ces derniers n'ont pas accès à l'interface « *traçabilité* ». Ce sont donc les qualitatifs qualifiés du groupe qui saisissent les détails des analyses effectuées par les tiers et qui soumettent les rapports sur l'application. Aussitôt qu'une saisie a été validée et enregistrée, le système traduit systématiquement les enregistrements de données en événements EPCIS ce qui facilite leur exportation sur la plateforme de IFT. Toutefois, CHO a fait de sorte que le transfert des flux, depuis ses serveurs internes vers le registre, se doit d'abord d'être approuvé et validé manuellement par une entité de confiance en back-office, d'où la réalisation de l'opération en amont de la chaîne d'approvisionnement. Cet individu a pour unique responsabilité de vérifier que toutes les données, qui ont été saisies sur l'application le long du processus oléicole sont conformes, et de s'assurer que les documents de contrôle et d'analyse sont correctement annexés. À ce titre, il n'a pas les permissions de modifier ou saisir des informations sur l'application interne de CHO, mais simplement de valider l'exportation des données sur la plateforme blockchain, ce qui entraînera leur écriture définitive sur le registre de IFT. Selon un directeur du groupe, la centralisation de l'exportation des flux sur la blockchain ajoute un palier de vérification supplémentaire et nécessaire, avant la libération finale des lots, sachant que toutes les saisies ont été effectuées lors du séquençement des activités (Entrevue B3Q). Elle permet également à l'entreprise de garder le contrôle sur ses données et sur ses processus jusqu'à ce que les lots conditionnés soient prêts à l'expédition (Entrevue B8W). Une illustration simplifiée du mouvement des flux informationnels est présentée ci-dessous :

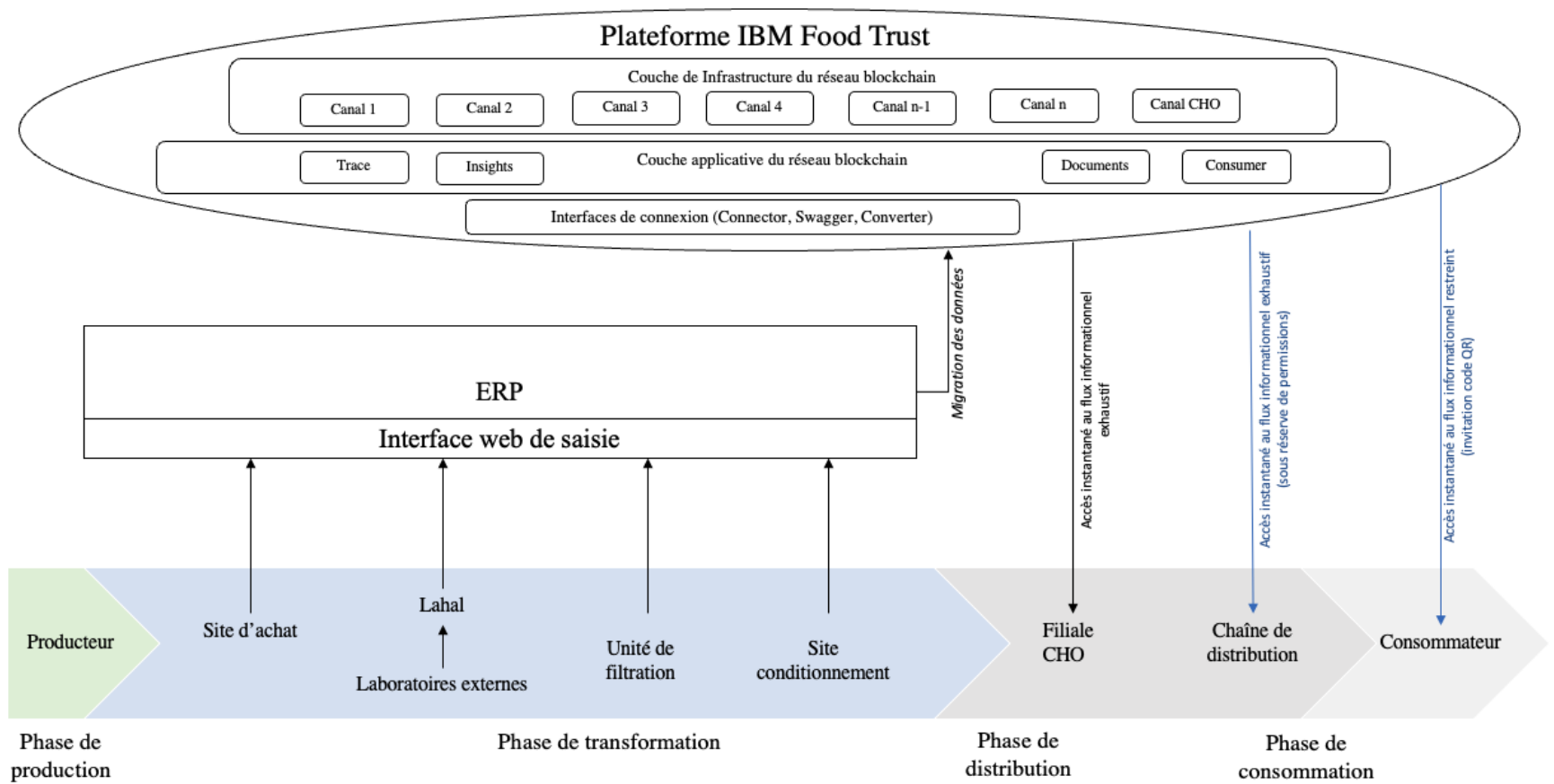


Figure 5-6 Illustration simplifiée des flux informationnels entre les systèmes et acteurs de la chaîne d'approvisionnement (notre illustration)

CHO a également instauré un ensemble de contraintes systématiques le long de la chaîne d'approvisionnement afin de renforcer ses procédures et d'encadrer le flux d'activités. Premièrement, toutes les données enregistrées sur l'application doivent d'abord être vérifiées, puis validées par l'ajout des documents maîtrisés qui attestent la validité des enregistrements saisis (Entrevue Q9X). Deuxièmement, le système est programmé pour bloquer le mouvement des flux lors de la transition d'une phase à l'autre si la procédure interne de CHO n'a pas été respectée : « Une première barrière se trouve au niveau de la réception des huiles », nous a-t-on expliqué lors d'un entretien réalisé avec un directeur du groupe. « La deuxième est juste avant le conditionnement pour vérifier que l'huile correspond aux critères de qualité recherchés et qu'elle peut être mise dans une bouteille, et la troisième barrière est à l'expédition finale » (Entrevue B3Q, traduction libre). Il peut s'agir par exemple, d'un oubli de saisie sur l'application, d'un résultat d'analyse non conforme aux standards internes et externes du groupe, ou encore d'une saisie non validée par un responsable de l'équipe de qualité avant la libération du lot. Chacun de ces événements entraînera le verrouillage de toute la chaîne logistique et la suspension systématique des flux. Un participant explique « Tu ne pourras passer d'un nœud à un autre nœud, dans ton processus flow, que si l'output du nœud précédent est validé. Enregistré et validé. L'application ne te laissera pas passer si elle n'est pas validée » (Entrevue Q9X)⁷⁸. Un deuxième participant ajoute : « C'est toute la chaîne qui devient verrouillée par le système [et] c'est impossible de le forcer ! Le seul moyen de libérer le flux physique, c'est de soumettre les documents et de t'assurer qu'ils sont valides » (Entrevue B3Q, traduction libre).

Il convient également de souligner que toutes les saisies sur l'application web sont irrévocables pour l'entité qui en est responsable, ce qui fait qu'il n'est plus possible pour les acteurs de la chaîne de modifier ou de supprimer des documents et des données une fois qu'ils ont été validés dans leurs nœuds respectifs. Si jamais une erreur survient, une réclamation écrite doit être formulée à la direction de l'entreprise avec une explication détaillée du problème. À ce moment-là, une équipe spécialisée de la direction évaluera la demande de dérogations et prendra les mesures nécessaires (Entrevue Q9X ; B3Q). En réalité, ce n'est que lorsque nous avons appris que les entrées de données pouvaient être modifiées par dérogations spéciales que nous avons compris que

⁷⁸ Dans ce contexte lexical, le terme « Nœud » correspond à un point de saisie (ou de contrôle) dans la chaîne d'approvisionnement.

l'application web n'est pas directement connectée à la plateforme IBM Food Trust et que les données sont d'abord stockées sur une base de données interne. Au-delà de cette différence, tous les autres mécanismes de la chaîne logistique décrits par nos répondants répliquent le fonctionnement de la blockchain : les permissions d'accès au système, les barrières systémiques à la libération des flux, l'irrévocabilité de la saisie, la logique de la conversion EPCIS, etc. Il en est même que certains répondants réfèrent à l'interface web de « *système blockchain interne* » et « *application blockchain* ». Aussitôt que nous avons remarqué une incohérence dans les réponses, nous avons explicitement demandé à un membre de l'équipe blockchain de clarifier la nuance⁷⁹. La réponse obtenue a permis de confirmer nos doutes :

Nous avons créé un système spécifique qui reproduit exactement le même concept de la blockchain. C'est un flux direct de données qui commence avec l'achat des huiles et la création des lots achetés avant même de créer le lot mère. (Entrevue W2T, traduction libre)

Finalement, il a été porté à notre attention que l'implémentation actuelle de la blockchain correspond à la première des trois phases du projet de l'entreprise, qui applique les fondements de la méthode agile dans le cadre de l'implémentation de sa blockchain. Parmi les avantages de cette approche, notre répondant cite la réduction de la complexité du projet et le raccourcissement de ses délais que nous retrouvons dans l'extrait suivant :

Nous avons tout de même choisi de « blockchainiser » notre processus en appliquant la méthode agile et nous nous sommes lancés dans le projet! Pour moi, c'est simple. Si nous ne décidons pas de commencer quelque part et d'améliorer les procédures en continu par la suite, nous ne commencerons jamais. Ça nous prendra plus de 20 ans pour commencer si nous décidons d'attendre que la culture technologique suive et que

⁷⁹ La prise de connaissance de la révocabilité des données a entraîné un changement radical dans notre approche du cas CHO. Concrètement, les deux premières rencontres portaient à croire que la solution blockchain était intégrée sur l'ensemble de la chaîne logistique et que les enregistrements transactionnels étaient consolidés sur le registre de Food Trust en temps réel. La révocabilité signifiait les références « système blockchain interne » et « application blockchain » étaient connectées à une base de données locale, chose que nous avons aussitôt confirmé et validé auprès de nos répondants. Nous avons ensuite orienté notre recherche pour comprendre pourquoi l'entreprise a opté pour une telle approche, et les implications de cette centralisation intra-organisationnelle (et de la décentralisation qui est envisageable dans une étape subséquente du projet) en termes de confiance technologique et sociale.

la confiance s'établit. Il vaut mieux appliquer la méthode Lean: launch, learn and improve. Tout peut s'améliorer après. (Entrevue W2T, traduction libre)⁸⁰

La prochaine phase du projet se veut étendre la chaîne logistique en amont et en aval, de manière à y inclure les producteurs de matières brutes dans un premier temps, puis à consolider ses flux avec ceux de ses partenaires commerciaux. La réalisation de cet objectif se heurte à des contraintes à la fois environnementales, technologiques, sociales et institutionnelles, que nous analyserons sous l'angle de la confiance dans les prochaines sections. Concrètement, toute barrière à l'évolution du projet peut être indicative des antécédents de la confiance qui sont nécessaires pour passer à la prochaine phase, ce qui les rend particulièrement pertinents pour l'objet de notre recherche. Dans un dernier temps, l'entreprise vise l'intégration systématique des flux informationnels et l'automatisation complète de la saisie des données sur IFT le long de la chaîne d'approvisionnement.

⁸⁰ Le Lean, ou plus explicitement le Lean Management est méthode de gestion qui s'inspire de la philosophie agile et qui a été popularisé par l'invention du TPS, ou Système de production de Toyota en 1948. Le TPS avait pour but de faciliter la production des véhicules et d'améliorer les relations entre fournisseurs et clients. Depuis, plusieurs versions du l'approche Lean sont apparus. La version référencée par notre participant celle de la Lean Startup, qui stipule que la meilleure manière de réussir un projet ou une activité économique est par la mesure et le design itératif et l'apprentissage expérimental. Cela peut être achevé en répétant trois cycles continus et itératifs :Build – Mesure – Learn.

5.2 Analyse exploratoire de la confiance dans la chaîne d’approvisionnement

5.2.1 Antécédents de la confiance technologique dans l’artefact de la blockchain privée

L’interrogation sur la confiance technologique revient essentiellement à raisonner sur la performance de l’artefact et sur la perception, de ses utilisateurs, de sa capacité à répondre aux attentes organisationnelles et individuelles. Dans notre cas, ce raisonnement revient essentiellement à évaluer la satisfaction globale des acteurs de CHO vis-à-vis de la blockchain et sa performance, et à identifier les attributs technologiques qui contribuent à l’atteinte des objectifs du projet de l’entreprise. Pour ce faire, nous avons confronté les réponses de nos répondants au volet technologique de notre cadre conceptuel, ce qui a permis d’analyser la fiabilité de l’artefact technologique sous trois angles : la fonctionnalité, la prévisibilité et la commodité (la partie de droite de la figure 3.2). Il convient de souligner que nous avons également généralisé notre analyse pour tenir compte de leurs perceptions futures de l’évolution future du projet blockchain de CHO. Ce raisonnement est justifié, d’un côté, par le fait que les attentes sont évolutives et qu’elles sont non contraintes par un facteur temps. En effet, si la technologie répond aux besoins actuels de l’organisation, cela ne signifie pas nécessairement qu’elle performera lorsque le projet évoluera et que la blockchain prendra d’autres formes. D’un autre côté, notre recherche ne s’adresse pas uniquement à CHO, mais également aux communautés scientifiques et agroalimentaires qui s’intéressent aux usages de la blockchain et à la confiance technologique. Ainsi, toute anticipation de contraintes, de problèmes avec la technologie ou de performance projetée peut contribuer aux connaissances sur le sujet.

5.2.1.1 Attribut de la fiabilité de l’artefact blockchain : La fonctionnalité

Lorsque questionnés sur la performance globale de la blockchain, six sur nos neuf participants ont répondu être satisfaits de ses fonctionnalités et ont indiqué que la blockchain répondait globalement aux attentes organisationnelles et individuelles⁸¹. Parmi les réponses obtenues, nous citons : « même si notre blockchain est relativement récente et que le projet a démarré en 2019/2020, je dirais qu’elle répond à nos attentes et à nos besoins et que nous sommes satisfaits de sa

⁸¹ Les réponses obtenues répondaient à la question suivante : « Comment décririez-vous la performance de Food Trust jusqu’à présent? - How would you describe Food Trust’s performance so far? »

performance » (Entrevue B8W, traduction libre) ; « Nous sommes très satisfaits des performances générées par la blockchain » (Entrevue G4D); « le système est complet comme il est en ce moment [...] pourquoi devrait-on le changer ? » (Entrevue O5W, traduction libre). En plus de la performance globale perçue, cinq de nos répondants ont indiqué que les consommateurs sont grandement satisfaits du système, satisfaction dont ils témoignent en laissant des commentaires sur l'application Web de « Terra Delyssa Track ». Certes, nous ne pouvons pas nous prononcer pour les consommateurs étant donné que notre recherche se limite aux segments de la chaîne d'approvisionnement gérés par CHO et ses filiales et que nous n'avons pas réussi à capturer la perspective des clients. L'avis de nos répondants sur le ressenti de ces derniers peut toutefois donner des indications sur le niveau de confiance qu'ils accordent à la technologie, surtout que ce ressenti est basé sur des rétroactions concrètes et sur un retour de commentaires. Parmi les réponses obtenues: « Nous recevons quotidiennement des messages de satisfaction et de félicitations concernant cette initiative. Nos consommateurs semblent ravis de découvrir la traçabilité de nos produits et l'histoire de leurs bouteilles. Cette initiative est largement appréciée » (Entrevue G4D) ; « On sait via les feedbacks de nos consommateurs sur l'application blockchain qu'ils apprécient cette initiative » (Entrevue B3Q, traduction libre).

À la suite de l'analyse des réponses de nos répondants, nous avons constaté que leur appréciation globale de la blockchain relève d'une perception positive de certaines de ses caractéristiques inhérentes, notamment celles de la transparence, la traçabilité, l'immutabilité, de même que l'aspect modulaire de Food Trust⁸². Nous interprétons ces caractéristiques comme des fonctionnalités qui suscitent l'émergence de confiance dans l'artefact blockchain appliqué aux chaînes d'approvisionnement alimentaire. En revanche, nous avons aussi constaté que la blockchain faisait défaut sur certains plans fonctionnels et technologiques, défauts que nous interprétons concrètement comme des antécédents de la méfiance. Les principaux points soulevés par nos répondants sont liés à la complexité du système blockchain, son interopérabilité avec les systèmes existants, et le manque de flexibilité de la technologie. Nous développerons sur chacun des antécédents de la confiance et de la méfiance dans les prochaines sous-sections en mettant en

⁸² Les attributs identifiés répondent à la question suivante : Quels aspects de la blockchain Food Trust sont, selon vous, les plus importants pour la chaîne oléicole de CHO spécifiquement? et pour les ASC de manière générale? - Which aspects of the Food Trust Blockchain do you believe are most important for CHO's supply chain specifically? And ASC in general? »

perspective l'opinion et l'avis de nos répondants sur chaque sujet. Pour des fins de clarté et de structure, les aspects fonctionnels seront présentés linéairement.

5.2.1.1.1 La transparence au profit de la confiance technologique

Nous entendons par la transparence, le degré de compréhension partagée des états et la facilité à laquelle les acteurs de la chaîne d'approvisionnement peuvent accéder à une information de qualité, sans que cet accès n'entraîne une perte, un retard ou une distorsion pour les autres entités. Cette caractéristique a été mentionnée par tous nos répondants qui l'identifient comme l'un des principaux atouts des systèmes blockchains appliqués aux chaînes d'approvisionnement alimentaire. Ceci était d'ailleurs attendu, considérant que l'objectif principal du projet est de lutter contre la diffamation et les campagnes de dénigrement.

La perception de nos répondants vis-à-vis de cette variable a été exprimée de plusieurs façons, avec des mentions souvent associées à d'autres fonctionnalités de la blockchain telles que l'immutabilité et la traçabilité. La plupart répondaient à notre question sur la valeur ajoutée des blockchains dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire. Certaines répondent à d'autres questions sur l'impact de la technologie sur la relation entre les partenaires. Dans le souci de garder une structure et de préserver la cohérence de notre chaîne argumentaire, la transparence de la blockchain a été analysée selon sa contribution aux attributs de la qualité d'une information qui sont représentés par sa temporalité, son contenu et sa forme. En lien avec cette première caractéristique, plusieurs de nos participants ont souligné que la blockchain répond aux critères de la fréquence et de l'opportunité d'une information, c'est-à-dire que la technologie permet un accès immédiat et opportun à une information actualisée: « Food Trust fait que toute ton information est là. C'est disponible et c'est rapidement accessible et c'est visible pour tout le monde » (Entrevue A1W, traduction libre) ; « Elle contient l'ensemble des documents et des rapports qui ont été publiés sur la base de données. Le client peut les consulter à tout moment et ça lui garantit la traçabilité complète du produit » (Entrevue B3Q, traduction libre); « L'information est là pour tous ceux qui veulent y accéder » (Notes manuscrites de l'entrevue R7S).

En ce qui concerne le contenu de l'information, la technologie permet certainement d'accéder à une information exacte et exhaustive. Il convient toutefois de souligner que le contrôle du contenu

demeure sous la discrétion de l'entité propriétaire du canal qu'elle exerce via le module « Users » en modifiant les permissions d'accès de chaque groupe d'utilisateurs participant. Cette flexibilité permet à l'entreprise de garder une certaine maîtrise sur les flux informationnels dans son canal et d'adapter le contenu qu'elle partage avec les autres membres de son canal à ses besoins organisationnels. Dans le cas de CHO, par exemple, l'entreprise a choisi de ne pas donner à ses consommateurs l'accès à des documents d'analyse et de contrôle en arguant qu'ils ne sont pas assez habilités et familiers avec le processus oléicole et ses activités pour comprendre ces documents (Entrevue B3Q), et que l'entreprise ne veut pas submerger ses consommateurs d'informations inutiles qu'il ne comprendra pas (Entrevue W2T). Le fait demeure toutefois que toute l'information complète est disponible sur Food Trust et que l'entreprise peut modifier les permissions du groupe des consommateurs à tout moment, si jugé nécessaire. Un directeur explique :

Le jour où nous observerons qu'il y'a un réel besoin de leurs [les consommateurs] accès aux documents, et que le nombre de demandes que nous recevons via les feedbacks est devenu non négligeable, c'est là qu'on envisagera de le faire sur l'application consommateur. (Entrevue B3Q, traduction libre)

Il ajoute que le contenu actuel partagé suffit pour concrétiser la vision à long terme de l'entreprise et répondre à l'un des objectifs stratégiques et culturels du projet, qui est d'ancrer les consommateurs internationaux d'une culture oléicole :

On parle-là de susciter la curiosité du consommateur et d'instaurer chez lui l'idée de l'écotourisme et tout ça. C'est ça qui est bien avec la blockchain [...] Soyez-en certain, si ce n'était pas pour le contexte pandémique actuel, je vous garantis que les consommateurs désireux de voyager voudront vivre l'expérience. (Entrevue B3Q, traduction libre)

Outre la temporalité et le contenu des flux, la transparence des blockchains répond aussi aux critères de la forme d'une information. Lors de l'essai de l'application consommateur, nous avons consigné que l'information y est clairement présentée, que l'ordre de présentation correspond au séquençement des flux et que le format combine des textes, des images et des vidéos illustratives du processus de production : « C'est présenté de sorte que le client puisse assister à l'expérience [oléicole] du début jusqu'à la fin », nous a expliqué un responsable des ventes et des opérations (Entrevue O5W, traduction libre). Un directeur compare l'expérience client sur FoodTrust à celle d'une usine de fabrication de diamants qu'il a visitée, où les consommateurs peuvent visualiser le

processus de fabrication dans son intégralité à partir d'une galerie jumelée à l'usine : « La blockchain nous a permis de reproduire ce même concept [...] Celui qui n'avait aucune intention d'acheter le devient systématiquement et spontanément » (Entrevue B3Q, traduction libre). La figure suivante est une capture d'écran de l'interface de traçabilité pour consommateurs, qui utilise les fonctionnalités du module « Consumer » de Food Trust.

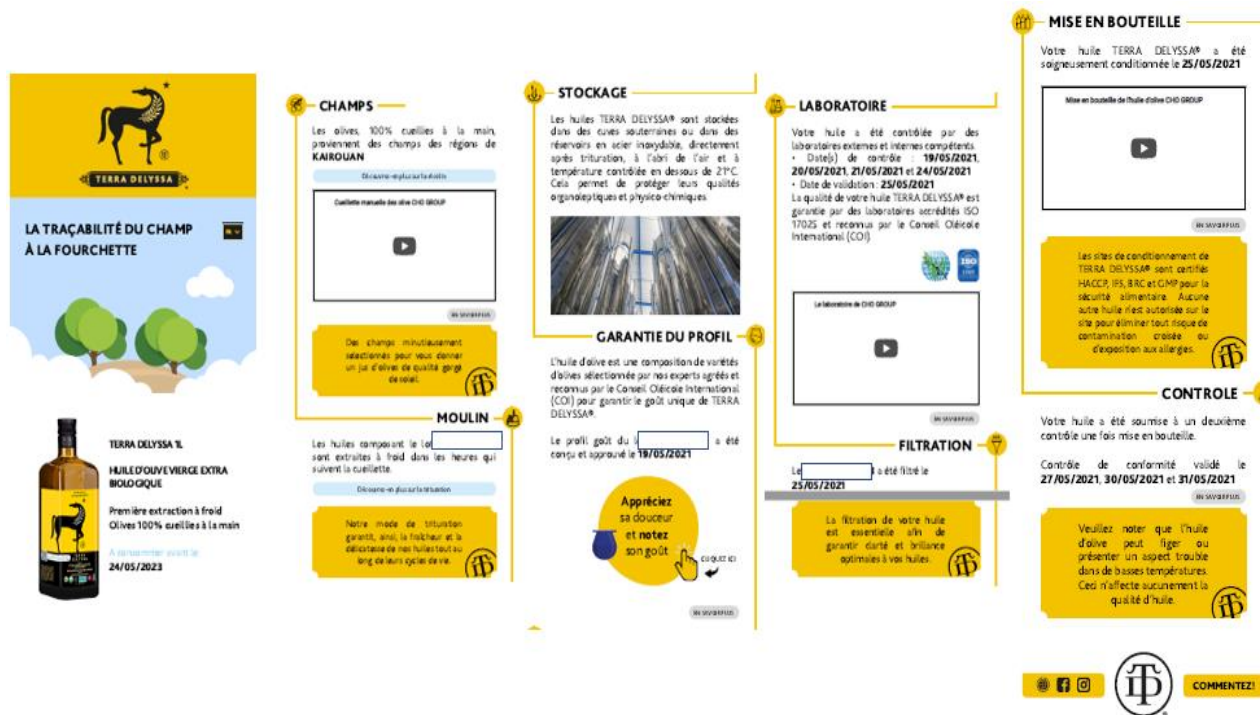


Figure 5-7 Illustration du flux informationnel visible sur l'interface de traçabilités pour consommateur

Pour ce qui est de l'application client dont le participant B8W nous a fait une démonstration de l'interface durant un entretien virtuel, nous avons consigné que celle-ci diffère au niveau de la présentation, du support et du degré de précision des données fournies. Après authentification sur l'interface web et la saisie du numéro de lot, une liste de documents au format PDF a été générée⁸³. Cette liste contient l'ensemble des rapports d'analyse et des documents maîtrisés relatifs au lot. Elles correspondent vraisemblablement à celles que l'entreprise publie sur son « *application*

⁸³ Pour justifier la convenance de la plateforme, certains documents ont été ouverts lors de la démonstration (deux rapports d'analyse et une fiche de conformité).

blockchain interne », sachant que nous avons également assisté au fonctionnement de cette dernière lors d'une démonstration du processus de saisie, de vérification et de migration avec un des responsables de l'entreprise. Une capture d'écran de l'interface interne qui illustre le flux complet relatif à un lot conditionné, est présentée dans la figure 5.8 ci-après.

En conclusion, le tableau suivant résume les différents aspects fonctionnels liés à la transparence de la blockchain qui peuvent susciter la confiance technologique chez les acteurs de la chaîne d'approvisionnement.

Attribut fonctionnel de la blockchain : La transparence	Temporalité	<ul style="list-style-type: none"> • Réduit l'asymétrie informationnelle entre les membres du canal (selon les permissions accordées par son propriétaire) • Élimine les problèmes liés à la fragmentation des sources de données • Facilite l'accès et le partage d'informations entre les acteurs de la chaîne d'approvisionnement •
	Contenu	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle du contenu exercé au moyen des permissions définies lors de l'embarquement (module Users) • Permet d'adapter les permissions d'accès au registre (du canal) selon les besoins organisationnels
	Forme	<ul style="list-style-type: none"> • Permet de personnaliser les interfaces de traçabilité selon les besoins de chaque classe d'acteurs (facilité d'utilisation pour les consommateurs; technicité pour les acteurs organisationnels). • Supporte plusieurs formats de présentation grâce à une haute synchronisation avec le cloud de IBM (sous réserve d'accessibilité aux modules Food Trust).

Tableau 5-1 L'impact, sur le développement de la confiance technologique chez les acteurs de la chaîne d'approvisionnement, de la transparence de la blockchain

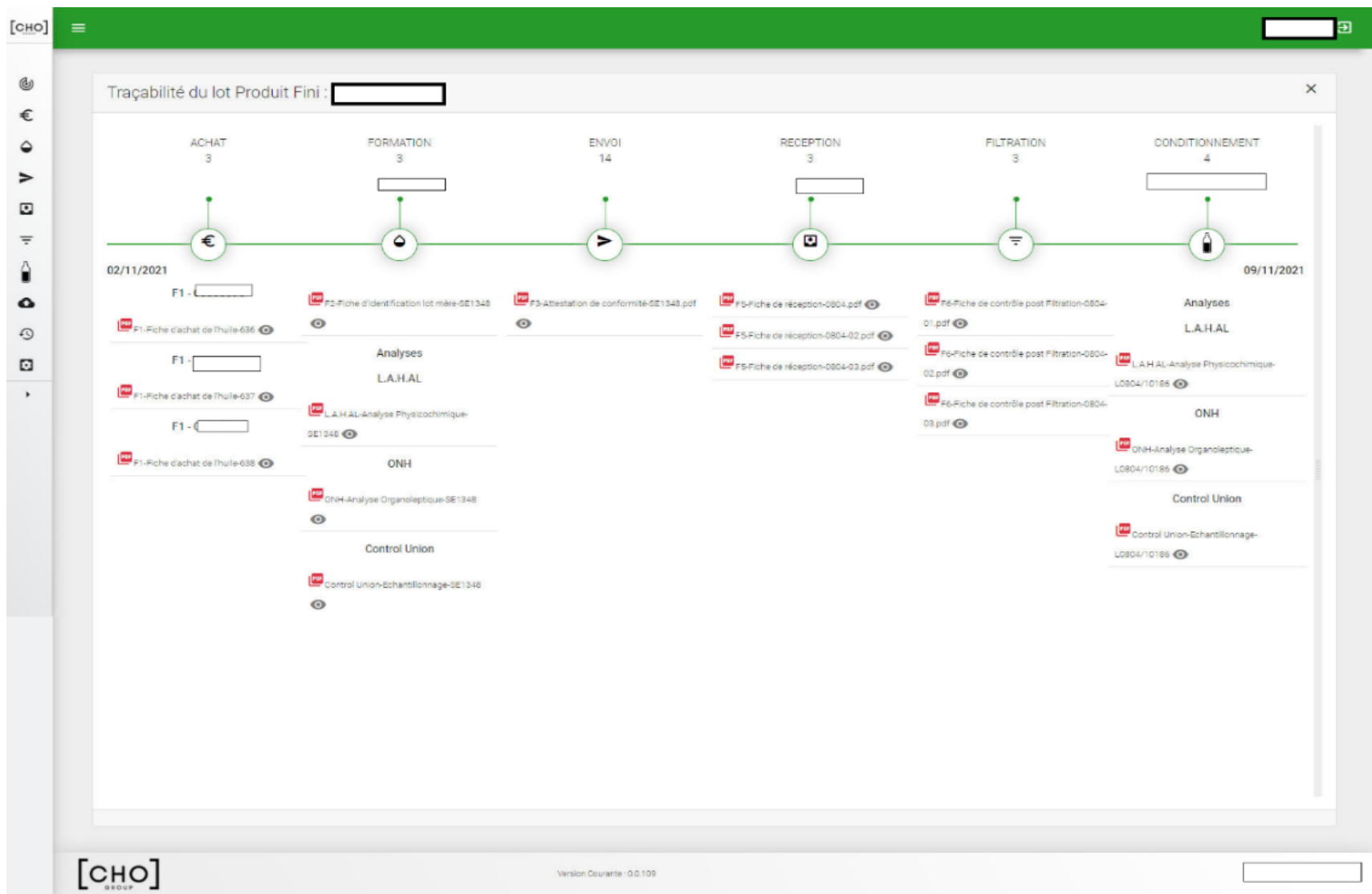


Figure 5-8 Aperçu de l'interface « Traçabilité » de l'application blockchain interne du groupe CHO (source: documentation interne)

5.2.1.1.2 La traçabilité au profit de la confiance technologique

La deuxième fonctionnalité identifiée avec une influence positive sur la perception de la fiabilité de l'artefact blockchain est celle de la traçabilité. Celle-ci a été analysée en deux parties selon le sens de mouvement des flux informationnels, soit celui du suivi ou du dépistage.

En ce qui concerne le suivi des lots, soulignons d'abord que nous avons opté pour l'exclusion de tout élément se rapportant au segment de la transformation, celui-ci étant fondé sur une interaction avec l'ERP de l'entreprise et non pas son système blockchain. Ce que nous retenons dans notre analyse, toutefois, ce sont les réflexions portant sur le segment de la distribution, considérant que toutes les informations sont déjà disponibles sur Food Trust au moment de l'expédition des lots. Dans ce contexte, un responsable des ventes et des opérations a affirmé que l'usage de la blockchain facilite la coordination avec les filiales de distribution puisqu'elle élimine la complexité liée à l'administration des documents physiques et rassemble toutes les preuves nécessaires dans une seule base de données partagée (Entrevue B8W, traduction libre). Un autre responsable des ventes a souligné que la technologie permet un meilleur suivi des commandes de clients, puisque chaque lot expédié par l'unité de transformation correspond à une commande spécifique et que l'ensemble des lots est disponible sur Food Trust : « Tout ce qui sort est contrôlé par le numéro de lot, ce qui fait que nous savons exactement ce qui va ou à chez nos clients » (Entrevue O5W, traduction libre). Du côté de la direction du groupe CHO, un de nos répondants a précisé que la technologie offre une « meilleure visibilité de ce qui se passe du côté des filiales » sous-entendant qu'elle élimine le risque de détournement de lots et de ventes illicites (Notes manuscrites de l'entrevue R7S). La réduction de la fraude a également été évoquée par le participant G4D qui met également le point sur les capacités de la blockchain à renforcer la dynamique relationnelle entre les maillons de la chaîne d'approvisionnement :

La blockchain est l'une des innovations qui, selon nous, a un impact sur l'avenir proche de l'alimentation, notamment sur le secteur de la traçabilité en établissant la confiance et la transparence entre les consommateurs et les fournisseurs et en luttant contre la fraude. (Entrevue G4D)

Pour ce qui est sens de dépistage, quatre de nos répondants ont indiqué que l'utilisation de Food Trust permet une réponse quasi immédiate en cas de rappel, et associent en l'occurrence la

traçabilité à la sécurité alimentaire (Entrevue A1W, B3Q Q9X, O5W)⁸⁴. Un cadre exécutif a mis en perspective cette fonctionnalité des blockchains en reprenant l'exemple d'un autre membre fondateur de l'initiative Food Trust, qui s'est associé à IBM pour réagir efficacement en cas d'incident alimentaire et réduire la complexité et les délais de rappels :

Je prends l'exemple de [nom du partenaire] qui nous parlait tout le temps de la traçabilité. Leur cas, c'est qu'il y'a beaucoup de recalls de produits. Et quand ils ont un recall c'est assez majeur et c'est problématique, à cause de la salmonelle dans les laitues et les salades. Leur dernier recall avant d'implanter le système leur prenait jusqu'à 4 jours pour comprendre la source de l'outbreak. Food Trust fait qu'ils peuvent comprendre la source de la salmonelle en une heure. (Entrevue A1W, traduction libre)

Un autre participant a mis l'emphase sur la disponibilité des informations sur Food Trust, et sur le fait qu'elle permette de réduire la complexité de dépistage des lots :

En cas de demande ou de retour ou, peu importe la raison, le client n'a pas besoin de demander accès aux documents de contrôle. [...] par ce que tous ces documents seront déjà sur son application blockchain. Ça rend les choses plus faciles pour nous, pour nos filiales de distribution parce que nous ne serons plus pressés par la requête, mais aussi pour notre client qui n'aura pas à attendre que nous traitions sa demande. (Entrevue B3Q, traduction libre)

Pour finir, quatre répondants, en reflétant sur les consommateurs, ont indiqué que la technologie permet de renforcer la confiance dans le produit. Nous retrouvons cette perception dans les extraits suivants: « pour le consommateur, avoir une blockchain est en soi une garantie de la qualité, et surtout de la fiabilité et de la traçabilité » (Entrevue B3Q) ; « Toute personne intéressée par le produit en question peut accéder à ses informations et être certaine qu'elles sont authentiques » (Notes manuscrites de l'entrevue R7S » ; ou encore, dans la déclaration suivante d'un responsable des ventes et des opérations :

On entend toujours les consommateurs dire : « Comment je fais pour savoir que mon produit est 100% authentique? Que ça vient de source unique et que ça n'a pas été blendé? [...] La blockchain nous permet absolument de le prouver. Elle est transparente

⁸⁴ Lors de l'entretien B8W, le participant a insisté sur le fait que CHO n'a jamais eu de rappels depuis la mise en place de la solution blockchain. Toutes les déclarations qui portent sur la performance de la blockchain en cas de rappel sont hypothétiques.

et elle est traçable, et tout ce que le consommateur a à faire, c'est scanner le QR code à la bouteille et il est certain des origines du produit. (Entrevue O5W, traduction libre)

Il convient toutefois de remettre en question l'absoluité de la création de la confiance chez les consommateurs parce que nous avons également consigné certains témoignages négatifs sur le sujet. Concrètement, trois de nos participants ont souligné que le retour en nombre de scans sur Food Trust est très faible, c'est-à-dire que très peu de consommateurs utilisaient réellement cette fonctionnalité. Pour le participant B3Q, « les consommateurs ne scannent pas parce qu'ils ne sont pas avisés de la blockchain » (Entrevue B3Q, traduction libre). Un deuxième participant nous a expliqué que les consommateurs sont désintéressés parce qu'ils ne perçoivent pas l'utilité de la traçabilité : « Il y'a un segment des consommateurs qui est intéressé. Il y'en a un autre qui s'en fout pas mal. Et l'autre représente 75% des consommateurs » (Entrevue A1W, traduction libre). Enfin, un responsable des ventes souligne que l'enjeu est lié à la méconnaissance de la technologie et aux routines des consommateurs :

Le pourcentage de consommateurs qui scannent la bouteille est faible parce qu'ils ne comprennent pas encore le concept derrière ou qu'ils ne sont tout simplement pas habitués. Vous savez, ils voient une bouteille avec une grosse étiquette à scanner, pourtant, la majorité de ceux qui achètent nos produits ne le fait pas malheureusement. Nous essayons de travailler avec les détaillants pour qu'ils l'augmentent et qu'ils essaient d'éduquer le consommateur. Mais c'est très difficile de le faire. (Entrevue O5W, traduction libre)

En conclusion, le tableau suivant résume les différents aspects fonctionnels liés à la traçabilité de la blockchain qui peuvent influencer la perception de la fiabilité de l'artefact chez les membres de la chaîne d'approvisionnement.

Attribut fonctionnel de la blockchain : La transparence	Suivi	<ul style="list-style-type: none"> • Facilite la coordination des lots lors de la distribution et de l'expédition • Réduit la complexité d'administration des documents • Permet un meilleur contrôle sur les activités des filiales et réduit la fraude.
	Dépistage	<ul style="list-style-type: none"> • Renforce la confiance du consommateur dans le produit (ceux qui utilisent cette fonctionnalité). • Augmente la réactivité globale en cas d'incident et de menace à la sécurité alimentaire • Facilite l'administration des rappels de produits

Tableau 5-2 L'impact, sur le développement de la confiance technologique chez les acteurs de la chaîne d'approvisionnement, de la traçabilité de la blockchain

5.2.1.1.3 L'immutabilité au profit de la confiance technologique

La troisième fonctionnalité de la blockchain, dont l'importance a été soulignée par nos répondants dans le contexte de la gestion des chaînes agroalimentaire, est celle de l'immutabilité. Cette caractéristique technologique a été utilisée de manière interchangeable avec d'autres notions telles que « infalsifiable », « non manipulable », « inchangeable », etc. Elle fit également le plus souvent l'objet de déclarations affirmatives et fermes qui reflètent, à première vue, son encastrement dans la perception de nos répondants. Nous le retrouvons par exemple dans les citations suivantes : « Elle [l'information] n'est en aucun cas manipulée puisqu'elle est enregistrée sur la blockchain » (Entrevue O5W, traduction libre); « La différence principale entre Food Trust...entre la blockchain et la traçabilité traditionnelle, c'est le fait que l'information est non falsifiable et qu'elle est irréversible. Tout est irréversible ! » (Entrevue W2T, traduction libre) ; « La blockchain, c'est un système qui parle de lui-même et qui, par lui-même, garantit la fiabilité de nos informations » (Notes manuscrites de l'entrevue R7S); « on sait très bien qu'une fois qu'une donnée est sur la blockchain, elle y sera pour toujours et on ne peut rien y changer » (Entrevue B9Q); « Tu sais, et je sais, et tout le monde sait que je ne pourrais pas manipuler un lot fini ou revenir en arrière. Il n'y a pas lieu de manipuler l'information sur la blockchain » (Entrevue A1W, traduction libre) ou encore : « lorsqu'on présente un argument de vente qui est celui de la blockchain pour dire : « Voilà

comment nous faisons les choses. C'est un message direct que personne ne va pouvoir contester » (Entrevue B3Q, traduction libre).

Si encadrée que soit l'immutabilité dans la perception de nos répondants, il n'est pas certain si les mécanismes technologiques derrière cette fonctionnalité sont connus par la plupart. Les déclarations vagues et abstraites, que nous avons d'ailleurs consignées à plusieurs reprises dans notre carnet de notes, nous ont amenés à interroger explicitement nos répondants sur les aspects qui font que l'information stockée sur une blockchain soit fiable et immuable. De-là, nous avons enregistré une grande divergence dans les réponses. Chez les membres de la direction, par exemple, l'immutabilité est fortement associée à la décentralisation du stockage et au contrôle des données. « C'est infalsifiable parce que c'est stocké chez IBM, sur le cloud d'IBM », nous a répondu un directeur du groupe (Notes manuscrites de l'entrevue R7S). Nous retrouvons également cette logique dans un interview public avec le directeur technique du groupe CHO qui interprète la décentralisation en termes de pertes de contrôle sur les données :

La particularité de cette technique [Food Trust] c'est que dès que l'information est stockée sur la blockchain, même les propriétaires de l'information n'en seront plus en contrôle. Ils ne seront pas en mesure de la modifier ni de la supprimer. Tout est sécurisé, pas seulement informatisé, mais aussi sécurisé. Le propriétaire de l'information perd le contrôle et son information devient publique et accessible à tout le monde. (Extrait d'un interview public avec Mr. Zouhir Makhoulfi, directeur technique du groupe CHO, traduction libre)

L'enchevêtrement de la décentralisation et de l'immutabilité a également constaté chez un responsable des ventes et des opérations. Celui-ci nous a parlé d'une autre gamme de produits que l'entreprise commercialise, et dont les informations sont stockées sur un serveur cloud géré exclusivement par un intermédiaire de confiance de l'industrie :

Je suppose que c'est un peu comme une blockchain parce que nous ne pouvons pas modifier un document une fois qu'il est téléchargé [...] Les documents ne peuvent pas être modifiés une fois qu'ils sont là. C'est une tierce partie pour l'industrie qui s'en occupe. (Entrevue O5W, traduction libre)

En ce qui concerne les réponses de l'équipe blockchain à notre question, un des membres de l'équipe nous a expliqué que l'immutabilité relève du mécanisme de hachage des documents et de

leurs stockages sur les serveurs distribués de IBM⁸⁵. « Ils [IBM] ont créé un système où ils *blockchainisent* un code hash, qu'ils attribuent à chaque document téléchargé sur IBM cloud. [...] Et une fois que le document a été modifié, le code sera aussi directement modifié à l'intérieur du nœud source mère » (Entrevue W2T, traduction libre). Ces explications ont été suivies d'une remise en question de l'immutabilité par notre répondant, qui a souligné que le fournisseur de solution blockchain peut modifier les permissions de tous les membres du canal et rendre tout enregistrement non sollicité par le client invisible aux autres membres de son canal. Certes, les données demeureront stockées sur la blockchain. Elles ne seront toutefois pas accessibles et visibles que par IBM:

Lorsqu'on venait tout juste de lancer le système, on avait eu un problème et nous voulions relancer de zéro. Nous avons contacté IBM et bien, ils nous ont fait comprendre que c'était impossible, et qu'il est impossible de supprimer ou de modifier des enregistrements [...] Il est possible de jouer sur les accès par contre. Tu vois chaque document à ses propres *intitlements* qu'ils peuvent changer de manière qu'ils soient seulement visibles pour IBM. Mais il reste tout de même traçable. Les données ne disparaîtront pas. En cas d'audit ou autre, ils les feront ressortir. (Entrevue W2T, traduction libre)

À la lumière des réponses obtenues, nous pouvons avancer que l'immutabilité de la blockchain est un aspect important de la fonctionnalité et qu'elle a une incidence non négligeable sur le développement de la confiance dans l'artefact technologique. Cependant, il est également à noter que l'évaluation de cette variable est soumise à des biais cognitifs. Ces biais peuvent être imputés à la non-connaissance des aspects techniques de la blockchain, à l'effet de la vérité illusoire de son immutabilité, ou encore à l'exposition répétitive aux échos et aux résonances qui tendent à vanter les mérites de la technologie. Ces facteurs peuvent créer chez un individu une forte conviction de cette fonctionnalité et favoriser l'émergence systématique de la confiance technologique. Dans notre cas, l'immutabilité semblait prise pour acquise par la plupart des experts dans les chaînes d'approvisionnement, à la fois au niveau stratégique et opérationnel. Les réponses fournies par notre membre de l'équipe blockchain étaient toutefois plus nuancées et rationalisées compte tenu de sa maîtrise et compréhension des mécanismes technologiques.

⁸⁵ La question a été posée à un seul membre de l'équipe. Nous avons essayé de relancer le deuxième par courriel pour des clarifications. Notre tentative n'a toutefois pas abouti.

Pour finir, il est intéressant de souligner que nous avons retrouvé, chez deux responsables, une réticence quant à la décentralisation de la saisie des données sur la blockchain, parce qu'ils estiment que l'immutabilité de la technologie peut être contraignante dans un contexte intra-organisationnel (B3Q, B8W). Ils se justifient par le fait qu'il soit possible de répliquer tous les mécanismes de la blockchain sur la chaîne logistique interne sans en utiliser le registre, comme le fait l'entreprise actuellement. Rappelons dans ce contexte que CHO a instauré un ensemble de contraintes systématiques dans sa chaîne logistique et que toute demande de modification ou de dérogation doit passer par la direction de l'entreprise. Concrètement, nos deux responsables considèrent que cette architecture permet à l'organisation, et plus précisément à sa direction, de garder une certaine flexibilité au niveau de ses opérations internes. Puisque les lots ne peuvent être expédiés au client qu'une fois que leur traçabilité est disponible sur Food Trust et que les flux sont immuables une fois téléchargés sur la blockchain, il devient dans l'intérêt de la direction de s'assurer que les dérogations ne vont pas à l'encontre des procédures. Cela se reflète d'ailleurs sur le choix d'appointer une entité responsable de la migration des flux et dont la principale fonction est d'assurer leur conformité.

En conclusion, nous présentons ci-bas un tableau qui récapitule les différents points identifiés par rapport à l'immutabilité perçue des blockchains et son impact sur l'émergence de la confiance technologique.

Attribut fonctionnel de la blockchain : Immutabilité	<ul style="list-style-type: none"> • Fonctionnalité solidement enracinée dans la perception des acteurs de la chaîne d'approvisionnement. • Compréhension des mécanismes soumise à des biais cognitifs dus à la limite dans rationalité procédurale de l'interprète. • Perception de la fiabilité généralement associée à la décentralisation du stockage et au contrôle d'informations • Fort potentiel de valeur ajoutée dans un contexte inter-organisationnel, avec des points de vue mitigés quant à son applicabilité dans le périmètre organisationnel.
--	--

Tableau 5-3 L'impact, sur le développement de la confiance technologique chez les acteurs de la chaîne d'approvisionnement, de l'immutabilité de la blockchain

5.2.1.1.4 L'aspect modulaire de Food Trust au profit de la confiance technologique

Lors de nos entretiens avec les responsables de l'unité de transformation, le terme « documents maîtrisés » a été utilisé à plusieurs reprises, surtout lorsque ces derniers nous expliquaient le séquençement des processus et des activités de la chaîne d'approvisionnement. Ayant consigné, dès la première rencontre, que ces outils jouent un rôle structurant dans le flux de production, nous avons explicitement demandé aux membres de l'équipe blockchain de quoi il s'agit et pourquoi ils sont si importants pour la chaîne d'approvisionnement. À cette première question, nos répondants nous ont expliqué que les « documents maîtrisés » sont une version plus avancée du module de certification qui était proposé dans la première version de IBM Food Trust. À l'instar de ce dernier, cette fonctionnalité permet de générer un certificat digital à partir des données qui ont été téléchargées sur la blockchain et de les partager avec les autres membres autorisés du canal organisationnel en l'associant à l'évènement EPCIS (Entrevue Q9X). On nous a également rapporté que ce module a été développé sur mesure par IBM pour accommoder les besoins de CHO, ce qui nous amène à l'importance de la modularité de Food Trust et de sa versatilité. Un responsable explique :

Nous avons choisi Food Trust parce que c'est très flexible comme solution. Sauf que la version que IBM proposait au début ne permettait pas de partager des documents sur la blockchain, ce qui était indispensable pour nous. Nous avons demandé à IBM et ils ont développé un modèle sur mesure qui est applicable à notre chaîne d'approvisionnement. Tout ce que nous avons eu à faire c'est nous ajuster à son template. (Entrevue B8W, traduction libre)

Nous retrouvons l'importance de la modularité également chez un membre de l'équipe blockchain, qui nous explique le fonctionnement du module de documents maîtrisés:

À la base, nous craignons que les données que nous téléchargeons ne soient pas supportées par des documents, et que les analyses et les rapports, bien que les informations qu'ils contiennent aient déjà été téléchargées en tant que données, ne soient pas téléchargés [...] Il faut comprendre qu'il y'a une grande différence entre télécharger une donnée et une information d'observation, et télécharger un document. Et nous voulions absolument être en mesure de télécharger des documents ! et du coup, toujours dans la logique des évènements EPCIS, IBM a créé la variable « How » qui permet d'associer un document à un évènement. (Entrevue W2T, traduction libre)

Pour résumer, le module de partage de documents remplit deux fonctions rôles : il permet d'abord de générer une attestation concrète de la conformité pour tout événement qui fait l'objet d'une saisie sur la blockchain. Cela est surtout utile pour les événements de commission, de dé-commission, d'agrégation, de dé-agrégation et de transformation qui ne sont généralement couplés à aucune forme de documentation physique ni digitale. Il convient cependant de préciser que cette fonctionnalité est répliquée par le « système blockchain interne » de CHO durant la phase actuelle de son projet. Un exemple de documents maîtrisés générés par celle-ci est présenté à la figure 5.9. Ce document correspond au volet « formation » sur l'interface de traçabilité interne (figure 5.8) et au document F2 qui résulte de l'activité 8 du logigramme (figure 5.3). Enfin, la deuxième utilité de la documentation maîtrisée est de permettre un recoupement continu entre les flux physiques et le flux des informations enregistrées sur la blockchain, et ce, lors de chaque passage d'un nœud de la chaîne d'approvisionnement à l'autre. Rappelons dans ce contexte les trois contraintes systématiques de libération que CHO a instaurées pour contrôler son processus de production⁸⁶. Cette contrainte ne peut être levée que lorsqu'un membre de l'équipe blockchain aura validé la concordance entre le certificat digital et la documentation physique du produit à réceptionner. Le processus de validation est décrit ci-après, avec une mise en situation réelle tirée du cycle de production.

Si nous réceptionnons un camion, un camion d'huile, cette huile sera justement blockchainisée. Sans ses papiers, et sans sa validation préalable sur l'application Web, ce camion-là ne pourra pas être accepté, c'est-à-dire que nous ne serons pas en mesure de le réceptionner tant que l'étape préalable n'a pas été validée et tant qu'il n'est pas validé par un de nos qualitatifs [...] C'est une vérification continue dans le fond, depuis le début à la réception du lot, jusqu'à la libération du lot de produits finis. (Entrevue Q9X, traduction libre)

⁸⁶ Les contraintes de libération ne relèvent pas de la blockchain, mais ont été programmées sur l'interface interne de CHO pour reproduire les mécanismes de Food Trust.

Il convient aussi de préciser que la modularité est l'un des points forts de la IBP, point que l'entreprise met en avant dans la description de sa solution technologique. Dans la même veine que Hyperledger Fabric, IPB permet aux organisations participantes de mettre en œuvre des contrats intelligents (ou chain code) et de les opérer sur les canaux respectifs. Cette fonctionnalité n'est toutefois pas ouverte au public et est réservée à l'équipe de IBM. Nous pouvons lire sur la documentation Food Trust : « la création de contrats intelligents privés sur IFT est actuellement une fonctionnalité à disponibilité limitée. L'équipe de IFT peut travailler avec vous pour vous aider à comprendre le fonctionnement des abonnements » (IBM, 2022). Concrètement, le développement de modules « sur mesure » est l'exception et non la norme, exception qui résulte de la nature « collaborative » de la relation entre IBM et ses premiers cas d'utilisation, ce qui a d'ailleurs permis à l'entreprise de comprendre les caractéristiques du secteur agroalimentaire et d'adapter ses modules aux besoins applicatifs des clients. Comme l'explique le répondant A1W : « ce que IBM a fait, et la table de concentration qu'ils ont faite lorsqu'ils ont réuni Dole et Walmart et les spécialistes du Café et saumon et autre, bref, une dizaine de membres avec des process et des besoins différents a fait que leur solution soit très flexible » (Entrevue A1W, tradition libre). Notre argument est d'autant plus justifié par le fait que le module « document » n'est pas listé dans les rapports techniques de IBM Food Trust de 2019 et les années d'avant où la solution prenait en charge un autre module nommé « certifications ». Celui-ci permettait aux entreprises de partager leurs certificats de la qualité et de la conformité de l'organisation adhérente (ex. Ecocert, ISO, etc.) avec les autres membres permissionnés de l'écosystème Food Trust. Il y est toutefois depuis 2020.⁸⁷ Le module a été intégré en 2020, année durant laquelle CHO a rejoint l'initiative. Les organisations peuvent désormais accéder à celui-ci en tant qu'application préconfigurée, de même que les autres modules que nous avons illustrés dans la couche applicative de la figure 2.8.

Ce qu'il nous importe de retenir au terme de cette sous-section, c'est l'importance de la modularité de la blockchain qui permet à chaque organisation de personnaliser sa couche applicative selon ses besoins opérationnels. Il est possible que certaines plateformes donnent plus de flexibilité à leurs membres pour le déploiement de contrats intelligents. Considérant toutefois que notre étude de cas

⁸⁷ Avant de retracer les versions antérieures de IFT, nous avons scanné certaines pages de leur site web avec Wayback Mahchine. Nous pouvons par exemple voir l'évolution modules supportés par Food Trust dans l'adresse suivante : https://web.archive.org/web/20200615000000*/https://www.ibm.com/blockchain/solutions/food-trust/modules

se limite à CHO et ses usages de la Food Trust, ne nous pouvons nous prononcer pour d'autres fournisseurs et nous limiterons de souligner le contentement de nos répondants de la flexibilité de Food Trust, dont les modules applicatifs semblent suffisants pour les besoins opérationnels actuels de CHO, sachant que nous ne l'avons pas consigné de suggestions de modules lorsque nous avons questionné nos répondants sur ce que IBM pourrait faire pour faire évoluer Food Trust. Le tableau de conclusion suivant résume comment l'architecture modulaire de IFT peut vraisemblablement impacter l'émergence de la confiance initiale chez les organisations.

Attribut fonctionnel de la blockchain : modularité	Confiance	<ul style="list-style-type: none"> • Choix entre plusieurs modules applicatifs « sur mesure », rodés et testés en industrie. • Possibilité de personnaliser les services BaaS selon les besoins opérationnels de chaque organisation participante. • Architecture modulaire évolutive et adaptabilité des modules offerts
	Méfiance	<ul style="list-style-type: none"> • Droits d'ajout et de publication de contrats intelligents réservés au propriétaire du système (IBM Food Trust). • Choix limité de modules disponibles pour les organisations adhérentes

Tableau 5-4 L'impact, sur le développement de la confiance technologique chez les acteurs de la chaîne d'approvisionnement, de l'architecture modulaire de la blockchain

5.2.1.1.5 L'interopérabilité au détriment de la confiance technologique

Malgré la satisfaction plus ou moins globale vis-à-vis des fonctionnalités de Food Trust, nous avons consigné certains doutes quant à la capacité du système à évoluer pour répondre aux objectifs futurs de l'organisation. L'une des principales sources d'incertitude identifiée chez nos répondants est liée à l'interopérabilité de la solution blockchain, celle-ci décrivant la capacité que possède un système à interagir avec d'autres systèmes informatiques sans restriction de mise en œuvre ou d'accès. Cinq participants, pour être précis, ont soulevé ce problème. Le scepticisme de ces derniers est interprété comme une forme de méfiance dans les fonctionnalités de l'artefact.

Concrètement, nous avons déjà expliqué que Food Trust offre plusieurs modalités pour le téléchargement de données et que CHO a choisi de développer une application intégrée qui traduit

systématiquement ses processus opérationnels dans un langage compatible avec le client web d'IBM. Le développement de cette application fut, en réalité, nécessaire en raison d'une non-compatibilité entre l'ERP classique de l'entreprise et Food Trust. L'alternative pour la migration des flux serait de procéder par saisie manuelle sur IFT ou en téléchargeant manuellement des fichiers XML. Parmi les réponses obtenues sur le sujet :

Les évènements doivent être traduits en des fichiers XML, et chaque évènement EPCIS est monté en tant qu'objet XML. Compte tenu du fait que notre ERP n'était pas assez maîtrisé, chose sur laquelle nous travaillons d'ailleurs, et vu que la partie en amont de la culture et de la trituration n'est pas supportée, nous avons créé un système spécifique qui reproduit exactement le même flux de la blockchain. C'est un flux direct de données qui commence avec l'achat des huiles et la création des lots achetés. (Entrevue W2T, traduction libre)

Un autre répondant a spécifié que l'investissement dans un nouveau progiciel de gestion est nécessaire pour un embarquement total des processus et une intégration totale de la chaîne d'approvisionnement. Il explique que l'entreprise, avec son infrastructure actuelle, est dans l'incapacité d'automatiser le transfert de données et de faire évoluer son projet⁸⁸ :

Notre ERP n'est pas assez développé pour exporter nos données, de notre ERP vers la plateforme IBM Food Trust. Nous sommes donc en train de développer une solution, un ERP Sage, pour automatiser la saisie et pour augmenter le contrôle justement parce que Sage permettrait d'intégrer toutes les parties du groupe CHO avec Food Trust. Ça pourrait donc rendre plus facile la coordination. (Entrevue Q9X, traduction libre)

Dans une veine similaire, on nous a expliqué que l'intégration de la partie en amont de la chaîne d'approvisionnement se heurte à des problèmes d'interopérabilité. D'une part, la plupart des systèmes utilisés par les producteurs (en particulier ceux qui ne sont pas affiliés au groupe CHO) sont des systèmes traditionnels, disparates et isolés. Ces derniers s'en servent généralement à des fins ponctuelles, tels que l'enregistrement des opérations, la gestion des inventaires ou la comptabilité générale (Entrevue W2T, traduction libre). D'un autre côté, le secteur agricole en Tunisie fait défaut d'un cadre réglementaire formel et rigide qui régit les pratiques de la traçabilité et dicte les normes relatives aux systèmes de suivi (Notes manuscrites de l'entrevue R7S). Ces

⁸⁸ Il est sous-entendu par « l'automatisation des transferts des données » dans ce contexte, la migration des flux informationnels vers le registre Food Trust le long du processus oléicole, c'est-à-dire sans consolidation préalable des données dans une base de données interne.

facteurs, couplés à la multiplication de standards nationaux et internationaux pour l'identification des lots et la gestion des opérations dans l'industrie (le point qui sera détaillé dans la prochaine sous-section), créent des problèmes au niveau de l'uniformité des informations, d'où la complexité d'intégration des flux à l'amont de la chaîne d'approvisionnement. C'est en vue de ces problèmes, justement, que l'organisation a choisi l'exclusion des producteurs de sa chaîne logistique à cette étape du projet, et a opté pour l'entrée des données de production au niveau de ses filiales d'achat. Un membre de l'équipe blockchain explique :

Tout est maîtrisé, c'est vrai. Mais le problème c'est que ton système doit être uniforme. L'information sur ton système doit être uniforme, c'est-à-dire que nous ne pouvons pas avoir un lot avec toutes ses informations, et un autre lot avec des informations différentes ou manquantes. (Entrevue W2T, traduction libre)

Pour finir, un cadre exécutif a mentionné que l'interopérabilité de Food Trust est un problème global d'industrie, et non pas seulement de plateforme. En partant de la vision qu'avait IBM pour l'écosystème Food Trust, il explique que l'industrie agroalimentaire n'est pas assez mature pour recevoir la technologie en ce que l'infrastructure actuellement utilisée ne supporte pas le suivi des lots individuel. Concrètement, tous les magasins de vente au détail utilisent des UPC (Universal Product Code), ou des GTIN (Global Trade Item Number) de manière plus générale, pour la vente de leurs produits. Le problème est que tous les produits identiques produits par une même organisation porteront le même UPC, ce qui ne permet pas d'identifier les lots individuels. Ainsi, le suivi des articles entre les centres de distribution et les détaillants est basé sur le numéro du lot et le nombre d'articles contenus dans ce lot, ce qui pose problème pour une traçabilité blockchain :

Lorsqu'une bouteille arrive au centre de distribution de Walmart, personne ne sait où se trouve cette bouteille [...] Même Walmart ne sait pas si cette bouteille a été vendue, parce que Walmart distribue des lots regroupés à ses magasins et non des lots individuels. Il ne sait pas c'est quelle bouteille qui a été vendue dans quel magasin ou ce qu'il a sur ces rayons. À la caisse, il n'y a pas de retour d'information de la bouteille avec le numéro de lot. (Entrevue A1W, traduction libre)

Certes, des codes SKU tels que ceux utilisés pour la gestion de l'inventaire peuvent être utilisés pour l'identification des produits. Cela nécessiterait toutefois la réadaptation de toute l'infrastructure technologique pour qu'un code permette un retour d'information lors de son traitement au terminal.

Tout le monde travaille encore avec des UPCs. Un code UPC ne pourra jamais arriver à ce stade-là. De-là, à changer toute une industrie? [...]Tu imagines un peu la taille du problème qui se pose à ce moment-là? Il faut tout refaire, tous les standards, les process, les machines, les lecteurs. Tu ne peux pas juste le faire ! Il va toujours y avoir les systèmes traditionnels et les nouveaux systèmes. Pour qu'une compagnie comme Walmart change tous ses systèmes ou qu'elle fonctionne avec deux systèmes différents, c'est inenvisageable ! surtout que l'ancien fait encore le boulot ! (Entrevue A1W, traduction libre).

En conclusion, nous présentons, ci-après, un tableau qui récapitule les différents points identifiés par rapport à l'interopérabilité des systèmes blockchains qui se heurtent à l'évolution du projet, ainsi qu'à la concrétisation de la vision de Food Trust.

Attribut fonctionnel de la blockchain : Interopérabilité du système	Contraintes techniques et logicielles	<ul style="list-style-type: none"> • Incompatibilité de la plateforme blockchain avec l'ERP de l'entreprise • Impossibilité d'automatiser la migration des flux avec l'infrastructure actuelle • Nécessité de réadapter tous les standards d'industrie pour appliquer la traçabilité instantanée en aval • Infrastructure matérielle et logicielle globale ne supporte pas la traçabilité des lots individuels et doit être adaptée.
	Contraintes environnementales	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de normes, et de standards sur les pratiques et les systèmes de suivi au niveau du producteur.
	Contraintes opérationnelles	<ul style="list-style-type: none"> • Impossibilité d'apporter des changements incrémentaux à la chaîne logistique. L'implémentation des changements nécessite une approche en cascade (il est toutefois possible d'implémenter la blockchain en plusieurs phases).

Tableau 5-5 L'impact sur la perception de la confiance technologique chez les acteurs de la chaîne d'approvisionnement, de l'interopérabilité de la blockchain

5.2.1.1.6 La flexibilité de la blockchain au détriment de la confiance technologique

Le dernier point consigné dans la catégorie des attributs fonctionnels de la confiance technologique relève du manque de flexibilité de la blockchain, qui peut se répercuter non seulement sur l'évolutivité de la technologie, mais également sur les opérations courantes de l'organisation. Il

convient de préciser que le manque de flexibilité relève également de l'interopérabilité du système. Simplement, nous avons choisi de séparer cet attribut fonctionnel en deux parties, où la première décrit les contraintes logicielles et matérielles, et la présente se concentre sur la cohérence des standards et des données. Concrètement, l'utilisation de la blockchain fait que chaque opération doit être conforme aux nomenclatures et au scénario défini lors de l'embarquement des processus sur la plateforme. Cette contrainte peut devenir problématique lorsque la chaîne d'approvisionnement s'étend sur plusieurs pays, et qu'elle dessert plusieurs marchés avec ses produits. Un membre de l'équipe blockchain explique :

Chaque client a des spécifications uniques. Je donne un exemple, chaque client écrit la date différemment, à savoir la date de l'expiration et la date de production des produits. Le format aux states est de mois-jours-années. Par contre, le format de la date au Canada ou en France est le même qu'ici, c'est-à-dire, jour-mois-années [...] Si un lot de 10 tonnes a été traité aujourd'hui, les lots produits finis seront différents dépendamment des spécificités du marché. Donc il se peut qu'un lot mère réceptionné soit transformé en plusieurs lots produits finis. (Entrevue Q9X, traduction libre)

Le manque de flexibilité est d'autant plus problématique considérant l'absence de standards communs dans l'industrie. Concrètement, un cadre exécutif a souligné que la vision de Food Trust à créer un écosystème global pour l'industrie agroalimentaire ne pourra se concrétiser tant qu'il y'aura des échanges internationaux de produits en raison de la différence de standards entre les pays. Il reprend l'exemple des UPCs pour mettre en contexte l'étendue du problème :

Tu sais, il y'a encore des compagnies en Amérique du Nord qui ne scannent pas les UPC A12. Le standard international c'est le A12, et le standard nord-américain est le A9, même 20 ans après la sortie des UPCs, certains retailers ne peuvent toujours pas scanner notre bouteille, qui est conforme aux standards internationaux en plus ! Et il a fallu que nous adaptions nos codes. Et tant qu'il y'aura de l'importation alimentaire, tant qu'il y'aura toujours des problèmes de compatibilité. (Entrevue A1W, traduction libre)

Cette limite des blockchains se reflète également sur l'interconnexion des canaux sur Food Trust, malgré le fait qu'ils appartiennent au même écosystème blockchain. Rappelons dans ce contexte que nombre des partenaires commerciaux du groupe CHO sont déjà embarqués sur Food Trust et qu'ils partagent une vision commune d'instaurer une traçabilité alimentaire de bout en bout. Pourtant, l'entreprise n'a pas réussi à jumeler ses flux à ceux des enseignes de distributions

partenaires. Lorsque questionnés sur le sujet, trois répondants ont mentionné des contraintes techniques liées à la structure des données sur Food Trust, en précisant que celles-ci empêchent l'extensibilité de la chaîne logistique en aval (Entrevues B8W, W2T, A1W). L'entreprise a d'ailleurs réalisé une tentative d'intégration avec la chaîne de distribution Carrefour, mais celle-ci n'a pas abouti :

Nous avons essayé avec Carrefour vu qu'ils utilisent déjà la blockchain d'IBM, et je peux te dire que ce n'est pas facile. Il y'a beaucoup de contraintes, comme un minimum order of quantities et des changements de nomenclatures. En plus de cela, chaque lot doit leur être exclusif. Bref [...] il y'a encore beaucoup de contraintes techniques métier, au niveau de la faisabilité surtout, sur lesquels nous travaillons encore. (Entrevue W2T, traduction libre)

Un responsable chez CHO France a expliqué que la traçabilité actuellement prise en charge par Food Trust porte sur les ensembles de lots de produits finis, et non pas sur les lots de bouteilles individuels⁸⁹. Concrètement, le scénario d'embarquement défini par l'organisation est tel que toutes les bouteilles issues d'un même lot mère auront le même identificateur et qu'elles partageront, en l'occurrence, le même historique de traçabilité à la libération. Si l'entreprise souhaite étendre la traçabilité de ses huiles au niveau de la distribution, elle doit choisir l'une des deux options suivantes : (1) modifier son scénario d'embarquement de manière que chaque lot de bouteilles individuelles dispose d'un identificateur unique ; (2) préparer des lots sur commande afin que chaque client reçoive un lot entier avec un seul numéro de suivi (Entrevue B8W). La différence entre ces deux options réside dans la prise en charge de la gestion des lots individuels. Dans le premier cas, c'est CHO qui prendrait l'opération en charge en ajoutant un évènement de désagrégation à son scénario d'embarquement à la fin de la chaîne d'approvisionnement. Il convient toutefois de souligner que l'opération n'est pas de la simplicité que l'on pourrait croire, en ce qu'elle nécessite une adaptation de tout le processus d'approvisionnement et de sa chaîne logistique: « ça serait l'enfer de le faire sur chaque bouteille », a déclaré notre répondant (Entrevue B8W, traduction libre). Dans le deuxième scénario, c'est le client qui prendrait en charge le suivi des lots individuels. Il peut concrètement commissionner l'ensemble du lot reçu et le dé-agréger en lots individuels, ou créer un évènement de commission pour chaque bouteille reçue.

⁸⁹ On peut voir sur l'interface consommateur que le numéro de Lot est utilisé pour l'identification du produit.

À la lumière des contraintes soulevées par nos répondants, nous pouvons conclure que sa flexibilité peut réduire la perception de la confiance d'un point de vue organisationnel. Le tableau suivant résume les points que nous avons identifiés dans ce contexte.

Attribut fonctionnel de la blockchain : Flexibilité	<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes liées à l'uniformité des flux qui doivent être conformes au scénario d'embarquement • Différences au niveau des standards et des nomenclatures dans les marchés internationaux (format date, code barre, etc). • L'implémentation des changements à la chaîne logistique nécessite une reconfiguration du scénario d'embarquement intégral. • Difficultés probables lors de la consolidation des canaux sur Food Trust.
---	--

Tableau 5-6 L'impact sur la perception de la confiance technologique chez les acteurs de la chaîne d'approvisionnement, de la flexibilité de la blockchain

5.2.1.2 Attribut de la fiabilité de l'artefact blockchain : La prévisibilité

L'interrogation sur la prévisibilité d'un artefact technologique revient essentiellement à une réflexion sur la stabilité du système et son bon fonctionnement. Certes, cette variable est très contextuelle en ce qu'elle peut varier d'un participant à l'autre et d'une blockchain à l'autre. Son analyse peut toutefois donner des indications sur les atouts et les problèmes fonctionnels liés à l'utilisation de la technologie, et qui peuvent affecter le développement de la confiance technologique chez les acteurs de la chaîne d'approvisionnement.

Pour le cas spécifique de Food Trust, l'artefact a été qualifié de relativement stable et fonctionnel par nos répondants. Ce constat est aligné à nos résultats précédents sur la satisfaction globale de la performance du système. Le fait demeure toutefois que le système présente quelques problèmes ponctuels que nous avons consignés lors de nos interactions avec CHO : d'abord, on nous a mentionné que certains problèmes techniques pourraient empêcher le chargement des données sur Food Trust. Rappelons que la procédure interne de CHO veut que la migration soit validée par l'entité de confiance en back-office, qui se doit de tester manuellement le numéro de lot, à la fois sur l'interface de IBM et sur l'application pour consommateurs. Ce dernier est donc l'unique acteur concerné par tout problème lié au chargement des données. Un directeur explique :

Ce que nous avons remarqué, par contre, au niveau de l'application blockchain, c'est qu'il peut y avoir quelques défauts techniques [...] Parfois, des lots ne passent pas. Parfois le consommateur saisit le numéro de la bouteille sur l'application et n'a pas accès à l'historique du lot. (Entrevue B3Q, traduction libre)

Un membre de l'équipe blockchain a précisé que ces problèmes sont dus à des pannes ou des retards occasionnels au niveau des serveurs de IBM, en soulignant le fait qu'ils sont *extrêmement rares* (Entrevue W2T, traduction libre). D'ailleurs, comme CHO procède à la migration de ses données en bout de chaîne, ces problèmes n'ont aucune incidence sur le déroulement des activités et sur le séquençement actuel des flux physiques. Leur existence peut toutefois créer une réticence chez les dirigeants de l'entreprise quant à l'évolution de son projet et le passage vers une intégration complète des processus sur la blockchain, ce qui rendrait les activités de CHO totalement dépendantes de la prévisibilité de Food Trust. Cette dynamique de dépendance est développée davantage par notre répondant :

Il faut dire que même la personne qui gère actuellement le téléchargement de toutes les données, c'est-à-dire qui vérifie toutes les données et les upload sur la plateforme de IBM n'a pas de problèmes avec le système blockchain d'IBM. D'accord, peut-être que les serveurs étaient parfois down au début, sauf que nous en étions tout de même informés. Parfois ce sont juste des petits délais, mais qui n'affectent pas le processus de production pour le moment puisque tout est rassemblé. (Entrevue W2T, traduction libre)

On nous a cependant indiqué que les problèmes de téléchargement peuvent être surmontés en développant une application cloud qui fait guise de passerelle temporaire pour le stockage des données lors de leur migration vers le registre de la blockchain. Notre répondant précise que ce fonctionnement, qui après réflexion est similaire à celui que CHO applique actuellement avec sa « blockchain interne », ferait de sorte que les activités de l'entreprise ne soient jamais interrompues même en cas de problème avec la plateforme blockchain :

Admettons que le système d'IBM est down et que nous voulons que nos équipes ne soient pas retardées. C'est-à-dire, par exemple, si jamais nous voulons que le qualicien puisse télécharger des documents pendant que le système blockchain est down. On pourrait faire en sorte que les documents soient stockés quelque part dans les serveurs cloud d'IBM puis transférés sur leur blockchain dès que le serveur est rétabli. (Entrevue W2T, traduction libre)

Dernier point, mais non des moindres concernant le téléchargement des données, un autre membre de l'équipe blockchain a souligné que leur transfert sur le registre nécessite un accès permanent à une connexion internet, sous-entendant que l'entreprise avait, dans le passé, été exposée à une connexion instable (Notes manuscrites de l'entrevue Q9X). Cela nous amène à la conclusion que la prévisibilité perçue de la blockchain dépend d'un ensemble d'acteurs externes, ce qui implique une corrélation vraisemblable entre la prévisibilité perçue de l'artefact technologique, et la fiabilité de ces acteurs.

Outre les problèmes liés au transfert de données, trois participants ont mentionné des délais et des temps d'attentes non négligeables lors de l'accès aux données sur Food Trust. D'ailleurs, les délais au niveau du chargement des informations à partir de l'interface client avaient été consignés dans notre carnet lors de la démonstration avec le participant B8W. Celui-ci nous a ensuite confirmé, lorsque questionné sur ces latences, que « lorsque le chargement des données prend du temps, c'est que les données sont en train de télécharger à partir de la blockchain d'IBM. C'est comme ça que tu peux faire la différence » (Entrevue B8W, traduction libre). Le même problème a également remarqué lors de l'utilisation de l'interface consommateur, notamment au moment du chargement des informations d'un lot à tracer⁹⁰. Sur ce sujet, un responsable a commenté : « Ce que nous avons par contre au niveau de l'application blockchain, c'est qu'il peut y avoir quelques défauts techniques. Parfois, c'est un peu long et ça dérange un peu. Mais ce n'est pas non plus la fin du monde » (Entrevue B3Q, traduction libre). Son sentiment est partagé par un membre de l'équipe blockchain, qui ajoute que l'existence des délais n'affecte pas la performance globale du système :

Nous n'avons vu aucune instabilité au niveau du système blockchain, sauf peut-être un petit retard de réponse [...] À chaque fois qu'un numéro de lot est scanné, c'est un peu long et c'est ça qui dérange un peu. (Entrevue W2T, traduction libre)

Il convient de préciser que les délais mentionnés par nos répondants sont vraisemblablement liés à des latences d'exécution des *chaincodes* sur la blockchain lorsqu'une requête d'accès à la traçabilité est effectuée. Concrètement, l'utilisation du modèle « Consumer » implique l'exécution du *chaincode* « consumer trace », qui à son tour coordonnera avec le MSPs pour vérifier les

⁹⁰ Lors de notre utilisation de l'application « Terra Delyssa Track », le chargement des données a pris 6 secondes environ.

permissions et autoriser l'extraction des données EPCIS et les master-datas sous format JSON, qui seront enfin traduits en format html et synchronisés avec le Cloud de IBM pour générer une interface visuelle du flux de traçabilité que le consommateur peut comprendre. L'appel du module documents nécessite une synchronisation encore plus complexe de composantes applicatives et d'infrastructure qui vont au-delà des objectifs du présent mémoire. On nous précise également que le problème peut être résolu, ou du moins atténué, en « *cachant*⁹¹ » la page web de l'entreprise. Ce service consiste à stocker des copies de fichiers dans un cache, soit dans un emplacement de stockage temporaire afin de raccourcir le temps de chargement des métadonnées à chaque nouvelle connexion. Le membre de l'équipe blockchain explique toutefois que CHO a fait le choix de ne pas activer ce service puisque son utilisation va en l'encontre de l'essence même de la blockchain qui est la décentralisation du stockage et l'immutabilité cryptographique :

Nous aurions pu activer le système de données cache dans notre application consommateur, sauf que nous avons choisi de ne pas le faire, c'est-à-dire que nous avons choisi de n'utiliser aucun système de cache. Pourquoi? Parce que nous voulons être certains que le consommateur, ou bien n'importe quel organisme puissent tirer toutes ses informations directement de la base de données d'IBM. À chaque fois qu'un code QR est scanné ou bien qu'un numéro de lot est saisi dans l'interface, on voudrait que l'historique soit téléchargé de la blockchain et que l'extraction des données se fasse directement à partir des serveurs d'IBM. (Entrevue W2T, traduction libre)

En conclusion à cette section sur la prévisibilité de la blockchain, nous présentons le tableau suivant qui résume les différents points soulevés par nos participants.

⁹¹ Techniquement, un cache est un emplacement de stockage pour les copies de fichiers ou de données. Les navigateurs Web peuvent cacher leurs fichiers afin d'augmenter la vitesse de chargement de leurs sites. Lorsqu'un utilisateur visite le site web pour la première fois, le navigateur enregistre une portion des données du site localement, pour un affichage ultérieur sans avoir à solliciter à nouveau avec le serveur web. Les requêtes d'accès ou de mise en cache subséquentes, réalisées par d'autres utilisateurs, peuvent être satisfaites à partir de ce cache.

Antécédent de la confiance et/ou de la méfiance dans l' artefact blockchain : la prévisibilité	Éléments liés à l'intégration de la blockchain dans les ASC	<ul style="list-style-type: none"> • Système globalement constant et stable avec des pannes occasionnelles au moment du lancement. • Stabilité dépend de facteurs exogènes et d'acteurs externes (stabilité des serveurs Cloud, fournisseur BaaS, opérateur internet, etc.). • Intégration complète de la solution rend les activités de l'entreprise vulnérable à la stabilité du système. • Possibilité de réduire la dépendance et la vulnérabilité par l'utilisation d'un stockage intermédiaire (Cloud ou centralisé) lors du chargement des données sur Food Trust.
	Éléments liés à l'utilisation interfaces et modules applicatifs	<ul style="list-style-type: none"> • Délais remarquables lors du téléchargement des données depuis le registre blockchain. Cela est valable pour les APIs clients et consommateurs. • Temps d'attente liés la multitude de composantes fonctionnelles et applicatives requise pour l'invocation des chaincodes • Possibilité de réduire le temps de chargement par l'activation des fonctions cache sur les interfaces web

Tableau 5-7 Facteurs d'influence sur le développement de la confiance dans l'artefact blockchain du point de la prévisibilité

5.2.1.3 Attribut de la fiabilité de l'artefact blockchain : La commodité

Considérant que les blockchains ont un fonctionnement en arrière-plan et qu'elles n'interagissent pas directement avec leurs utilisateurs, le champ d'interprétation de la commodité a été étendu de manière à refléter l'expérience individuelle et organisationnelle avec la technologie. Est donc considéré un antécédent de la confiance – ou de la méfiance – sous l'angle de la commodité tout facteur susceptible d'améliorer – ou de nuire – à cette expérience telle qu'elle est perçue par les utilisateurs de la blockchain. Cette expérience a été interprétée sous deux volets : lors de l'intégration de la technologie, et lors de son utilisation. Les éléments de réponses consignés dans ce contexte relèvent d'un questionnement sur les contraintes organisationnelles, socio-culturelles,

économiques et techniques liées à l'implémentation d'un système blockchain, et sur les points à considérer lors de la transition⁹². Les points suivants ont émergé de l'analyse :

D'abord, rappelons que IBM Food Trust est basée sur un modèle d'infonuagique BaaS qui combine des applications SaaS et l'architecture modulaire de Hyperledger Fabric (ou de la IBM Blockchain Platform). Ce modèle a pour particularité de transférer toute la complexité et les contraintes d'exploitation au fournisseur de service blockchain, dont la compétence et l'expertise technologique deviennent représentatives de la commodité perçue. Le fait est cependant que l'intégration de la solution demeure particulièrement complexe, surtout pour les entreprises qui n'ont pas les compétences technologiques à l'interne. Afin de réduire cette complexité et d'améliorer l'expérience globale des organisations adhérentes lors de l'embarquement des flux, IBM a créé une base de données documentaire exhaustive et publique, qui contient tous les détails nécessaires pour l'intégration de la blockchain dans la chaîne logistique⁹³. Il semblerait toutefois que cela ne suffise pas, ce qui débouche sur l'importance d'un accompagnement personnalisé par le fournisseur de solution blockchain. Ce point a été soulevé par trois répondants. Un responsable chez CHO a concrètement mentionné qu'une équipe spécialisée avait été mobilisée par IBM pour assister la transition du groupe, transition qu'il décrit de particulièrement complexe si l'entreprise devait la faire seule (Entrevue G4D). Un membre de l'équipe blockchain développe sur l'accompagnement reçu par IBM :

Ils [IBM] traduisent le process concret sur le terrain en tant que process flow. Nous avons cartographié nos process ensemble, avec tous les aspects techniques et organisationnels, ils t'assistent. D'accord il va toujours y avoir des éléments qui resteront un peu ambigus parce que c'est quand même très technique [...] Chaque fois que nous avons besoin d'assistance, nous envoyions un Mail à l'équipe IBM, qui nous a assistés tout au long. (Entrevue W2T, traduction libre)

Un exemple qui démontre comment les compétences du fournisseur de solution peuvent se répercuter sur la commodité est le suivant :

⁹² Quels sont les facteurs de succès d'un projet blockchain? (D'un point de vue socioculturel, économique et réglementaire par exemple?).

⁹³ Toutes les informations sur l'intégration et l'embarquement des processus sont accessibles à partir de <https://www.ibm.com/support/pages/welcome-ibm-food-trust%E2%84%A2-docs>

IBM a énormément facilité la transition. Il faut comprendre que l'intégration est très complexe et d'autres fournisseurs peuvent la rendre d'autant plus complexe. D'ailleurs, nous avons parlé avec d'autres blockchains et d'autres fournisseurs et tu as l'impression que ça part dans tous les sens. Certains rendent la chose très très compliquée, je dirais même impossible à implémenter [...] Ils n'ont pas su simplifier le processus pour qu'il soit admissible à la réalité des agriculteurs, et la réalité du secteur agricole d'une manière générale. (Entrevue A1W, traduction libre)

Outre la disponibilité des ressources et de l'assistance du fournisseur, le recours à la sous-traitance peut également faciliter la transition vers la blockchain. Celle-ci est d'autant plus importante lorsqu'il y'a des problèmes d'interopérabilité entre la chaîne logistique traditionnelle et la plateforme blockchain, comme il a été le cas pour CHO qui a sous-traité le développement de son application blockchain interne. Cette délocalisation du développement permet, nous a expliqué un directeur, de concentrer les activités de l'entreprise autour de son cœur de métier (Notes manuscrites de l'entrevue R7S). En plus de cela, certains aspects organisationnels sont fondamentaux pour la réussite du projet. Deux d'entre eux sont la culture organisationnelle et à la maturité de la chaîne logistique. Un de nos responsables explique : « Pour réussir un projet blockchain, il faut déjà avoir en place une traçabilité complète sinon la transition peut devenir très difficile. Et je ne parle pas uniquement des systèmes, mais aussi d'une culture de traçabilité parce que la traçabilité c'est avant tout une culture de l'organisation » (Entrevue B8W, traduction libre). Un autre répondant ajoute : « [...] Le système de traçabilité déjà mis en place répondait amplement aux nécessités de la blockchain par rapport à la traçabilité des produits de CHO. Donc il n'y avait pas de grands changements à introduire par rapport à l'organisation interne » (Entrevue G4D). Le point a aussi été abordé par un membre de l'équipe blockchain : « une fois que l'entreprise dispose déjà d'un système de traçabilité bien maîtrisé et que l'entreprise est bien transparente tout au long de sa chaîne et que toutes les équipes de l'entreprise soient intégrées dans le projet, tout devient possible » (Entrevue Q9X, traduction libre). Notre participant a également souligné que l'intégration de la blockchain est le fruit d'un travail collaboratif, et que toutes les équipes doivent être embarquées dans le projet, ce qui nous amène à notre deuxième facteur organisationnel de succès d'un projet blockchain:

Tout le monde a été mobilisé et s'est engagé dans le processus du développement de la blockchain et quand je dis tout le monde c'est vraiment tout le monde, tout le monde, tout le monde qui s'est engagé : des réunions à travers les différents sites du groupe : le site d'achat, site du conditionnement pour comprendre les besoins de chacun

justement et trouver le moyen de répondre aux process d'IBM. Ok, le département R&D est le premier responsable, mais toutes les filiales du groupe ont été consultées pour comprendre ce qu'ils font exactement, comprendre les différents processus avec les inputs et les outputs de chaque process. (Entrevue Q9X, traduction libre)

Enfin, deux de nos répondants ont souligné le fait que le module consumer de Food Trust ne réachemine pas directement à l'historique de traçabilité, et que cela se reflète sur l'expérience des consommateurs, en particulier ceux qui ne sont pas imprégnés de la culture technologique :

Ce ne sont pas tous les utilisateurs ordinaires qui peuvent comprendre la blockchain [...] Ils voient un code QR et le scannent, et ils doivent suivre des étapes après et ça, ce n'est pas tout le monde qui peut le comprendre. Ça peut être aussi accablant d'entrer le numéro de lot et le code à barres. Tout ça, ça rend les choses plus difficiles pour consommateur ordinaire de tous les jours. (Entrevue O5W, traduction libre)

Il convient de préciser que durant notre utilisation de l'application, nous avons consigné que le QR code redirige effectivement à une interface web sur laquelle les utilisateurs doivent manuellement entrer le numéro du lot et le code-barre qui sont sur la bouteille, et qui, à son tour exécutera le chaincode du module « consumer » pour récupérer l'historique de traçabilité permissionné du consommateur. Cela pourrait non seulement décourager certains consommateurs, mais aussi être problématique pour ceux qui ne sont pas familiers avec l'usage des technologies. En cherchant des explications à pourquoi les lots ne redirigeraient pas directement à l'historique de la traçabilité, nous nous sommes rappelés que les flux informationnels étaient téléchargés sur Food Trust après que le QR code ait été imprimé sur les lots individuels, c'est-à-dire que le processus de création de ce code QR n'est en aucun cas synchronisé avec le flux informationnel. Concrètement, y remédier nécessiterait une réadaptation intégrale de la chaîne logistique, du flux informationnel, ainsi que du scénario d'embarquement puisqu'il faut que l'information du lot soit déjà disponible au moment du conditionnement, qu'elle puisse être intégrée systématiquement dans des codes QR et que ce code personnalisé pour chaque lot soit imprimé sur les étiquettes, qui vont à leur tour être ajoutées aux lots conditionnés. Il va sans dire que ce changement, bien que simple à première vue, est sensiblement complexe à implémenter. D'ailleurs, il est intéressant de constater que Nestlé, dont il est possible de tester la traçabilité à partir du site web de IBM⁹⁴, fonctionne de la même manière

⁹⁴ Il est possible d'essayer la traçabilité de l'un des produits offerts par Nestlé à partir du site web suivant :

<https://www.ibm.com/blockchain/resources/food-trust/manufacturing/>

que CHO, c'est à dire que les consommateurs doivent saisir manuellement les informations du lot sur l'interface Web de Nestlé pour accéder à sa traçabilité.

En conclusion à cette section qui porte sur la commodité de la blockchain, nous proposons le tableau suivant qui récapitule le point soulevé par nos répondants et les facteurs susceptibles de bonifier leur perception de cet attribut de la fiabilité.

Antécédent de la confiance et/ou de la méfiance dans l' artefact blockchain : la commodité	Facteurs d'influence sur la commodité perçue lors de l'intégration	<ul style="list-style-type: none"> • Mise à disposition d'informations et guides explicatifs sur le processus d'intégration et d'embarquement des flux • Ressources et disponibilité du fournisseur de solution blockchain • La sous-traitance et l'externalisation du développement des modules applicatifs • La culture de la traçabilité technologique au niveau de l'organisation • La maturité de la chaîne logistique et le degré de standardisation de ses processus • La dynamique collaborative interfonctionnelle et la capacité à mobiliser l'ensemble des unités opérationnelles
	Facteurs d'influence sur la commodité perçue lors de l'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • La création de codes QR n'est pas intégrée avec la blockchain en raison de limitations fonctionnelles vraisemblables • L'utilisation de l'interface pour consommateurs requiert une certaine familiarité avec la technologie

Tableau 5-8 Facteurs d'influence sur le développement de la confiance dans l'artefact blockchain du point de la commodité

5.2.1.4 Catalyseurs psychosociologiques de la confiance dans l'artefact blockchain

Si notre cadre conceptuel se limite aux aspects fonctionnels de la confiance technologique, la nature inductive de notre recherche a fait émerger d'autres variables, dont la plupart s'inscrivent dans la *propension à faire confiance à une technologie* de Mcknight, D Harrison *et al.* (2011). Cet

antécédent, caractérisé par une dimension psychologique, traduit la tendance générale d'un individu à faire confiance aux technologies, et sa conviction que l'interaction entre l'homme et la machine peut procurer de la valeur lorsque toutes les conditions sont favorables au déroulement de la relation. Concrètement, quatre facteurs susceptibles d'agir sur la propension à faire confiance à la blockchain ont été identifiés lors de l'analyse du cas CHO. Ceux-ci sont énumérés ci-après.

L'importance des variables psychologique a d'abord été observée dans la partie en amont de la chaîne de CHO, dans laquelle l'entreprise a opté pour l'exclusion de ses fournisseurs de sa chaîne logistique (les fournisseurs étant les mouliniers et les oléiculteurs). En interrogeant nos répondants sur le pourquoi de cette exclusion, nous sommes arrivés à la conclusion que l'écartement des agriculteurs ne fut pas un choix, mais une obligation forcée par un ensemble de contraintes sociopolitiques et technologiques modelées par la nature du secteur agricole en Tunisie. Deux points en particulier revenaient souvent dans les discussions : l'absence de la culture de la traçabilité chez les agriculteurs, et l'absence de la culture technologique dans le secteur⁹⁵. Par exemple, un directeur nous a fait part d'un sondage que l'entreprise a réalisé auprès de ses producteurs, qui a révélé que ces derniers sont résistants aux changements technologiques et désirent maintenir leurs pratiques, qu'il décrit de *primitives* (Notes manuscrites de l'entrevue R7S)⁹⁶. Un autre responsable explique :

Le challenge principal, c'est que ce ne sont pas tous les agriculteurs qui utilisent la technologie et je dirais même que c'est très rare. Deuxièmement, tout le monde n'a pas la même culture de la traçabilité, et c'est difficile de faire en sorte que cela change. C'est un procédé qui prend du temps et beaucoup d'effort aussi. (Entrevue B8W, traduction libre)

Afin de pallier ces problèmes que nous qualifierons de culturels, CHO a jugé nécessaire de sensibiliser ses partenaires producteurs aux mérites de la traçabilité et de les éduquer à la valeur que procure l'utilisation de blockchain. Ce point a été évoqué par quatre participants : « Nous leur

⁹⁵ Ces deux points corroborent d'ailleurs l'un de nos résultats précédents où la culture de la traçabilité technologique de l'organisation a été identifiée comme un facteur de succès d'un projet blockchain et d'un antécédent à la confiance technologique sous l'angle de la commodité.

⁹⁶ Durant la conversation, le directeur a souligné, en critiquant ouvertement l'intervention de l'État tunisien et son intervention dans le secteur, que les orientations politiques ont un rôle important à jouer dans la sensibilisation des agriculteurs (Notes manuscrites de l'entrevue R7S).

avons expliqué qu'est-ce que c'est la traçabilité au juste les bienfaits de la traçabilité. Qu'est-ce que la blockchain aussi, et pourquoi nous l'utilisons? Les étapes de la traçabilité de la compagnie » (Entrevue Q9X, traduction libre); « Les difficultés rencontrées pour la mise en place et la mise en œuvre de l'application blockchain concernaient essentiellement la formation et l'implication des fournisseurs des olives et des huiles de CHO pour fournir des informations fiables et rapides par rapport aux produits » (Entrevue G4D). Nous retrouvons également cet aspect dans l'extrait suivant :

[...] Devant ces deux aspects, nous essayons d'être proactifs parce que nous pensons que nous avons un rôle important à jouer. Nous essayons de les [partenaires en amont] inciter en leur expliquant premièrement de quoi il s'agit, de leur expliquer l'importance de la traçabilité pour tout le monde, et de les informer de ce que nous recherchons d'eux et de l'importance de ces informations-là, qu'ils vont fournir, et finalement de leur expliquer qu'ils sont tout aussi responsables des informations qu'ils vont rentrer. (Entrevue B8W, traduction libre)

Le deuxième catalyseur psychosocial que nous avons consigné lors de nos interactions avec CHO est lié au caractère novateur de la blockchain. Concrètement, le fait de prendre part à une nouvelle initiative peut agir sur l'intention d'adopter des acteurs et les rendre plus enclins à faire confiance à l'artefact. Cet effet est d'ailleurs reflété par les objectifs stratégiques fixés par CHO et son positionnement d'avant-garde dans le secteur du conditionnement oléicole. Un cadre explique : « Nous avons choisi d'être leaders. Nous sommes là, et nous sommes prêts. Bon, le projet est en hold depuis quelques années à cause du covid, mais j'estime que ça va se passer dans le futur » (Entrevue A1W, traduction libre). Nous avons également consigné cet effet lors de notre interaction avec le directeur R7S, qui nous a expliqué que le simple fait d'introduire aux fournisseurs qu'est-ce que c'est que la blockchain et pourquoi on la fait suffit pour « qu'ils comprennent l'envergure du projet et qu'ils comprennent qu'ils sont en train de participer à quelque chose de grandiose pour la Tunisie » (Notes manuscrites de l'entrevue R7S).

L'investissement des partenaires de la chaîne d'approvisionnement dans le projet a également un effet sur l'attitude de la confiance technologique. Cet investissement reflète la bonne foi et la bienveillance des membres, ce qui peut se refléter sur la motivation des producteurs et sur leur résistance au projet. L'investissement en question n'est d'ailleurs pas forcément financier, mais

peut également être lié à des capitaux humains ou technologiques. Un membre de l'équipe explique comment CHO capitalise sur ces capitaux pour encourager ses partenaires à adopter la blockchain :

Toutes nos ressources sont mobilisées pour assister nos partenaires en amont de la chaîne. Notre CEO leur a clairement dit : « je mets à votre disposition notre équipe qualité pour qu'ils vous aident à instaurer votre système de traçabilité et à embarquer vos processus ». Quand tu as une entreprise qui est prête à payer pour toi, avec toute une équipe pour t'accompagner et t'aider à produire les documents maîtrisés, tu vas forcément être confiant et mieux engagé dans le projet. (Entrevue W2T, traduction libre)

Quatrièmement, nous avons observé que la blockchain crée un effet de réseau, et que celui-ci peut augmenter l'adoption et la diffusion de la technologie. Pour le cas spécifique de Food Trust qui se promeut l'écosystème par excellence dans le secteur de l'agroalimentaire, l'effet de réseau est de nature bilatérale : d'un côté, l'intégration de la technologie procure de la valeur - *ou du moins une illusion de valeur* - à toute entreprise participante en ce que cette dernière rejoint l'écosystème des plus grands acteurs de l'industrie agroalimentaire. Cette valeur n'est d'ailleurs pas uniquement économique et financière, comme il est le cas pour CHO dont le projet a une portée sociopolitique, opérationnelle et stratégique. Parallèlement, plus l'écosystème s'agrandit, plus il procure de la valeur à ses utilisateurs actuels et devient plus attractif aux organisations non adhérentes. Cet effet a également été confirmé lors des entrevues avec les membres de la direction, lorsque nous les avons interrogés sur leur choix de Food Trust spécifiquement. Un cadre exécutif a rétorqué que la taille des autres membres de l'écosystème a contribué à ce choix : « Nous l'avons aussi choisi [Food Trust] pour nous associer à un grand nom. Déjà que l'on s'associe à des leaders mondiaux et dans un programme qui est fiable, rodé, et qui va nous permettre de nous développer vers l'avenir » (Entrevue A1W, traduction libre).

En reflétant sur cette dynamique de réseau, nous introduisons un nouveau concept que nous intitulerons « *la chaîne de la confiance composée* ». Cette notion renvoie à l'idée que toute chaîne d'approvisionnement est un assemblage linéaire de plusieurs flux informationnels spatialement et temporellement séparés. Chaque flux est contrôlé par un acteur de la chaîne d'approvisionnement et décrit une partie du processus de production. Afin de disposer d'une traçabilité de bout en bout, tous les flux informationnels doivent être proprement embarqués sur la blockchain. Ce fonctionnement d'interdépendance crée une pression psychologique endogène et exogène sur les

acteurs individuels à mesure que leurs membres commencent à adopter la technologie. L'aspect endogène est lié à la perception de la valeur ajoutée de la complétion de la chaîne. La pression explicite, en revanche, est attachée à la pression externe exercée par les autres membres de la chaîne d'approvisionnement, et leurs désirs de compléter la chaîne de confiance. D'ailleurs, cette pression peut déjà être observée dans la relation entre CHO et ses producteurs. Elle a également émergé lors d'une discussion sur une autre gamme de produits que CHO commercialise auprès de ses clients industriels tels que les restaurateurs, les usines de production alimentaire, les conserveries, etc. Ces produits utilisent la même chaîne logistique et passent par les mêmes étapes de production que Terra Delyssa, ce qui fait que leur scénario d'embarquement est relativement similaire. Ayant consigné qu'ils ne sont pas embarqués sur Food Trust, nous en avons interrogé un cadre de CHO, qui nous a expliqué que le besoin d'utiliser la blockchain n'est pas encore ressenti du côté des industriels, mais que ceux-ci seront amenés à adapter leurs pratiques de la traçabilité lorsque le marché l'exigera et qu'ils seront confrontés à la continuité de la chaîne de la confiance:

Nous l'avons offert vu que nos systèmes supportent déjà le process, mais nos clients ne sont pas intéressés. Quand est-ce qu'ils le seront? Lorsqu'ils utiliseront eux-mêmes la blockchain ou que leurs clients leur imposeront l'usage de la blockchain. C'est là qu'ils vont vouloir intégrer. Il arrivera un effet de boule de neige à un certain moment et une fois la que la tendance commence, ça va évoluer très rapidement. C'est un peu ce qui s'est passé avec Walmart quand Food Trust a commencé. (Entrevue AIW, traduction libre)

Il convient d'ailleurs de souligner que l'effet de la chaîne de confiance composée peut être accéléré par la nature des produits et des activités dans le secteur agroalimentaire, ce qui se reflètera sur la propension à faire confiance à la blockchain et sur la popularisation de la technologie.

Admettons que j'ai plusieurs intrants. Je pourrais alors déclarer que je ne ferais affaire qu'avec les fournisseurs qui utilisent Food Trust, comme ça ma chaîne est vraiment transparente de bout en bout. Les tomates y seront, le piment y sera, l'huile y sera. C'est ça qui va créer l'effet boule de neige, et quand ça arrivera, tout le monde va devoir s'adapter et ajouter ses produits sur la blockchain. (Ibid)

Pour conclure cette section sur les catalyseurs non fonctionnels de la confiance technologique, nous présentons le tableau suivant qui en résume les principaux facteurs identifiés lors de l'analyse du cas CHO.

<p>Facteurs psychosociologiques d'influence sur les intentions de faire confiance à la technologie</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La sensibilisation sur l'importance de la traçabilité et sur la valeur ajoutée des blockchains. • Le caractère novateur de la technologie et l'adoption pionnière. • L'investissement des partenaires qui augmente la perception de leur intégrité • L'effet de réseau bilatéral et multidimensionnel (économique, stratégique, socio-politique, etc.). • L'effet de la chaîne de confiance composée qui crée une pression à la fois endogène et exogène.
--	---

Tableau 5-9 Catalyseurs psychosociologiques de la confiance dans l'artefact blockchain

5.2.1.5 Conclusion

Jusqu'à présent, les facteurs fonctionnels et non fonctionnels d'influence sur le développement de la confiance dans l'artefact de blockchain, appliquée aux chaînes d'approvisionnement alimentaire ont été introduits. Notre étude a révélé que les fonctionnalités de l'immuabilité, de la transparence et de la traçabilité ont une influence positive sur le développement sur les croyances de fiabilité. Cette dernière peut également être bonifiée avec la modularité et la capacité de publier des contrats intelligents sur la couche applicative de la blockchain. Les contrats permettent d'accommoder les besoins opérationnels des organisations adhérentes et de prendre en charge des solutions personnalisées à leurs besoins applicatifs et opérationnels. En revanche, nous avons constaté que la blockchain souffre de problèmes non négligeables sur le plan de la flexibilité et de l'interopérabilité, ce qui peut se répercuter sur la fiabilité perçue de l'artefact. Ces problèmes, dont les causes remontent directement à l'architecture de la blockchain et ses contraintes d'uniformité peuvent survenir lors de l'intégration de la solution à la chaîne logistique existante ou lors de la consolidation des flux entre les différents canaux du registre.

En ce qui concerne la prévisibilité de la blockchain, nos résultats suggèrent que la perception de cet aspect dépend de la fiabilité perçue d'un ensemble d'acteurs externes, et en particulier la compétence du fournisseur de la solution technologique et celui du service internet. Il a aussi été constaté que l'utilisation d'un système blockchain peut créer des délais lors du chargement et du téléchargement des données sur le registre, ce qui est vraisemblablement une autre conséquence de sa nature distribuée à la synchronisation des mécanismes de stockage sous-jacent (MPS, consensus,

hachage, chaincodes, etc.). Même si ces délais ne sont que de l'ordre de quelques secondes, ils constituent un facteur de méfiance et un point important à prendre en considération lors de l'intégration d'un système blockchain, en particulier si les opérations nécessitent une communication instantanée avec la base de données. Notre étude a aussi révélé que les dépendances fonctionnelles (des acteurs externes) et opérationnelles (de la stabilité de la plateforme) peuvent être contournées en développant une passerelle de stockage entre les systèmes conventionnels et le registre distribué. Cela va toutefois à l'encontre de la vision d'un réseau blockchain, et de l'essence même de la technologie. Enfin, nous avons établi que la blockchain fait défaut sur le plan de la commodité, défaut qui se manifeste essentiellement lors de l'embarquement des flux et de l'intégration de la solution.

Pour conclure avec les antécédents de confiance technologique, il a été constaté que le développement de celle-ci ne dépend pas uniquement des attributs de la technologie, mais également de variables psychosociales qui peuvent se refléter sur les croyances de fiabilité. Les plus notables sont la culture de la traçabilité technologique, l'effet de réseau bilatéral de la blockchain et les pressions de « la chaîne de confiance composée ». D'autres facteurs, que nous considérons être de second degré, sont l'investissement perçu des partenaires et les objectifs et les ambitions sociopolitiques derrière le projet.

5.2.2 Les antécédents de la confiance sociale dans la chaîne d'approvisionnement

Cette sous-section analyse les dynamiques relationnelles et institutionnelles de la confiance dans la chaîne d'approvisionnement de CHO. Elle part concrètement du principe que cette dernière s'inscrit dans un assemblage sociotechnique et que l'échange entre ses maillons n'est pas uniquement basé sur leur confiance dans la technologie, mais également des constructions socio-économiques. Cette hypothèse est confirmée par nos résultats qui démontrent que l'intégration de la blockchain ne peut pas faire abstraction des antécédents relationnels et institutionnels. La première forme s'entend de la disposition d'un membre de la chaîne d'approvisionnement à se rendre vulnérable face aux actions de ses partenaires, sur la base d'une évaluation cognitive de sa bienveillance, de son intégrité et de sa compétence. La confiance institutionnelle, d'un autre côté, décrit l'ensemble des construits normatifs et sociaux dont l'existence réduit la perception de vulnérabilité perçue par les acteurs de la chaîne d'approvisionnement.

5.2.2.1 Les évidences institutionnelles de la confiance dans le système agroalimentaire

5.2.2.1.1 L'institutionnalisation implicite comme un antécédent de la confiance sociale

Nous entamons notre analyse de la confiance institutionnelle en mettant en lumière son aspect informel. Durant nos entrevues, un refus général et catégorique de certaines pratiques répandues dans le secteur oléicole a été consigné à la fois dans les réponses et dans le langage corporel de nos répondants. Ce refus renvoie à une obligation morale partagée, encastrée dans la conviction et modelée par la pression des représailles environnementales ce qui en fait une forme institutionnelle de confiance⁹⁷. Concrètement, l'une des pratiques qui ont été fortement dénigrées par nos répondants est celle du *blending*, qui signifie le mélange des huiles de sources et de caractéristiques différentes⁹⁸. Celle-ci fut le plus souvent dédaignée par association à d'autres conduites rejetées comme la fraude alimentaire, l'adultération des huiles et la duperie. En lien avec cette première par exemple, un haut responsable a déclaré, sur un ton à la fois plein d'assurance et de dégoût que nous avons consigné dans notre carnet personnel de notes : « les huiles d'olive et le miel sont les produits les plus opaques et les plus fraudés au monde, et c'est généralement le cas parce que les producteurs

⁹⁷ Cet aspect est d'ailleurs à ne pas confondre avec la confiance in intuitu personæ qui puise ses sources dans le système de valeurs interne des individus et développe sur la base de la réciprocité de ces valeurs. En contraste, ce que nous appelons l'institutionnalisation implicite cadre dans la définition Northienne des contraintes informelles.

⁹⁸ Le terme *blending* signifie mélanger deux lots pour en faire un seul.

et les industriels ont quelque chose à cacher » (Entrevue B8W, traduction libre). Cette déclaration sous-entend que le manque de transparence dans le secteur oléicole est la conséquence de l'opportunisme de certains acteurs économiques, dont il est dans l'intérêt économique de maintenir l'information asymétrique. Une autre manifestation de signaux implicites est la déclaration suivante qui démontre le tabou de l'étiquetage malintentionné de certains transformateurs dans le secteur de l'huile d'olive :

Il y'a tellement d'huile adultérée aujourd'hui. Elle est mélangée et les gens ne le savent pas. Il y'a tellement de confusion dans les produits qui existent sur les rayons, surtout sur le marché canadien...et qui ne sont pas authentiques et c'est inacceptable. (Entrevue O5W, traduction libre)

La sécurité alimentaire et la peur des risques associés à une potentielle infraction sanitaire sont un autre signal institutionnel implicite que nous avons consigné dans notre carnet personnel. Trois répondants ont fait mention de certains incidents récents dans l'industrie alimentaire en critiquant ouvertement le fonctionnement actuel du système alimentaire. Nous en citons les exemples de la salmonelle mentionnée par le participant G4D, les infections dues aux frelatages (Entrevue B8W) et les rappels de « l'huile lampante extra vierge » (Entrevue B3Q). Tous ces événements ont été suivis de déclarations affirmatives sur l'importance de se conformer aux consignes sanitaires et la nécessité de mettre en place des chaînes d'approvisionnement transparentes de bout en bout, en particulier du côté du consommateur qui est la principale entité à risque lors d'une éclosion bactérienne :

Nous [CHO] sommes profondément convaincus que les consommateurs et les détaillants ont le droit de tout savoir sur le produit qu'ils achètent et utilisent. Ils doivent en connaître l'origine, quand et comment il est produit, quand et quel type de contrôles de qualité. (Entrevue G4D)

Enfin, un autre exemple qui reflète un partage de valeurs entre les membres de la communauté agroalimentaire à l'étude est la déclaration suivante, faite par l'un des directeurs de CHO :

Le consommateur mérite de savoir d'où son produit provient, quand est-ce qu'il a été produit, et comment il a été suivi tout le long de la chaîne pour s'assurer qu'on lui vend un produit authentique et de qualité [...] si l'on tient vraiment à être intransigeants dans nos choix, la règle d'or c'est de s'assurer que l'origine soit connue, que la qualité soit

préservée, et que les consommateurs disposent des informations qu'ils méritent d'avoir.
(Entrevue B3Q, traduction libre)

5.2.2.1.2 L'institutionnalisation explicite comme un antécédent de la confiance sociale

L'institutionnalisation explicite est sensiblement la principale source de confiance retrouvée dans la chaîne d'approvisionnement de CHO. Cet aspect cadre dans la définition de Zucker (1986), où la confiance est introduite comme la conséquence d'attentes constitutives qui émanent d'un arrière-plan sociopolitique existant. Cet arrière-plan créé des signaux normatifs et des cadres interprétatifs qui abrègent le spectre comportemental, ce qui a pour effet de réduire la perception de vulnérabilité des parties prenantes et de favoriser l'émergence de la confiance.

En outre, notre analyse a révélé deux formes d'institutionnalisation explicite qui varient selon leur portée, leur mécanisme de diffusion et selon leurs outils d'exécution de sanctions. Il s'agit, comme nous l'avons précédemment mentionné, de la *documentation certifiée* et des *institutions formelles*. Chaque classe reflète un antécédent unique de confiance institutionnalisée que nos répondants estiment nécessaire dans la chaîne d'approvisionnement dans un contexte de gestion basée sur l'utilisation de la blockchain. Les dimensions et caractéristiques de chaque antécédent seront décrites ci-après.

5.2.2.1.2.1 La documentation certifiée

Nous entendons par le terme « documentation certifiée » tout rapport d'analyse ou document de contrôle produit par un organisme certifié. Cette documentation émet un signal normatif qui atteste de la qualité et de la conformité des produits aux standards recherchés par le partenaire. Cela a pour effet de promouvoir les ressentis d'assurance structurelle et de normalité situationnelle chez les parties prenantes, et ainsi, de diffuser une confiance institutionnalisée le long de la chaîne d'approvisionnement. Notre réflexion est fondée sur les évidences suivantes :

Nous pouvons d'abord observer la pertinence de la documentation maîtrisée en tant que créateur de confiance en reflétant sur les caractéristiques du projet, le choix des modules blockchain et ainsi que sur les procédures mises en place par le groupe CHO. Rappelons concrètement que le partage de documents était une condition sine qua non lors du choix de la blockchain, si bien que IBM a développé un module sur mesure pour accommoder cette exigence fonctionnelle. Il convient aussi

de rappeler que l'entreprise a instauré un ensemble de barrières systématique pour forcer la vérification et la validation des documents de contrôle transmis entre les phases du processus, ce qui implique une confiance enracinée dans ces documents. L'importance de ces mécanismes d'institutionnalisation a également été soulignée lors des entretiens avec nos répondants, dont huit l'ont identifiée comme un facteur principal de confiance auprès des clients et des consommateurs⁹⁹. Bien que les réponses différaient d'un participant à l'autre, toutes les perspectives cadrent dans la définition que nous proposons de la « documentation certifiée ». Par exemple, un responsable des ventes et des opérations a répondu que les rapports d'analyse constituent la seule source de vérité pour les clients :

Tout le monde peut prétendre que son produit est de bonne qualité, mais pour le prouver, cela va prendre des certificats d'analyse. Définitivement, les certificats d'analyse vous disent tout ce qu'il a savoir d'un produit. Ils vous montrent la composition complète de l'huile. (Entrevue O5W, traduction libre)

Un deuxième responsable a explicitement souligné que les données sur la blockchain n'ont aucune valeur intrinsèque si elles ne sont pas appuyées par de la certification et de la documentation. Il précise que l'institutionnalisation est la première condition recherchée par les chaînes de vente au détail :

La traçabilité, blockchain ou pas blockchain, n'a aucune importance si elle n'est pas accompagnée de certifications. La certification est absolument nécessaire ! Si tes produits ne sont pas certifiés, personne n'en voudra pas même si tu leur proposes le meilleur système blockchain avec la meilleure traçabilité du monde ! Chaque chose a sa place. Pour les produits bio, par exemple, ça prend aussi un certificat de transactions. On ne peut pas faire abstraction des contrôles et des analyses nécessaires. (Entrevue B8W, traduction libre)

⁹⁹ En réponse aux questions suivantes :

1/ « Quels sont les éléments qui font que les produits Terra-Dellysa soient fiables? Au près des clients? Au près des consommateurs? – « *In your opinion, what makes Terra-Dellysa products trustworthy? Both from a client and a consumer perspective?* »

2/ « À votre avis, comment les blockchains garantissent-elles la fiabilité des informations? Qu'est-ce qui fait que les informations disponibles sur la blockchain sont fiables? »

Nous retrouvons cette logique chez un membre de l'équipe blockchain qui précise que chaque évènement d'observation doit être accompagné de documents certifiés, sans lesquels l'enregistrement EPCIS n'aura aucune valeur ajoutée :

Lorsque je télécharge une observation, comme l'observation d'une analyse physicochimique conforme par exemple. Cette donnée est sous format XML. Il me faudra télécharger aussi un document, notamment le document qui a été émis par un organisme certifiant, et qui est dans ce cas précis le laboratoire certifié, justement pour attester que l'observation est conforme, sinon mon observation n'aura aucune valeur. Ce document doit donc être téléchargé avec les données (Entrevue W2T, traduction libre).

Il ajoute que l'enregistrement du document émet un signal institutionnel qui renforce le sentiment d'assurance structurelle chez les autres membres de la chaîne d'approvisionnement :

[...] le fichier PDF, qui est le fichier du rapport, représente aussi, en soi, une autre forme de confiance ! Sauf que cette confiance-là, ce n'est pas la blockchain qui l'instaure. C'est ça la différence (Entrevue W2T, Traduction libre).

Nombre de nos répondants ont également évoqué les processus de normalisation en réponse à notre questionnement sur les antécédents de la fiabilité des produits sur la blockchain. Parmi les processus cités en entrevues, nous évoquons: la certification « Ecocert » nécessaire pour attester que l'huile est biologique (Notes de l'entrevue Q9X), l'accréditation « ISO 22000 » et les certifications française et britannique « IFS » et « BRC Food » qui attestent de la conformité de l'entreprise aux règles de la sécurité alimentaire (Entrevues B8W, G4D), l'attestation « ISO 9001 » pour les pratiques de gestion et la performance des systèmes de traçabilité (Entrevue G4D), les accréditations « COI » et « ISO 17025 » pour la conformité du laboratoire d'analyse (Entrevues O5W, G4D, B8W, Q9X), ou encore, le certificat de scellage de Control Union qui démontre que l'échantillon n'a pas été altéré lors de son transfert au laboratoire (Entrevues Q9X, B3Q, W2T)¹⁰⁰. Ces attestations sont d'ailleurs mises en valeur sur le site web du groupe CHO et sur les produits, ce qui renforce d'autant plus le raisonnement sur leur pertinence.

¹⁰⁰ Une liste plus exhaustive des accréditations du groupe est disponible sur leur site web (<https://group-cho.com/en-certifications/>).

Il convient de souligner que le développement de la confiance au moyen de la documentation certifiée ne signifie pas que l'assurance structurelle est absolue, ou que la vulnérabilité et l'incertitude seront complètement éliminées. Nous observons cette partialité de l'assurance structurelle, par exemple, dans l'extrait suivant de notre conversation avec un cadre de CHO qui nous explique que les chaînes de distribution procèdent régulièrement à des tests pour vérifier la conformité des analyses qu'ils reçoivent avec les lots :

Ce qui est aussi important, ce sont les tests qui se font et les certificats d'analyse que nous délivrons. Mais, tu sais, la majorité des grandes chaînes choisissent des bouteilles au pif et les analyses elle-même pour s'assurer. Donc ils savent déjà que l'huile qu'ils vendent est conforme. Ils ont une conscience tranquille et ils ont confiance. D'ailleurs ils ne le font pas simplement pour la confiance, mais pour ne pas avoir de problèmes avec leurs clients surtout c'est un brand qui se vend à grand volume. (Entrevue A1W, traduction libre)

En plus de cela, trois répondants ont insisté sur la nécessité d'appuyer la certification par des entités tierces, d'où le recours de CHO à des laboratoires externes. Un membre de l'équipe blockchain a mentionné que les analyses externes fournissent une garantie additionnelle de confiance et de conformité au cahier de charge de l'entreprise (Entrevue Q9X). Un autre directeur ajoute que l'entreprise fait affaire avec les mêmes laboratoires d'analyse et de contrôle que ses concurrents européens, sachant que ces derniers sont responsables des campagnes de dénigrement. Cela permet, selon ses dires, de « créer la confiance chez les consommateurs et d'éliminer les doutes des clients » (Notes manuscrites de l'entrevue R7S). Pour finir, un responsable de CHO France explique :

Nous avons un laboratoire interne qui est très performant et qui est certifié dans tous les sens. Avec cela, nous avons recours à des laboratoires externes pour confirmer et supporter les résultats de nos analyses. C'est justement pour être certains que nos analyses sont conformes et pour garantir au consommateur que l'huile qu'il reçoit correspond sans aucun doute à la qualité que nous recherchons dans nos huiles. (n.d, traduction libre)¹⁰¹

Pour ce qui est de confiance dans le cadre des échanges intra-organisationnels, il est particulièrement intéressant de constater qu'elle se repose sur la signalisation issue des documents

¹⁰¹ Pour des fins de confidentialité et de conformité, les identifiants des participants ne seront pas partagés car cela pourrait compromettre leur anonymat

maitrisés. Cette documentation émet un signal institutionnel qui surpasse même la connaissance mutuelle et la confiance relationnelle entre les employés d'une même organisation. Toutefois, si l'entreprise peut se permettre de s'en remettre exclusivement, c'est grâce aux contraintes systématiques qu'elle a enforcé le long de sa chaîne d'approvisionnement et à la centralisation des décisions dérogatoires auprès de la haute direction. Nous retrouvons cette logique chez un responsable des ventes et des opérations : « La confiance est un pilier incontournable, mais seule n'est pas suffisante. Elle doit être appuyée par des documents maitrisés, c'est-à-dire qu'elle doit être soutenue par un processus de contrôle de qualité bien défini » (Entrevue G4D). Un autre répondant nous décrit la relation entre les sites d'achat et les unités de conditionnement du groupe CHO :

Même si le site de formation appartient aussi au groupe CHO, notre relation avec lui sera la même que n'importe quel autre fournisseur externe qui n'appartient pas au groupe. Elle est basée sur le suivi et sur le contrôle. On vérifie les données, à la fois en version informatisée et en version papier. On vérifie la conformité des deux versions avant même de réceptionner les lots et avant même de procéder aux contrôles à la réception. (Entrevue W2T, traduction libre)

Le procédé de vérification et de consolidation des flux informationnels et physiques est explicité davantage par un responsable des ventes et des opérations :

Lorsqu'une huile est transférée de CHO vers Company, la qualité de l'huile doit d'abord être conforme. Ce n'est pas parce que CHO ou x structures appartiennent au groupe qu'on va assumer que tout va être conforme. Pour mesurer cette qualité, l'huile subira une série d'analyse, dépendamment de son type, et le minimum d'analyses qu'on réalise ce sont les analyses physicochimiques et organoleptiques, justement pour assurer que toutes les huiles qu'on fournit répondent aux normes. [...] Lorsqu'un camion est transféré d'un site à l'autre, il ne sera pas réceptionné à moins d'avoir tous ses documents, ses bulletins d'analyse, la quantité et la qualité. (Entrevue B3Q, traduction libre)

Pour finir, il convient de porter une attention particulière à la sémantique du terme « documentation certifiée », et à l'association délibérée de ses composantes¹⁰². Cette association sous-entend que l'assurance reflétée par un document est proportionnelle à la perception de ses processus de

¹⁰² Lors d'une première itération de codage, deux codes distincts ont été créés dans la catégorie institutionnelle pour renseigner la signalisation issue de la documentation et celle qui émane de la certification. Les deux codes ont ensuite été jumelés car nous y avons perçu une corrélation importante.

normalisation et de leur signal institutionnel. Cela signifie concrètement qu'un même document peut créer de la confiance institutionnelle chez une catégorie d'acteurs et n'avoir aucune valeur chez d'autres. Une parfaite illustration de la relativité réside dans la différence dans les exigences de confiance entre les relations inter et intra-organisationnelles en matière de documentation certifiée: alors que cette dernière se base sur des documents maîtrisés qui n'ont aucune validité en dehors du périmètre de l'entreprise, les relations entre le groupe CHO et ses partenaires externes s'appuient essentiellement sur des processus de normalisation telles que la certification et l'accréditation.

5.2.2.1.2.2 Les institutions formelles

La deuxième source de confiance que nous avons enregistrée dans la chaîne d'approvisionnement de CHO relève des institutions formelles¹⁰³. Cette dernière peut prendre plusieurs formes : elle se manifeste d'abord, au niveau des normes législatives qui encadrent les processus de production et suscitent l'assurance structurelle. Dans ce contexte, un directeur a indiqué que « le système de sécurité mondial tient à un fil, et que la résistance de ce fil dépend principalement de la capacité des gouvernements à faire respecter les consignes de la santé alimentaires aux producteurs et aux commerçants de produits » (Notes manuscrites de l'entrevue R7S). Il donne concrètement l'exemple des limites de quantification et des spécifications MRLs régies par le règlement numéro 396 en Europe qui établit les limites maximales applicables aux résidus de pesticides. Un autre responsable des ventes et des opérations a souligné l'importance des normes d'importation dans la préservation de la sécurité alimentaire, en précisant comment celle-ci se reflète sur la confiance :

[...] Le Canada a des directives très strictes à cet égard, et les états unis aussi. Tu dois avoir toutes tes certifications et tes documents de contrôle comme les analyses de données, les allergènes, les fiches MSDS, les rapports de contrôle de la qualité normaux, mettons de la CFIA. Donc on sait que le produit est passé à travers le processus quand il arrive au Canada. (Entrevue O5W, traduction libre)

¹⁰³ En réponse aux questions suivantes :

1/ « Quels sont les éléments qui font que les produits Terra-Dellysa soient fiables? Au près des clients? Au près des consommateurs? – « *In your opinion, what makes Terra-Dellysa products trustworthy? Both from a client and a consumer perspective?* »

2/ « À votre avis, comment les blockchains garantissent-elles la fiabilité des informations? Qu'est-ce qui fait que les informations disponibles sur la blockchain sont fiables? »

Une autre manifestation des institutions formelles est dans la contractualisation. Cette dernière est surtout utilisée dans le cadre des relations du groupe avec ses partenaires externes. Elle s'incarne par exemple, dans un cahier de charge qui a été évoqué par deux de participants, et qui formalise les besoins et les accords bilatéraux entre CHO et ses partenaires : « On envoie aussi des échantillons scellés par Control Union, aux laboratoires [nom du laboratoire] pour réaliser les analyses pesticides. Tout ça, c'est pour confirmer que le ZRP est conforme à notre cahier de charge » (Entrevue Q9X, traduction libre). Un autre exemple est l'engagement contractuel enforcé par la fiche d'achat des huiles. Celui-ci est juridiquement contraignant pour le fournisseur, qui est tenu pour responsable en cas de problème avec le produit :

Ces documents-là, c'est le fournisseur qui le remplit c'est-à-dire le moulinier ou bien le producteur avec sa signature et son identificateur fiscal [...] Il s'engage à ce que toutes les informations fournies soient exactes, et ils sont tenus pour responsables de ces informations-là. (ibid)

5.2.2.2 Les évidences relationnelles de la confiance dans la chaîne d'approvisionnement

Après avoir élaboré sur les sources institutionnelles de la confiance, cette section se concentre sur l'analyse de la dimension relationnelle et de ses antécédents dans la chaîne d'approvisionnement de CHO. Les liens inter-organisationnels ont été confrontés au modèle Mayer et al. (1995) tel que nous l'avons proposé dans notre cadre conceptuel. Nos résultats ont révélé que l'intégration de la blockchain requiert un certain seuil de confiance préalable entre les partenaires de la chaîne d'approvisionnement. Cette confiance est principalement catalysée par l'intégrité et la bienveillance et est ancrée dans la connaissance mutuelle entre les acteurs et la mutualisation de l'intérêt. Il a également été constaté que le développement de la confiance relationnelle peut surpasser le besoin de recourir à la blockchain, qui ne devient qu'une garantie additionnelle *et non nécessaire*, qui s'ajoute à une relation de confiance déjà établie. Pour ce qui est de la compétence, aucune trace de cet antécédent n'a été consigné lors de l'analyse des relations inter-organisationnelles. Certaines évidences indiquent toutefois qu'il s'agit d'un prérequis pour l'utilisation de l'artefact technologie dans le cadre des opérations courantes de l'entreprise.

5.2.2.2.1 L'intégrité et la bienveillance

En outre, l'intégrité, en tant qu'antécédent de la confiance relationnelle, est une variable qui traite de la perception d'un acteur (individuel ou organisationnel) que ses partenaires obéiront à un ensemble de valeurs moralement et socialement estimées acceptables, sur la base de leur connaissance mutuelle et de sa cognition. En sens, l'émergence de la confiance sous l'angle de l'intégrité est reflétée par la perception du degré de congruence entre les valeurs communes et partagées par l'institutionnalisation implicite, et celles qui sont exprimées par l'action et les échanges. À une différence près, l'institutionnalisation repose sur la responsabilisation et sur la sanction en cas de non-conformité aux règles¹⁰⁴. L'intégrité, en revanche, fait abstraction de la surveillance et du contrôle, implique une vulnérabilité et repose sur la bienveillance perçue des maillons de la chaîne d'approvisionnement. Cela signifie qu'elle repose sur le sentiment, calculé ou spontané, que les autres acteurs agiront au-delà de leurs motifs de profit et d'opportunisme, et de manière qui n'est pas détrimentaire à l'entité qui fait confiance. C'est d'ailleurs dans le souci de

¹⁰⁴ Les règles sont implicites dans le cas de l'institutionnalisation implicite et n'ont aucune représentation explicite.

tenir compte de cette nuance que nous avons choisi d'associer ces deux antécédents de la confiance (l'intégrité et la bienveillance) et de les analyser dans la même catégorie.

Nous commençons notre analyse dans la partie en amont de la chaîne d'approvisionnement, et par l'étude de la relation entre CHO et ses producteurs. Nous avons déjà souligné que cette relation est basée sur une relation exclusivement sociale compte tenu du fait que l'entreprise a opté pour l'exclusion des producteurs de sa chaîne logistique à cette étape du projet. Si l'on analyse cette exclusion sous le prisme de la confiance relationnelle, il est soutenable de dire que CHO a opté pour l'exclusion de ses producteurs parce qu'elle estime que les risques qu'elle encourt surpassent les bénéfices, et que leur embarquement sur la blockchain expose l'entreprise à une vulnérabilité qu'elle n'est pas prête à assumer. En d'autres termes, CHO ne perçoit pas la fiabilité de ses partenaires suffisamment pour les intégrer sur sa blockchain, ce qui se reflète d'ailleurs sur le processus de production puisque toutes les huiles passent par le laboratoire au moment de l'achat. Certaines évidences portent à croire que le manque de confiance est bilatéral et que les producteurs ne perçoivent pas non plus la fiabilité de CHO. Nous faisons cette avance sur la base d'une remarque qui nous avons consignés avec un membre de l'équipe blockchain, qui nous a expliqué que les fournisseurs étaient sceptiques quant au fait de partager les origines et les informations sur leurs produits par soucis que CHO n'utilise ces informations de manière opportuniste¹⁰⁵ :

Pour les fournisseurs, le fait de partager des données sur la provenance de leurs olives ou des données caractéristiques de leurs lots ou bien sur la quantité des olives qu'ils ont utilisées pour produire 1 lot d'huiles, c'est comme si on leur demandait de divulguer un secret professionnel, du moins pour la plupart. (Entrevue W2T, traduction libre)

Ce qui est aussi intéressant dans la relation avec les fournisseurs, c'est que CHO ne conçoit faire évoluer son projet blockchain et intégrer la partie en amont que lorsque la relation avec ses partenaires sera plus développée et qu'un certain degré de confiance relationnelle sera atteint. À défaut d'atteindre ce seuil, la relation demeurera basée sur l'institutionnalisation explicite, et

¹⁰⁵ Il convient de préciser que nous ne pouvons pas prendre la perspective des fournisseurs pour acquis, considérant que nous ne les avons pas consultés directement. Le ressenti de CHO demeure toutefois pertinent considérant qu'il relève d'une interaction concrète et d'une réalité vécue avec les producteurs.

l'embarquement des fournisseurs ne peut être envisagé. Nous retrouvons cette logique dans l'extrait suivant de notre conversation avec W2T :

En amont, nous sommes encore à l'étape de la sensibilisation, de l'obtention des données de base, et de la création de confiance déjà, entre CHO et les vendeurs qui sont nos fournisseurs de matière première, qu'il s'agisse des mouliniers ou bien des agriculteurs. Donc à vrai dire, nous devons encore à ce stade-là, leur fournir une feuille à remplir et avoir confiance en eux. Notre relation est donc basée sur la confiance. (ibid)

En total contraste avec la dynamique relationnelle en amont de la chaîne d'approvisionnement, une confiance basée sur l'identification a été retrouvée dans la relation entre CHO et ses clients. Comme il est stipulé par Lewicki et Bunker (1995), cette dernière est fondée sur la routine interactionnelle, la réputation et l'échange d'intérêt. Ce constat est fondé sur plusieurs évidences que nous avons consignées lors des entretiens. Elle est par exemple capturée dans l'extrait de notre conversation avec un cadre de CHO en réponse à une question sur l'impact de la blockchain sur la fiabilité des produits¹⁰⁶ :

Aucun de nos clients n'achète nos produits simplement parce qu'ils sont sur Food Trust. Personne. Il y'a peut-être un petit segment des consommateurs, un 5% qui le fait. Mais aucun distributeur, et là, je parle des grandes enseignes comme [noms]. Aucune n'achète nos produits pour sa blockchain. Terra Delyssa était trustworthy avant même de faire la blockchain. Et c'est faux de croire le contraire. (Entrevue A1W, traduction libre)

Il ajoute que l'entreprise avait déjà développé une certaine stabilité relationnelle avec ses clients et que ces derniers percevaient déjà sa fiabilité en faisant allusion aux aspects de l'intégrité et de la bienveillance. Selon lui, l'intégration de la blockchain ne fait qu'ajouter une couche additionnelle de confiance à une relation où la confiance est déjà établie :

[...] La blockchain est venue ajouter une autre couche de confiance à la confiance que nous avons déjà avec nos clients. Ce qui compte surtout, c'est notre reliability auprès de nos clients et de nos consommateurs. Ils savent que nous vendons des huiles conformes et de qualité et ils font confiance à nos produits. C'est-à-dire que la

¹⁰⁶ Réponse à la question suivante : « À votre avis, pourquoi l'usage de la blockchain permet-il de créer la confiance auprès des clients et des consommateurs ? Sur quelle base cette confiance est-elle fondée? »; « In your opinion, why does blockchain technology build trust between CHO and its costumers / consumers? What basis is this trust built-upon? »

confiance, elle est déjà là. La blockchain va venir en ajouter une couche additionnelle, « *another layer of trust* » si on veut, mais ce n'est pas elle qui va la créer. (Ibid)

La même logique peut être retrouvée dans l'extrait suivant que nous avons capturé lors d'une rencontre avec un autre responsable des ventes et des opérations :

Ce n'était pas le tournant de notre relation. Nous avons déjà une relation existante avec nos partenaires, et je ne dirais pas que la blockchain a transformé notre relation et qu'ils nous voient maintenant comme les dieux de l'huile d'olive. Non, ça n'a pas eu cet effet. (Entrevue B8W, traduction libre)

Il a également été porté à notre attention lors des entrevues que la plupart des clients de CHO ne sont pas enregistrés sur son canal de Food Trust, ce qui signifie qu'ils ne peuvent pas accéder aux documents de contrôle que l'entreprise partage sur le registre et qu'ils ont les mêmes permissions d'accès que les consommateurs¹⁰⁷. Nous avons appris que les partenaires doivent payer des frais à IBM pour avoir accès à ces fonctionnalités. Ce qui importe toutefois, c'est de savoir que la confiance relationnelle déjà établie entre CHO et ses clients surpasse le besoin de recourir à la blockchain. Dans la logique de la confiance relationnelle et du risque calculé, cela signifie concrètement que les clients ne perçoivent pas l'intérêt de payer pour l'accès à blockchain, en termes d'atténuation de la vulnérabilité et du risque¹⁰⁸. Il en devient en effet, comme le suggère le cadre A1W, que la blockchain ajoute une couche additionnelle de confiance existante, et que le recours à celle-ci n'est une obligation si une confiance relationnelle déjà développée existe déjà entre les parties prenantes. Cette dynamique est expliquée autrement par le directeur B3Q, qui souligne l'importance de préserver les liens existants après l'ajout de la blockchain en ce que la confiance demeurera majoritairement basée sur la connaissance :

Ce n'est pas vrai que c'est l'investissement blockchain qui séduit le consommateur et les clients! Ou bien que voilà, maintenant qu'on a mis en place une solution blockchain, c'est dans la poche, tout est réglé. Non justement, le vrai défi c'est d'arriver à préserver

¹⁰⁷ Aussitôt que nous avons su pour les frais, Il a été jugé pertinent de réajuster les guides d'entrevue, et plus précisément la partie qui porte sur les attributs de la relation entre CHO et ses clients, autour du fait qu'ils ne soient pas disposés à payer les frais de la blockchain.

¹⁰⁸ Une autre explication vraisemblable qui pourrait justifier le non-recours à la blockchain serait que les clients n'ont pas confiance dans l'artefact technologique. Rappelons toutefois que la plupart des chaînes de ventes au détail avec qui CHO fait affaire utilisent d'ores et déjà Food Trust, ce qui nous amène à exclure cette éventualité.

le projet. Le buzz ne perdurera pas. Ce qui va rester par contre, c'est ta réputation et ta relation avec tes clients. (Entrevue B3Q, traduction libre)

Il argumente que le lien relationnel que l'entreprise a développé avec sa clientèle ne sera pas brisé advenant que celle-ci venait à ne plus utiliser la blockchain, et que l'ajout de la blockchain n'est qu'un facteur parmi d'autres dans l'équation de la confiance, ce qui renforce d'autant plus la validité de notre argument précédent.

[Si] nous n'avons plus Food Trust demain, cela ne veut pas dire que plus personne ne va acheter nos produits... bon ok, notre réputation pourrait prendre un coup parce que certains pourraient se dire qu'ils ont quelque chose à cacher. Et ça va aussi dans l'entre sens, c'est-à-dire que ce n'est pas parce que nous avons une blockchain que tout le monde voudra acheter nos produits sur le champ. Tout ça pour dire que ce n'est pas la blockchain qui a créé la confiance avec les clients et les consommateurs. Elle y contribue tout simplement. (Entrevue B3Q, traduction libre)

Dernier point, mais non des moindres, la relation entre CHO et IBM est également basée sur la confiance relationnelle. Ce résultat s'aligne avec les résultats de l'analyse de la confiance technologique où un lien entre les croyances de fiabilité du fournisseur et la perception de la commodité et de la prévisibilité a été relevé. Concrètement, deux de nos participants ont confirmé que l'intégrité du fournisseur bonifie la confiance initiale dans la technologie. Par exemple, lorsque questionné sur les motifs derrière le choix spécifique de Food Trust, un responsable des ventes et des opérations considère que « IBM a une très bonne réputation sur le marché et ils font beaucoup d'autres produits avec leur blockchain » (Entrevue O5W, traduction libre). Un autre responsable a souligné le fait que les grands acteurs d'industrie agroalimentaire soient déjà embarqués sur la plateforme Food Trust, ce qui fait gage de la fiabilité de son fournisseur (Notes manuscrites de l'entrevue R7S).

5.2.2.2 La compétence

Si aucun de nos participants n'a fait mention de la compétence lorsque questionné sur les antécédents de la confiance entre CHO et ses partenaires externes, quatre répondants l'ont identifiée comme un facteur de succès du projet blockchain, en soulignant l'effort investi par l'entreprise dans la formation de ses employés à l'utilisation de la technologie. Par exemple, un responsable des ventes et des opérations nous a fait comprendre que « la formation du personnel a nécessité un investissement considérable en temps et en efforts pour pouvoir travailler sur

l'application Web et achever chaque étape à temps pour démarrer la suivante » (Entrevue G4D). Un directeur a insisté sur le fait que toutes compétences provenaient de l'interne, et que l'entreprise n'a pas recruté de nouvelles personnes après la transition à système blockchain (Entrevue B8W). Cela a d'ailleurs été corroboré par un autre directeur qui nous a expliqué que seule une coupe d'employés étaient assez habilités et qualifiés pour l'utilisation de l'interface blockchain, en précisant que ces derniers ont dû passer par un processus d'encadrement et de formation rigoureux (Notes manuscrites de l'entrevue R7S). Finalement, un membre de l'équipe blockchain a ajouté que pour pouvoir utiliser la blockchain, « il est primordial que ces personnes-là appartiennent à l'équipe qualité et qu'ils comprennent le processus oléicole de A jusqu'à Z » (Entrevue Q9X). Notre répondant a également mentionné que l'entreprise avait formalisé ses procédures et toute connaissance relative à l'utilisation des applications blockchain dans un « manuel d'utilisation » qu'elle utilise pour la formation de ses employés¹⁰⁹.

5.2.3 Conclusion

L'investigation de la relation entre le groupe CHO et ses partenaires nous a permis de confirmer que l'utilisation de la blockchain dans un contexte de gestion agroalimentaire ne repose pas exclusivement sur l'autorité algorithmique, mais qu'elle dépend également d'un ensemble de constructions sociales. Elle repose d'abord sur une confiance explicitement institutionnalisée. Cette dernière est reflétée par le recours indispensable à la normalisation des processus et des institutions formelles, qui émettent un signal de confiance et bonifient l'assurance structurelle chez les acteurs de la chaîne d'approvisionnement. Nous citons les exemples de l'accréditation des laboratoires, la certification aux standards internationaux de gestion et de qualité, ou encore, l'attestation de scellage, par exemple, ou encore la contractualisation et les cadres politiques et réglementaires. Nous avons également relevé une dimension implicite à l'institutionnalisation. Celle-ci est imputée à l'existence d'un code de bonnes conduites et de pratiques taboues, implicites certes, mais reconnue et partagée à travers l'ensemble de la communauté agroalimentaire.

¹⁰⁹ Nous avons demandé à consulter le manuel d'utilisation afin de l'ajouter à notre documentation du cas pour des fins d'exploration et de triangulation. Nos demandes ont toutefois été rejetées parce qu'il contenait des informations confidentielles sur les opérations de l'entreprise que la direction refuse de rendre publiques.

En plus des variables institutionnelles, nos résultats suggèrent que la confiance relationnelle est aussi nécessaire pour les échanges entre les maillons de la chaîne d’approvisionnement. Elle se nourrit de la réputation, de la familiarité et de la routine interactionnelle qui augmentent la perception de l’intégrité et de la bienveillance entre les acteurs et favorisent le développement d’une confiance basée sur la connaissance. Ces deux variables sont surpassées par la vérification et le contrôle dans le cadre des relations intra-organisationnelles, où la compétence a été identifiée comme un antécédent d’importance. Enfin, notre analyse a identifié une codépendance entre la confiance sociale et l’autorité algorithmique. Elle signifie vraisemblablement que la perception de l’autorité algorithmique requiert une certaine stabilité préalable dans le lien social entre les partenaires, stabilité qui peut décliner d’une confiance historiquement préconstruite, de l’assurance structurelle, ou de la combinaison des deux. Celle-ci permet concrètement de surpasser la vulnérabilité et l’incertitude liées à la décentralisation du contrôle sur la blockchain, et de faire pencher la balance du côté de la confiance dans l’autorité algorithmique.

Pour conclure notre analyse des antécédents de la confiance dans la chaîne d’approvisionnement oléicole de CHO, nous proposons avec la figure 5-10 un schéma synoptique qui synthétise nos principaux résultats. Les quadrants noir et rouge, respectivement, résument les mécanismes institutionnels et relationnels qui génèrent la confiance le long de la chaîne d’approvisionnement. Celui en bleu, d’un autre côté, reflète le périmètre d’intervention de la blockchain et de l’autorité algorithmique, ainsi que les principaux antécédents de cette dernière d’un point de vue organisationnel.

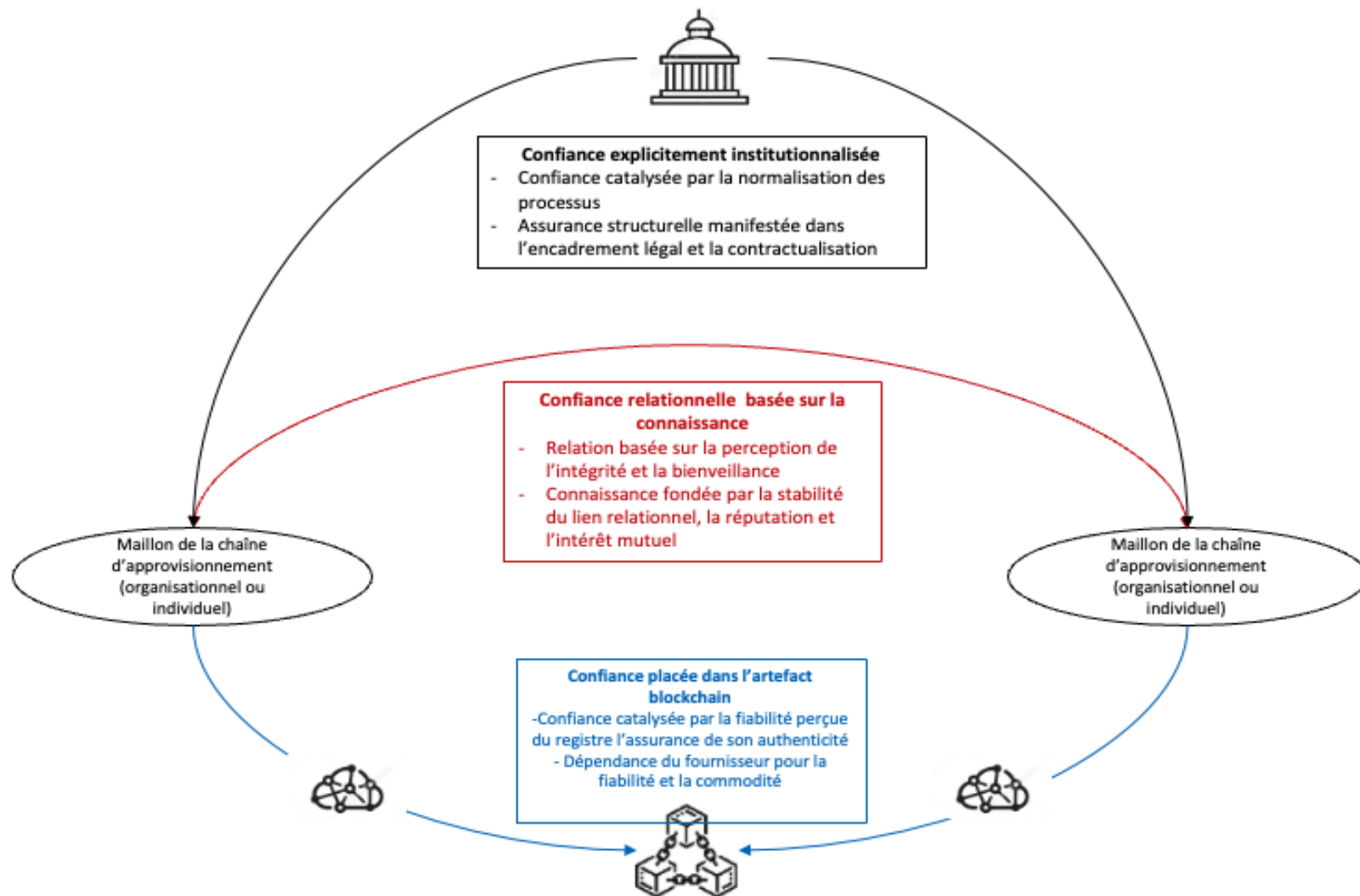


Figure 5-10 Synoptique des antécédents de la confiance technologique, relationnelle et institutionnelle dans la chaîne d'approvisionnement à l'étude

5.3 L'impact de la blockchain sur l'institutionnalisation de la confiance et sa dynamique sociale

Si la blockchain ne remplace pas les mécanismes conventionnels de la confiance sociale, ces derniers demeurant les catalyseurs principaux des relations entre les maillons de la chaîne d'approvisionnement, un questionnement sur la valeur ajoutée de l'autorité algorithmique sur le plan de la création de confiance se légitime. En réalité, ce questionnement n'est rien d'autre qu'une discussion sur la relation entre l'autorité algorithmique, reflétée par la confiance technologique de la blockchain et la confiance dans ses fonctionnalités, et la confiance sociale dont nous avons déjà prouvé l'existence et analysé les fondements. Cette section étudie les liens relationnels et transactionnels dans la chaîne d'approvisionnement et développe sur l'impact concret des blockchains sur celles-ci.

5.3.1 L'institutionnalisation par l'autorité algorithmique

Pour commencer, l'analyse des données a révélé que l'intégration de la blockchain crée une signalisation institutionnelle à la fois explicite et implicite, ce qui fait de l'autorité algorithmique un mécanisme d'institutionnalisation à part entière. La première forme d'institutionnalisation relève de l'autorité algorithmique du système et du fait que la technologie impose des barrières systématiques qui limitent le spectre des comportements possibles dans la chaîne d'approvisionnement. Le registre étant immuable, il n'est plus possible de modifier ou de supprimer un enregistrement une fois celui-ci ajouté. Il est également non répudiable et transparent, ce qui octroie à la blockchain une autorité de contrôle et de sanction qu'elle en force sur toute la chaîne, et qui en fait une contrainte institutionnelle formelle au sens de North¹¹⁰. Pour ce qui est de l'aspect implicite, nous avons consigné que la technologie émet également un signal institutionnel intrinsèque qui augmente la perception d'assurance structurelle et réduit le ressenti de vulnérabilité le long de la chaîne. D'une part, chaque utilisateur de la technologie sait que l'information qu'il saisit est irrévocable et qu'elle sera partagée avec les autres membres de la chaîne d'approvisionnement. Cela a pour effet de cadrer les comportements opportunistes et de susciter, chez l'utilisateur, une obligation morale de se conformer aux règles de la chaîne

¹¹⁰ Les sanctions seront exécutées par d'autres mécanismes, pour la plupart sociaux, c'est à dire relationnels (eg, baisse de la réputation, rupture du lien relationnel, etc.) ou institutionnels (recours légal).

d'approvisionnement. D'autre part, les autres membres partenaires ont conscience que chaque acteur est exposé et qu'il n'est pas dans son intérêt de ne pas adhérer aux règles. Cela a pour effet de renforcer leur perception de la normalité situationnelle et de réduire la vulnérabilité perçue.

En outre, le caractère institutionnel de la blockchain a été souligné par six de nos répondants. Elle a d'abord été explicitée par un directeur de l'entreprise à qui nous avons posé une question sur l'impact de Food Trust sur les pratiques de gestion des flux. Celui-ci a indiqué que « La blockchain est en soi une garantie de la qualité, et surtout de la fiabilité et de la traçabilité » (Entrevue B3Q, traduction libre). Notre répondant a ensuite évoqué la dualité des barrières physiques et morales qui sont analogues aux signaux institutionnels formels et informels régis par l'autorité algorithmique. Il explique que d'un côté, l'utilisation de la blockchain verrouille physiquement la chaîne d'approvisionnement parce que toutes les opérations se doivent d'être conformes aux procédures de l'entreprise qui sont définies dans le scénario d'embarquement : « c'est toute la chaîne qui devient verrouillée par le système. Le système filtre et ne laisse rien passer » (ibid). Les barrières morales, d'un autre côté, relèvent du fait que les partenaires de l'entreprise ont connaissance des implications de la blockchain :

C'est vraiment un verrouillage moral, mais physique aussi. C'est physique parce que le système blockchain bloquera automatiquement tes opérations à partir du moment qu'une étape de la conformité n'a pas été validée dans le système. C'est impossible de le forcer, et le seul moyen est de libérer les produits, c'est de soumettre les documents et de les valider. Et c'est moral, parce que tout le monde sait - les fournisseurs, les partenaires, les clients- qu'aucune marchandise ne peut être libérée sans que ses analyses et que ses documents de qualité n'ont été validés. C'est ça l'avantage de la blockchain. (Entrevue B3Q, traduction libre)

Une analogie similaire a été consignée lors d'une rencontre avec un membre de l'équipe blockchain. Sa logique de l'institutionnalisation explicite et implicite de la confiance, et de comment elle se généralise à l'échelle de la chaîne d'approvisionnement, est capturée dans l'extrait suivant :

Juste le fait de savoir que l'information est irréversible et qu'elle est traçable crée de la confiance. Ça fait en sorte que premièrement, plus personne ne va essayer de fausser les informations, et plus personne ne va oser les falsifier. Et deuxièmement, même si quelqu'un voulait le faire, il ne saura pas comment [...] même si les barrières morales de la personne le permettent de falsifier les informations, les barrières physiques du système l'obligera. Voilà. Et juste le fait de le savoir diminue automatiquement le

risque de fraude, et considérablement même. À part le fait que tout est traçable et que même si quelqu'un a osé tricher tu auras toujours une preuve et tu pourras toujours le confronter avec. Et ça, ça instaure surement de la confiance entre tout le monde. (Entrevue W2T, traduction libre)

Outre la dualité des barrières physiques et morales, certains de nos répondants se sont exprimés sur la portée institutionnelle de la blockchain en évoquant la logique de la vulnérabilité. Nous retrouvons cette logique, par exemple, chez un directeur de l'entreprise qui compare la technologie à une « arme à doubles tranchants » (Notes manuscrites de l'entrevue R7S). Il explique que la blockchain a plusieurs avantages, mais qu'elle expose par le même fait l'entreprise n'est plus totalement maître de ses données. Un autre directeur ajoute que toute la chaîne d'approvisionnement devient responsabilisée devant ses consommateurs, en mettant en exergue les sanctions qu'elle risque en cas de fraude :

À partir du moment qu'un consommateur n'est pas satisfait, ou qu'il constate des problèmes au niveau de la qualité de tes produits, ou qu'un audit est fait parce qu'on te suspecte de fraude, et que c'est vrai, alors que toutes tes informations sur la blockchain? C'est le scandale assuré ! C'est ton image de marque et ta réputation qui y passent. (Entrevue B3Q, traduction libre)

La dynamique de responsabilisation et d'exposition nous est expliquée par un participant sous un autre angle:

Mettre une blockchain, c'est se mettre une corde autour du cou. C'est littéralement ça. Aujourd'hui, ce n'est ni le groupe CHO, ni ses partenaires ou ses employés qui sont au contrôle des données. Tu ne peux pas expédier un produit tant qu'il ne répond pas à toutes les normes de la qualité que nous avons mises en place. Si le consommateur arrive à comprendre ça, c'est une garantie supplémentaire de qualité qui est extraordinaire. Pour moi, c'est ça la blockchain. (Entrevue B8W, traduction libre)

Pour finir, trois répondants ont souligné que la blockchain réduit l'opportunisme des acteurs économiques, ce qui fait concrètement de l'autorité algorithmique un mécanisme de bonification des croyances de fiabilité également. Nous en citons l'extrait suivant de notre conversation avec un cadre de CHO :

On sait que l'information est là et elle est directement sur la data base à laquelle je sais que mon client a un accès direct, et qu'il n'a plus besoin de frapper à ma porte pour demander une information. Et mon client sait que je ne peux plus modifier la base de

données. Admettons que mon client a un problème quelconque, par exemple un lot rejeté qui doit être recall. Et admettons que j'ai une data base centralisée, et que le recall aura des conséquences catastrophiques et qu'il va par exemple concerner, toute la production de la saison. La nature humaine fait qu'un fournisseur se débrouillera pour trafiquer et falsifier sa documentation. La blockchain t'enlève cette option et ton client le sait, et ça le rend plus confiant. (Entrevue A1W, traduction libre)

Un argument similaire nous a été présenté par un membre de l'équipe blockchain, et qui met davantage l'emphase sur les enjeux de la fragmentation des données dans les systèmes de traçabilité conventionnelle. L'opportunisme et l'inefficacité de dépistage sont clairement identifiés dans l'extrait suivant :

Prenons l'exemple d'un système de traçabilité traditionnel, et admettons qu'on nous signale une erreur dans un lot quelconque [...] Afin qu'on puisse tracer l'erreur, nous allons devoir retourner à la traçabilité du lot, pour pouvoir faire le dépistage du lot. Sauf que cette traçabilité, justement, on ne l'a pas sous la main parce qu'elle n'est pas publique, et c'est un seul acteur qui va l'avoir. Cet acteur va naturellement essayer de camoufler son erreur. Personne ne veut montrer qu'il a commis une erreur. Il va, donc, falsifier la traçabilité et rien ne l'empêchera de le faire. (Entrevue Q9X, traduction libre)

Enfin, le directeur B3Q nous explique comment l'intégration de la blockchain s'est répercutée sur les procédures de CHO:

Avant de mettre en place la solution blockchain, nous avions la capacité technique de le déroger. D'accord, on ne le fait pas parce que nos procédures internes nous en empêchent. Mais notre nature humaine peut faire que nous cédon à notre esprit commercial et pouvons parfois « bender » un peu les règles. On ne peut plus faire ça depuis que nous avons adopté la blockchain. Une fois qu'on n'a pas toute la procédure qui est appliquée avec toute la documentation nécessaire, on ne peut plus libérer un lot. (Entrevue B3Q, traduction)

5.3.2 La responsabilisation séquentielle et la responsabilité partagée

Ce qui est aussi intéressant avec la chaîne d'approvisionnement de CHO et son implémentation de la blockchain, c'est que le système exige que chaque nœud de saisie atteste qu'il a vérifié les informations précédentes, et qu'il confirme qu'ils sont valides. La vérification se réalise *off chain* en comparant la documentation physique reçue avec le produit et les flux informationnels déjà sur le système. Cette contrainte systématique fait de sorte que chaque acteur sera tenu pour responsable non seulement de l'information qu'il saisit, mais également de toutes les saisies déjà réalisées dans

les nœuds précédents et dont il a attesté la conformité aux documents de contrôles. La fiabilité des flux informationnels devient donc une responsabilité commune et partagée à travers toute la chaîne d'approvisionnement. Ainsi, nous pouvons conclure que l'intégration de la blockchain étend la portée des mécanismes institutionnels existants et fait qu'ils ne soient pas seulement applicables au point de saisie, mais à tous les points subséquents d'entrée d'informations dans la chaîne d'approvisionnement.

La dynamique de complémentarité entre les cadres institutionnels existants et l'autorité algorithmique de la blockchain a été fondée sur les trois arguments. Elle a d'abord été explicitée par un membre de l'équipe blockchain qui a évoqué les notions de « suivi continu » et de « responsabilité partagée ». Selon ses dires, l'utilisation d'un système de gestion blockchain crée un contrôle continu, à la fois *par et pour* les entités participantes, chacun étant responsabilisé pour sa saisie et pour celle des acteurs qui l'ont précédé. Nous retrouvons également dans son argumentation la relation entre l'assurance structurelle et la confiance technologique, manifestée par la confiance inconditionnée dans le caractère immuable et dans les fonctionnalités de l'artefact blockchain chez l'ensemble des entités de la chaîne d'approvisionnement :

Nous voulions qu'aucun passage ne soit réalisé d'une étape à l'autre sans qu'elles n'aient été vérifiées et que leur conformité n'ait été validée. Tout le monde surveille tout le monde de cette manière, et tout le monde surveille ses inputs, je parle des informations qu'ils reçoivent, et chacun fait attention à ses outputs avant de les valider, surtout qu'ils savent aussi que ces données ne sont pas simplement internes, mais qu'elles seront exportées sur la base d'IBM et que plus personne ne sera en mesure, ni les supprimer, ni les modifier, ni rien du tout. Ils savent aussi que la traçabilité est instantanée et qu'il est possible d'accéder à l'historique intégral du lot simplement en scannant un QR code. Du coup, avant de passer d'une partie à l'autre partie, il faut, avant d'effectuer ce passage, que les données soient validées par l'autre partie (Entrevue Q9X, traduction libre).

Nous avons également constaté que les filiales de distribution étaient également concernées par cette dynamique de responsabilisation séquentielle, et qu'ils vérifient également l'authenticité des informations sur la blockchain avant d'expédier les lots aux clients. Un responsable des ventes et

des opérations explique pourquoi il est nécessaire de faire le recoupement entre la documentation certifiée¹¹¹ et l'information sur la blockchain :

Chaque cargaison doit être accompagnée de toute sa documentation, et nous devons tout vérifier [...] nous vérifions chaque lot sur la blockchain, et si nous y voyons quelque chose de différent, c'est-là que nous allons faire une vérification approfondie. Parce que nous ne voulons pas aller voir nos clients avec un lot et qu'ils reviennent nous voir et nous demander « comment ça se fait que ce soit différent »? Nous devons donc nous assurer et être certains que ce qu'on envoie au client est bien ce qui est sur la blockchain. (Entrevue O5W, traduction libre)

Pour finir, la logique du renforcement des signaux institutionnels est également reflétée par le choix de CHO de centraliser la publication des données. En se faisant, la compagnie ajoute un dernier palier de vérification et se donne la possibilité de rester au contrôle de ses données tant que les flux sont encore dans le périmètre organisationnel. D'ailleurs, deux directeurs chez CHO nous ont exprimé qu'ils s'opposaient à la saisie en temps réel sur Food Trust, et que cela ne peut être envisagé que si l'entreprise arrive à automatiser son processus de production de bout en bout : « il n'y a pas de milieu avec la blockchain, que c'est soit l'intégration totale, ou pas d'intégration du tout » (Notes manuscrites de l'entrevue de l'entrevue R7S). Notre deuxième répondant ajoute :

Pour le moment, la vérification humaine demeure nécessaire. Peut-être que ce ne sera plus le cas dans quelques années lorsque nous arriverons à mettre en place des mécanismes de vérification automatique. Et même-la, je doute fort que nous n'aurons plus besoin d'inversion humaine. (Entrevue B8W, traduction libre)

5.3.3 Médiation de la confiance institutionnelle

Une autre conséquence de la blockchain est sa capacité à véhiculer l'assurance structurelle le long de la chaîne d'approvisionnement. Ce raisonnement a été fait sur la base des réponses de nos répondants lorsque nous les avons questionnés sur fondements de la fiabilité de Terra Delyssa du point de vue des clients. Il décline également, par la même logique que celle de l'institutionnalisation explicite, du fait que l'immutabilité est prise pour acquis et que son fondement ne soit pas contesté. Concrètement, toute documentation certifiée publiée sur le système peut donc

¹¹¹ La fiabilité de la documentation (physique) a également été abordé lors de la discussion. La réponse suivante a été obtenue : « nous faisons partie de CHO, ce qui fait que nous n'avons pas à nous inquiéter de savoir si les documents qui nous ont été envoyé par CHO Company sont vrai ou pas. Pour ce qui est de nos partenaires, ils savent que CHO a un laboratoire accrédité en Tunisie et ils font confiance au processus »

être assumée, conforme et authentique, ce qui signifie que sa signalisation institutionnelle sera également adoptée dans la rationalisation de la normalité situationnelle. Nous retrouvons d'ailleurs ce raisonnement dans certains des extraits que nous avons déjà cités pour refléter les croyances de nos participants de l'immutabilité de la blockchain tels que celui de Mr. Zouhir Makhloufi qui parle de certitude dans *l'authenticité* des documents sur la blockchain; l'affirmation « tu sais et je sais et tout le monde sait que je ne pourrais pas manipuler un lot fini ou revenir en arrière » (Entrevue A1W) ou encore « on sait très bien qu'une fois qu'une donnée sur la blockchain, elle y sera pour toujours et on ne peut rien y changer » (Entrevue B9Q). La logique de la médiation de l'assurance structurelle est d'autant plus explicitée dans l'extrait suivant, tiré de notre conversation avec un responsable des ventes et des opérations :

C'est le lab de CHO qui produit toute la documentation et fait tous les tests. Et une fois que les résultats sortent, ils sont rentrés sur la blockchain et ne peuvent plus être modifiés. Toute ton information devient là-haut. Elle y est depuis le moment où elle est produite avec le certificat d'analyse et les spécifications complètes et c'est ça qui garantit la confiance. (Entrevue O5W, traduction libre)

5.3.4 Conclusion

Cette section s'est concentrée sur l'émergence de la confiance d'un point de vue sociologique et algorithmique et sur l'impact de l'autorité algorithmique sur les variables relationnelles et institutionnelles. Nos résultats indiquent une dynamique de support et de complémentarité. D'une part, l'autorité algorithmique émet un signal institutionnel explicite qui bonifie les croyances de fiabilité et renforce l'assurance structurelle chez l'ensemble des acteurs de la chaîne d'approvisionnement. D'autre part, la reconnaissance de la non-répudiation, de la transparence et de l'immutabilité crée une obligation morale de se conformer aux règles. Cette obligation se diffuse le long du séquençement des flux en raison des contraintes systématiques de validations imposées par l'organisation, faisant que la fiabilité des flux devient une responsabilité partagée par tous les acteurs. Cela est valable tant au niveau intra-organisationnel, où les entités opérationnelles sont responsabilisées auprès de la direction, ou au niveau inter-organisationnel où toute la chaîne est tenue pour responsable devant ses clients. Finalement, nous avons observé que l'immutabilité de la blockchain diffuse les signaux institutionnels existants, notamment ceux des processus normalisés, ce qui fait de la technologie un véhicule de confiance institutionnelle également. La figure 5-11 schématise les résultats de l'analyse sus-résumée.

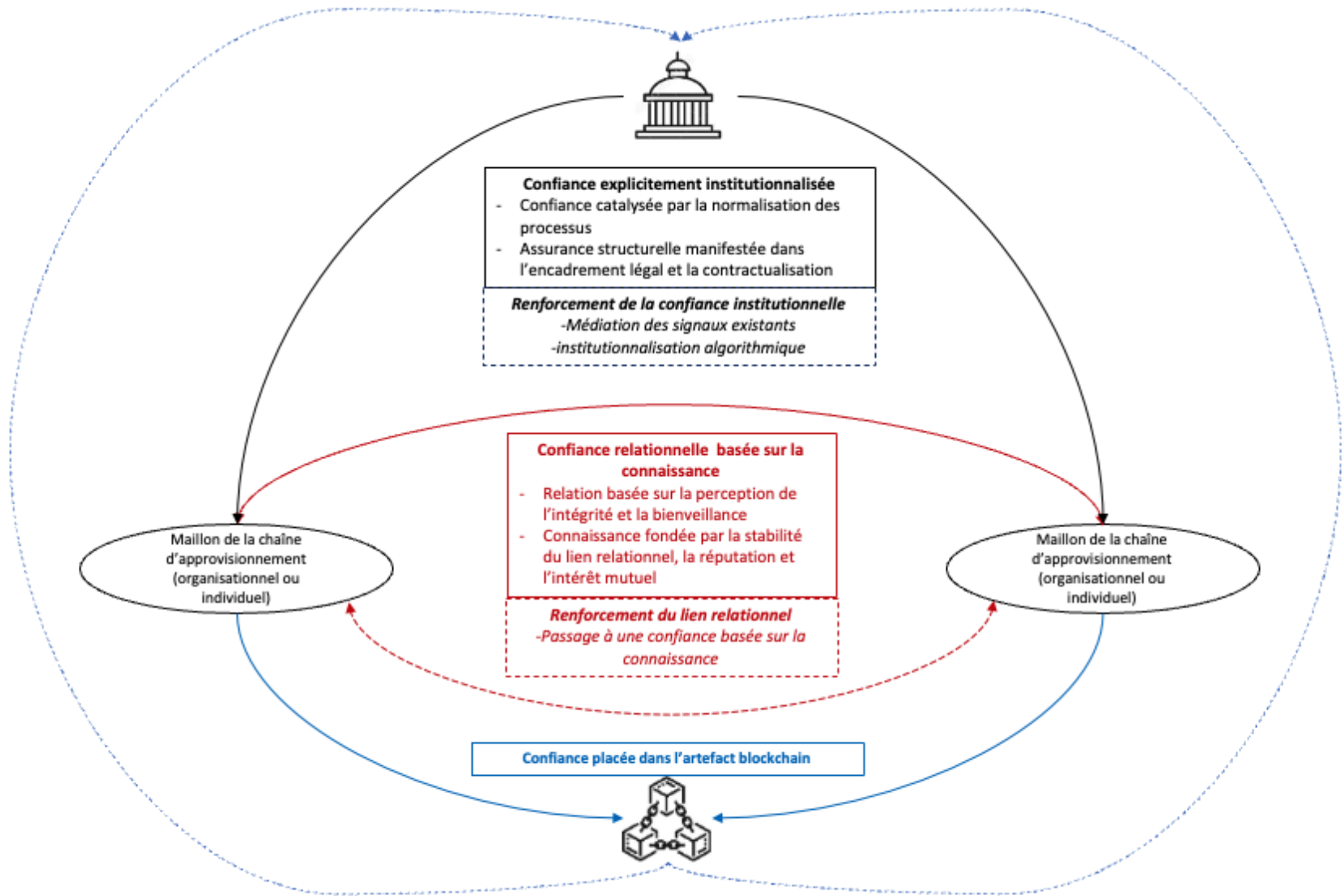


Figure 5-11 Synoptique des interliens entre les constructions technologiques et sociales de la confiance dans la chaîne d'approvisionnement

CHAPITRE 6

DISCUSSION DES RÉSULTATS ET DE LA CONTRIBUTION

Ce chapitre discute les résultats de notre recherche, qui explore les antécédents de la confiance dans une blockchain privée, et les répercussions de cette dernière sur l'émergence de la confiance sociale dans les chaînes d'approvisionnement agroalimentaire. La discussion comporte trois sections. La première porte sur la controverse autour de l'interprétation de la confiance dans l'environnement transactionnel des blockchains et explicite notre posture épistémologique. La seconde section du chapitre discute des résultats de notre recherche sur la confiance sociale en les contrastant avec la littérature sur les blockchains et leurs applications dans les chaînes d'approvisionnement. Elle est clôturée par une proposition de conceptualisation du phénomène dans le contexte applicatif des blockchains privées, concept que nous nommerons « *l'équilibre de la confiance* ».

6.1 L'épistémologie de la confiance dans le contexte des blockchains

Pour amorcer la discussion de nos résultats, il convient d'abord de revenir sur notre problématique de départ, problématique à l'origine même de notre interrogation sur l'émergence de la confiance dans les ASCs embarquées sur une blockchain privée. Nous portons particulièrement l'attention sur la dichotomie conceptuelle de la confiance et de son interprétation dans l'environnement technologique. Concrètement, il est indéniable que l'ajout de la blockchain peut contribuer à la réduction de nombre d'incertitudes et de problèmes dans le secteur de l'agroalimentaire. Comme il est stipulé par Tripoli et Schmidhuber (2020), la combinaison du registre distribué, de l'immutabilité cryptographique et de la transparence limite la fraude alimentaire et le risque de manipulation *ex post*, en ce qu'elle crée un signal institutionnel intrinsèque qui augmente la confiance dans la chaîne d'approvisionnement. Ce signal, que nous avons introduit dans nos résultats sous l'angle de « l'institutionnalisation de l'autorité algorithmique », possède des moyens à la fois de contrôle et de sanction, et peut augmenter l'assurance structurelle le long de la chaîne alimentaire jusqu'au consommateur. D'une part, le contrôle est induit par les fonctionnalités de dépistage instantané et par la visibilité accrue du flux informationnel. Nous pouvons, dans ce contexte, nous appuyer sur l'expérience du dépistage des mangues sur Food Trust rapportée par Kamath (2018), et dont les résultats sont sensiblement similaires à ceux observés avec l'API

« trace » et à notre utilisation du module « Consumer Trace ». D'autre part, la non-répudiation de la blockchain pénalise tout acteur malveillant et l'expose aux sanctions conséquentes de son opportunisme. Ce résultat s'aligne avec les propositions théoriques dans la littérature sur les blockchains, qui s'appuie sur un corpus littéraire solide où la causalité entre le partage d'information et la réduction de l'opportunisme dans les chaînes traditionnelles a été établie (ex. Casino, Fran *et al.* (2019), Motta *et al.* (2020), Xu, J. *et al.* (2020), etc.). Enfin, nous revenons sur l'objectif principal du projet blockchain de CHO qui fut de répondre à une série de campagnes de dénigrement adressées aux huiles non européennes. Les témoignages obtenus de nos répondants sur le degré de satisfaction des clients et des consommateurs portent à croire que l'intégration de la blockchain peut réellement aider face à la crise de la confiance que déclarent Hu *et al.* (2021) dans le secteur alimentaire.

Cependant, dans notre tentative de concilier les approches en explorant ses sources à la fois sociologiques et technologiques dans la chaîne logistique de CHO, nous avons constaté que l'autorité algorithmique des blockchains ne peut faire abstraction de la confiance classique, et de ses formes à la fois relationnelles et institutionnelles. Cela nous amène à prendre position du côté des critiques de l'affranchissement de la confiance et à réfuter l'absoluité de l'ancrage « Trust-Free » qui domine la littérature. Nous inférons, en d'autres termes, que si la réalisation de l'idéal libertarien de la cryptoéconomie paraît encore lointaine pour De Filippi (2019), pour ne pas dire impossible, la vision d'un système alimentaire décentralisé, affranchi de confiance et exclusivement dirigé par la Lex Cryptographica nous semble encore plus irréaliste. Il va sans dire que notre argument se base sur le fonctionnement présent du système alimentaire mondial et sur la maturité actuelle de la technologie blockchain et des chaînes d'approvisionnement. Afin de justifier notre positionnement, nous choisissons de formuler notre argumentaire autour de deux limites majeures de l'autorité algorithmique qui ont émergé de notre analyse du cas CHO. Celles-ci seront détaillées dans les sous-sections suivantes. Les tableaux 6-1 et 6-2 synthétiseront les éléments de notre discussion sur les antécédents et les barrières à l'émergence de l'autorité algorithmique en contrastant avec la littérature actuelle sur les blockchains dans les ASCs.

6.1.1 Le problème de la grappe industrielle

En s'appuyant sur la définition de Lustig et Nardi (2015, p. 743) de l'autorité algorithmique, il est raisonnable d'assumer que l'affranchissement total de la confiance sociale dans les ASCs repose sur la prémisse que tous les acteurs de la chaîne alimentaire, voire de l'écosystème transactionnel, perçoivent la fiabilité de l'algorithme et qu'ils fassent confiance à la blockchain. Chen *et al.* (2020) appellent cette contrainte, « *l'adoption de la grappe industrielle* » dans leur analyse thématique sur les barrières à l'adoption de la technologie. Celle-ci fait référence aux défis que représente l'adoption réussie par un nombre suffisant d'acteurs en vue d'amorcer la collaboration sur la blockchain (2020, p. 926). Concrètement, notre analyse du cas CHO a fait émerger des barrières environnementales, fonctionnelles et psychosociales à la diffusion de la confiance technologique. Comme « la diffusion de l'utilisation des solutions blockchains est nécessaire pour exploiter la pleine valeur commerciale de la technologie » (Jensen *et al.*, 2019, p. 240, traduction libre), il peut être argué que l'évolution de la grappe industrielle dépendra de la capacité des blockchains à composer avec ces barrières qui commandent, de fait leur existence, un recours indispensable aux mécanismes sociaux de la confiance. Les principales barrières sont résumées dans le tableau 6-1.

		Constats et résultats de notre analyse du cas CHO	Positionnement par rapport à la littérature	
Facteurs d' influence sur le développement et la généralisation de l' autorité algorithmique dans le secteur de l' agroalimentaire	Contraintes de la grappe industrielle	Contraintes environnementales	<ul style="list-style-type: none"> • Défaut et/ou multiplication des standards industriels et des normes de production et d'identification de produit; • Disparités matérielles et logicielles entre les parties prenantes • Fracture techno-culturelle dans le secteur • Non perception de la valeur ajoutée de la technologie et résistance au changement 	<p>- Confirmation empirique des contraintes identifiées par Galvez <i>et al.</i> (2018), Kshetri (2018), Rogerson et Parry (2020), Chen <i>et al.</i> (2020) et des barrières externes et inter-organisationnelles de Vu <i>et al.</i> (2021).</p> <p>- Généralisation du champ d'interprétation du first-mile de Alles et Gray (2020), Catalini et Gans (2020) et Rogerson et Parry (2020), en tant que contrainte de fiabilité socio-technologique</p>
		Contraintes fonctionnelles	<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes liées à l'interopérabilité et le manque de flexibilité du système : <ul style="list-style-type: none"> - Non compatibilité de la blockchain avec l'infrastructure matérielle et logicielle existante (en amont et en aval) - Nécessité d'uniformiser le processus d'ingestion des données (data pipeline) sur l'ensemble de la chaîne logistique - Complexité lors de la migration des données entre les registres blockchain faute de référentiel et de dictionnaire commun pour les données • Réduction de la flexibilité organisationnelle et de la capacité à s'adapter aux variations externes. 	<p>-Pertinence des variables psychologiques identifiées par Bosona et Gebresenbet (2013) pour les solutions ERP et de la corrélation entre l'autorité algorithmique et la perception de valeur ajoutée (Fleischmann et Ivens, 2019).</p> <p>-Appui de l'approche d'intégration employée par Hu <i>et al.</i> (2021).</p> <p>- Pertinence de l'approche de Al-Rakhami et Al-Mashari (2022) dans le contexte des blockchains applicatives</p> <p>- Réflexion critique sur les propositions de Sylvester (2019); Tripoli et Schmidhuber (2020), Blaha et Katafono (2020).</p> <p>Appui de l'argument de l'entreprise élargie (et de la gouvernance étendue) de Jensen <i>et al.</i> (2019)</p>
		Contraintes psychosociales	<ul style="list-style-type: none"> • Évaluation de la fiabilité de l'artefact soumise à la rationalité limitée des membres de l'ASCs et à des biais cognitifs (Non-maitrise des aspects techniques chez les utilisateurs de la technologie, effet de vérité illusoire, etc). • Vulnérabilité de l'ASC à la fiabilité d'acteurs externes (ex : fournisseur BaaS, développeurs, etc.) 	<p>-Confirmation de Batwa <i>et al.</i> (2021), Glaser <i>et al.</i> (2019) sur la relation entre l'autorité algorithmique et la fiabilité des développeurs.</p> <p>-Corroboration des attentes surévaluées soulignées par Blanchard (2019) et Xiong <i>et al.</i> (2020), justifiant la tendance à l'échec de Kamilaris <i>et al.</i> (2019)</p>

Tableau 6-1 Sommaire de la discussion sur les barrières au développement de l'autorité algorithmique à l'échelle de la grappe industrielle

6.1.1.1 Barrières liées à l'environnement externe de l'organisation

Les principales contraintes environnementales qui ont émergé de l'étude de cas sont l'absence de normes et de standards pour la traçabilité alimentaire dans certains pays en développement, la primitivité des pratiques de la production agroalimentaire, la fracture numérique chez les producteurs et leur résistance aux changements, ou encore, l'immaturité de la culture de la traçabilité technologique aux deux extrémités de la chaîne d'approvisionnement. Ces contraintes, que l'on peut d'ailleurs résumer en un seul phénomène *de fracture technoculturelle*, sont listées dans l'étude de Bosona et Gebresenbet (2013) et leur analyse des barrières à l'implémentation des systèmes de traçabilité intégrés dans le secteur alimentaire, qui a été conclue par une réflexion critique sur la maturité du secteur. Considérant que les mêmes problèmes identifiés par les auteurs il y a dix ans persistent encore et que l'intégration de la blockchain est nettement plus complexe et technique que celle d'un système de gestion intégrée, il nous paraît raisonnable de remettre également en question la maturité de l'industrie alimentaire et sa capacité à recevoir les blockchains. Notre questionnement est légitimé par le fait que les entreprises doivent déjà avoir un système de traçabilité fonctionnel et une stratégie de gestion adaptée pour réussir un projet blockchain, la maturité de la chaîne logistique ayant aussi été identifiée comme un antécédent de la commodité et un facteur de succès de la transition chez CHO. Ces constats sont en phase avec les conclusions de Vu *et al.* (2021) et Chen *et al.* (2020) sur les barrières à l'implémentation de la technologie. Ils rejoignent aussi le point de l'expert en économie Carlo Meijjer qui prévient, dans un article sur Finextra, que le succès d'un projet blockchain réside à 80% dans les processus et l'organisation, et seulement à 20% dans l'implémentation de la technologie (De Meijer, 2020). Or, il est évident que le secteur alimentaire fait défaut sur les plans de la standardisation et de l'intégration, ce qui a justement amené la FAO et d'autres institutions à proposer la blockchain en premier lieu (Blaha et Katafono, 2020; Sylvester, 2019; Tripoli et Schmidhuber, 2020). Concrètement, c'est à se demander si le 1% des organisations complètement traçables identifiées dans le sondage de Matzembacher *et al.* (2018), suffit pour dire que l'industrie est suffisamment mature pour faire face au problème de la grappe industrielle et diffuser la confiance algorithmique.

6.1.1.2 Barrières fonctionnelles

La deuxième classe de contraintes, que nous qualifions de fonctionnelles, relève des problèmes techniques de la blockchain qui se heurtent à la perception de la fiabilité de l'artefact et en

l'occurrence - dans la même logique de causalité que celle de Gefen et al. (2003) - à l'adoption et la diffusion de la technologie. Les deux problèmes fonctionnels les plus évidents que nous avons identifiés étaient le manque de flexibilité et d'interopérabilité. Ceux-ci remontent directement au design architectural de la blockchain et au fait que la synchronisation entre ses mécanismes nécessite une uniformité au niveau des informations stockées sur le registre. L'algorithme de Food Trust, par exemple, nécessite un format spécifique de données XML, avec une présentation spécifique selon le standard du GS1. Les données seront assimilées par l'API Connector de Food Trust et hachées selon le standard SHA 256, puis traitées et enregistrées de manière définitive en tant que données JSON sur le registre de Fabric selon une hiérarchie de stockage qui a été définie dans le code de base du système. Cette contrainte d'uniformité, généralement omise des discussions académiques sur les barrières à l'implémentation des blockchains dans le secteur agroalimentaire, a un effet négatif double sur la commodité et la prévisibilité, et en l'occurrence sur l'émergence de la confiance technologique :

Premièrement, la rigidité de l'artefact rend son intégration dans l'infrastructure technologique existante complexe, complexité qui est amplifiée par les contraintes environnementales que nous avons précédemment évoquées, à tel point que le problème du « first mile » d'Alles et Gray (2020), ou le « last mile » de Catalini et Gans (2020) ne sont plus une question de confiance sociale uniquement comme il est suggéré par les auteurs, mais plutôt une contrainte de fiabilité socio-technologique puisqu'elle se reflète aussi sur la confiance technologique¹¹². Une solution qui permettrait potentiellement d'atténuer les frictions du last mile lors de l'embarquement des flux serait de développer des innovations complémentaires, comme il est suggéré par Catalini et Gans (2020). Chez CHO cela s'est traduit par le développement d'une plateforme intermédiaire de stockage que nos participants appellent « système blockchain interne ». Le rôle de ces interfaces est de standardiser le flux informationnel issu des systèmes traditionnels de l'entreprise de manière à l'adapter aux exigences de la blockchain. L'utilisation de plateformes intermédiaires a aussi pour avantage de réduire la dépendance opérationnelle aux fonctionnalités de la blockchain et de rendre plus facile le transfert des flux sur le registre distribué. D'ailleurs, il est intéressant de réfléchir à la pratique de la computation périphérique que Hu *et al.* (2021) ont adoptée pour composer avec les

¹¹² Cette section se concentre sur l'aspect technique du first mile avec un regard critique sur les caractéristiques fonctionnelles des blockchains. L'angle de la fiabilité sociale de celui-ci sera abordé dans la section 6.1.2.1

problèmes de latences et les limites computationnelles de BigchainDB, et qui n'est rien d'autre qu'un serveur de stockage et de traitement intermédiaire à partir duquel les auteurs procèdent à la migration de leurs données. Toutefois, si le stockage intermédiaire semble fonctionner pour Hu *et al.* (2021) et CHO qui possèdent un point unique de migration de données, nous ne pouvons pas confirmer la viabilité de cette approche dans un contexte d'intégration plus large, en ce qu'il s'agit là d'un terrain empiriquement inexploré dans les blockchains privées appliquées aux chaînes alimentaires.

En plus des contraintes d'interopérabilité avec les systèmes existants, notre analyse a révélé que le transfert des flux au sein même de la blockchain peut être contraignant. Dans notre cas, ce problème était essentiellement dû au défaut réglementaire et à l'absence de standardisation globale dans l'industrie alimentaire. Tandis que le marché nord-américain utilise un standard d'identification à 12 chiffres, le reste du monde utilise un standard à 13 chiffres, d'où l'incompatibilité des flux informationnels même s'ils sont déjà stockés sur le même registre. Rappelons également la remarque de Bosona et Gebresenbet (2013) selon laquelle les chaînes d'approvisionnement alimentaire opéreraient dans un environnement complexe qui se caractérise par un chevauchement d'intérêts et d'influences à la fois géopolitiques, institutionnelles, humanitaires et environnementales. Ces éléments renvoient au rôle des structures politiques nationales et internationales et la nécessité d'adapter les règles et les standards de traçabilité pour la diffusion des technologies à l'échelle de la grappe industrielle. Notre réflexion est alignée aux résultats de l'analyse thématique de Chen *et al.* (2020), qui soulignent l'importance de mettre en place un accord global qui spécifie le format de données et la configuration de la blockchain dans l'industrie alimentaire. Elle est également partagée par Jensen *et al.* (2019) qui concluent leur étude du cas TradeLens en mettant en exergue la nécessité de faire évoluer les modèles de la gouvernance sociopolitique et de standardiser les applications de la blockchain à mesure que la technologie se diffuse (p. 240, traduction libre).

Une autre contrainte d'uniformité bien connue dans le domaine des blockchains publiques et dans les applications financières de la technologie porte sur la différence entre les protocoles de chaque blockchain (Al-Rakhami et Al-Mashari, 2022; Khan *et al.*, 2021). Même si le problème n'a pas émergé dans notre analyse de la chaîne de CHO considérant que ses partenaires sont sur Food Trust, nous ne pouvons omettre le fait que la diffusion des blockchains applicative, dont la BIS liste une

quinzaine dans son analyse de l'industrie agroalimentaire (BIS, 2022). Le secteur devra tôt ou tard composer avec ce problème, y compris CHO s'ils veulent élargir la portée de leur chaîne. Nous nous permettons cette assomption sur la base d'une publication récente par Al-Rakhami et Al-Mashari (2022) qui analysent les différences protocolaires entre plusieurs blockchains et anticipent leurs répercussions sur la logistique industrielle. Ces différences créent un état de désarroi dans la sphère applicative, ajoute Meijer, qui en empêchant les réseaux de communiquer, peut rendre l'adoption de masse des blockchains très complexe (De Meijer, 2020).

Pour finir avec les aspects fonctionnels des blockchains, il convient de préciser que la technologie dispose également de fonctionnalités fortement favorables à l'émergence de la confiance technologique et à la diffusion de la grappe industrielle (tableau 6-2) Concrètement, l'importance que nos participants accordèrent aux aspects de transparence, d'immutabilité et de traçabilité est définitivement à ne pas négliger. Sachant que le lien entre ces attributs et l'émergence de la confiance initiale dans la technologie ne manque pas d'appuis théorique et empirique dans la littérature, nos résultats s'ajoutent au corpus existant (ex. Brookbanks et Parry (2022); Fleischmann *et al.* (2020b); Garaus et Treiblmaier (2021); Ostern (2018); Wallbach *et al.* (2020), etc.). En plus de ces trois facteurs, notre recherche a identifié la flexibilité modulaire et les contrôles d'accès comme des catalyseurs vraisemblables de la fiabilité de l'artefact. L'intégration du MSP, d'une part, permet à l'organisation de contrôler les permissions d'accès aux informations de chaque catégorie d'acteurs dans le canal organisationnel. Ce point est particulièrement important, expliquent Joo et Han (2021), considérant la dynamique compétitive caractéristique du système alimentaire et l'importance de maintenir un certain seuil de confidentialité et de sécurité entre les organisations concurrentes. C'est justement la combinaison des composantes KPI, du fonctionnement par canaux, du CA et du MSP qui amène les auteurs à la conclusion que les blockchains à permissions, comme Hyperledger Fabric, sont les plus adaptées aux usages des ASCs (2021, p. 1). Nos résultats de la section 5.2.1.1.1 sur le contenu d'une information nous permettent d'appuyer la déclaration des auteurs. D'autre part, notre analyse du cas CHO a également relevé l'importance de la flexibilité applicative, qui permet aux organisations adhérentes de développer des Dapps personnalisées. Même si cette flexibilité ne fut, dans notre cas, que partielle et relative puisque la couche applicative est exclusivement contrôlée par IBM, les organisations peuvent choisir entre différents modules applicatifs configurés et optimisés aux besoins de l'industrie. Nos

observations solidifient l'argument théorique selon lequel les contrats intelligents et les fonctionnalités de la couche applicative bonifient les croyances de fiabilité dans l'artefact (ex, Hu *et al.* (2021), Borah *et al.* (2020), Jahanbin *et al.* (2019), Bossauer *et al.* (2019), etc.). Il est d'ailleurs vraisemblable que le modèle applicatif actuellement adopté par Food Trust, et caractéristique de l'approche BaaS, soit préférable pour l'application de la technologie dans le secteur alimentaire. Cette avance se base sur les analyses de Vu *et al.* (2021) et Chen *et al.* (2020) où le manque de connaissances techniques et de maîtrise des algorithmes blockchain a été identifié comme une barrière importante à l'adoption de la technologie chez les acteurs de l'ASCs. La causalité entre la compétence du fournisseur de solution et la commodité que nous avons identifiée dans notre analyse du cas CHO est aussi représentative de la pertinence de BaaS.

		Constats et résultats de notre analyse du cas CHO		Positionnement par rapport à la littérature sur les BC dans les ASCs
Facteurs d' influence sur le développement et la généralisation de l' autorité algorithmique dans le secteur de l' agroalimentaire	Antécédents de la confiance dans l' artefact blockchain	Facteurs liés aux fonctionnalités de l'artefact	<ul style="list-style-type: none"> • Décentralisation de la gouvernance et du contrôle des données de l'entreprise (d'administrateur, dans le cas d'une blockchain privée) • Immuabilité cryptographique et transparence des flux informationnels le long de la chaîne d'approvisionnement • Consolidation des sources de données dans un registre distribué et partagé entre l'ensemble des parties prenantes • Adaptabilité de la solution aux besoins organisationnels grâce à l'architecture modulaire et aux contrôles sur les canaux • Stabilité du système et tolérance aux pannes 	-Concordance avec Batwa <i>et al.</i> (2021) et adaptation du modèle aux ASCs. -Corroboration des résultats Joo et Han (2021) sur les antécédents de l'autorité algorithmique dans les ASCs -Généralisation des facteurs identifiés par Ostern (2018), Wallbach <i>et al.</i> (2020) et Fleischmann <i>et al.</i> (2020a,2020b) au ASCs. - Résultats sur l'importance des SMs et du contrôle applicatif confirment la logique de Jahanbin <i>et al.</i> (2019) et Borah <i>et al.</i> (2020). - logique de l'institutionnalisation en ligne avec l'argument de Longo <i>et al.</i> (2019) et la confiance systémique de Hu <i>et al.</i> (2021).
		Facteurs liés aux impacts opérationnels de l'artefact	<ul style="list-style-type: none"> • Meilleure gestion et standardisation des flux informationnels. • Optimisation des processus de dépistage (raccourcissement des délais et réduction de la complexité d'administration). • Responsabilisation séquentielle et contrôle augmenté grâce à l'institutionnalisation de la blockchain. 	
		Facteurs liés aux impacts organisationnels et stratégiques de l'artefact	<ul style="list-style-type: none"> • Rentabilité économique et accès à de nouveaux marchés • Renforcement de la confiance entre les acteurs de l'ASCs et promotion de la réputation des parties prenantes. • Predisposition à intégrer les ASCs des leaders industriels. • Effet de réseau bilatéral et effet de la chaîne de la confiance composée. 	- Confirmation de Sander <i>et al.</i> (2018), Scuderi <i>et al.</i> (2019), Cao <i>et al.</i> (2021), Garaus et Treiblmaier (2021), Brookbanks et Parry (2022) - Corroboration des facteurs d'adoption de Vu <i>et al.</i> (2021) et Chen <i>et al.</i> (2020)
		Facteurs liés à l'impact sectoriel de l'artefact	<ul style="list-style-type: none"> • Bonification de la concurrence entre les acteurs du secteur et amélioration de la symétrie informationnelle • Développement d'alliances collaboratives axées sur la qualité des produits et les besoins des consommateurs finaux • Promotion de l'innovation technologique dans le secteur agricole • Promotion d'un écosystème alimentaire durable et interconnecté 	- Confirmation des hypothèses de Sylvester (2019), Kshetri (2018), Saberi <i>et al.</i> (2019), Blaha et Katafono (2020) Tripoli et Schmidhuber (2020) sur l'impact socio-économique des blockchains

Tableau 6-2 Synthèse de la discussion sur les antécédents de l'autorité algorithmique dans les le contexte des ASCs

6.1.1.3 Barrières psychosociales

La troisième et dernière contrainte liée à l'adoption de la grappe industrielle, que nous qualifions d'humaine ou psychosociale, relève du fait que le développement de la confiance technologique est soumis à la rationalité limitée des différents acteurs de la chaîne d'approvisionnement, limites à la fois procédurales et substantielles. Il en résulte une incertitude qui n'est ni environnementale, ni comportementale, mais nichée dans l'esprit humain (Simon, H. A., 1978). Concrètement, ce que nous considérons être une rationalité procédurale est en ligne avec la conceptualisation Simonienne selon laquelle le décideur aurait tendance à opter pour l'abandon de la *maximisation rationnelle* au profit de la *satisfaction du choix*, « à la lumière des capacités cognitives humaines et des limites dans les procédures dont le décideur dispose pour faire son choix » (p. 9, traduction libre). Cette limite relève du fait que chaque réseau blockchain est un système complexe, composé de plusieurs composantes infrastructurelles et applicatives, et chacune de ses composantes est complexe, en soi. Une prise de décision rationnelle quant à la fiabilité de l'artefact et la portée de son autorité algorithmique requiert des connaissances ponctuelles avancées et une maîtrise complète des aspects techniques et algorithmiques de la technologie. Or, il est évident que ces connaissances sont absentes chez la plupart des acteurs industriels, comme nous l'avons précédemment évoqué, concrétisant ainsi le postulat de Simon selon lequel la rationalité de l'humain demeurera toujours *procédurale, limitée et intuitive*, et que le processus de décision s'arrêtera à la première solution qui satisfait. Une parfaite illustration de cette intuitivité et de l'écart entre la norme objective de la rationalité et le jugement subjectif du décideur, est l'effet de la vérité illusoire que nous avons identifié chez les dirigeants et responsables de CHO lorsque nous les avons questionnés sur l'immutabilité.

Pour ce qui est des limites de la rationalité substantielle que Simon définit comme « la mesure dans laquelle les actions appropriées sont choisies » (p. 9, traduction libre), elle n'est rien d'autre qu'un reflet sur la partialité de l'information à disposition du décideur et l'incertitude du futur, incertitude qui peut influencer l'objectivité et l'impartialité de l'évaluation cognitive. Ce problème est particulièrement valable pour le cas des blockchains privées, où seul le propriétaire du système a la propriété complète de l'information et que les motivations de ce dernier sont souvent incertaines. Comme le fait valoir De Filippi (2019), l'idée qu'un système puisse être conçu pour être totalement impartial, non biaisé, ou apolitique par rapport aux institutions existantes ignore le fait que « tout

système sert à une fin» (p. 7), ce qui inclut le choix d'être impartial. Pour tout fournisseur de solution blockchain, les motivations déclarées sont la rentabilité économique et la *révolution de la blockchain*, tant convoitée par Tapscott et Tapscott (2016). La concrétisation de la vision d'un système alimentaire global affranchi de confiance donnerait toutefois aux fournisseurs de solutions un contrôle absolu sur les informations de l'ensemble du secteur alimentaire, ce qui n'est rien d'autre d'ailleurs, pour ouvrir une parenthèse, qu'un retour camouflé à la centralisation institutionnelle. Les prémisses de ce contrôle sectoriel sont déjà apparentes dans la chaîne logistique de CHO, qui, à mesure qu'elle s'intègre, devient de plus en plus dépendante de la *prévisibilité* de Food Trust, pour ne pas dire la *fiabilité* de IBM. Cette tendance induit une remise en question de l'argument de la désintermédiation, selon lequel la prolifération des blockchains réduirait progressivement le pouvoir des intermédiaires de confiance (Catalini et Gans, 2020, p. 82). Plutôt, nous arguons que la prolifération des blockchains applicatives redistribue les pouvoirs et les autorités des intermédiaires dans l'environnement transactionnel. Notre argument est en phase avec la littérature sur les applications financières des blockchains, où il est argué que l'autorité algorithmique relocalise la confiance institutionnelle, des acteurs historiques, vers d'autres acteurs nouvellement introduits tels que les plateformes d'échange de cryptomonnaies et les auditeurs (ex. Auinger et Riedl (2018); De Filippi (2019); Lustig et Nardi (2015); Ostern (2018); Sas et Khairuddin (2015); etc.).

Nous clôturons cette section sur les barrières psychosociales avec un exemple typique qui reflète comment l'incertitude dans l'environnement de décision augmente la vulnérabilité du décideur. La situation que nous illustrons est celle du DAO, réputé pour être l'un des événements les plus polémiques de l'histoire d'Ethereum. Pour résumer, une vulnérabilité dans le code source de la première Organisation Autonome Décentralisée d'Ethereum a permis à un attaquant, possiblement l'un des concepteurs du DAO, de siphonner les fonds investis dans l'organisation. La rationalité procédurale limitée peut être observée dans la décision des particuliers d'investir dans un DAO, dont le code source comprenait une faille. La limite dans la rationalité substantielle, d'un autre côté, est reflétée par les comportements incertains du concepteur du système.

6.1.2 Les limitations institutionnelles de l'autorité algorithmique

Nous avons, jusqu'à présent, discuté les contraintes environnementales, psychosociales et fonctionnelles qui font des barrières à la diffusion de la blockchain dans la grappe industrielle. La deuxième partie de notre argumentaire sur les limites de l'autorité algorithmique est une remise en question de son signal institutionnel, portée qui, dans sa limite, rend « l'industrialisation des blockchains » de Berg et al. (2017) un modèle économique de risques et de vulnérabilités. Cette vulnérabilité est une évidence concrète que les blockchains ne peuvent pas remplacer complètement la confiance sociale dans les chaînes d'approvisionnement. La vulnérabilité que nous soulevons a été identifiée à deux niveaux : celui de l'organisation, et son meso-environnement. Cette sous-section discutera les limites de *l'institutionnalisation algorithmique* dans chaque niveau d'incertitude, puis reflètera sur l'applicabilité de la thèse *Williamsonienne* à la gouvernance des blockchains, avec un regard critique sur les systèmes à permissions.

6.1.2.1 La vulnérabilité organisationnelle ou micro-organisationnelle

Le premier niveau regroupe les acteurs responsabilisés de la production des flux physiques et informationnels et de leur enregistrement sur la blockchain tout au long du processus de production. Il peut s'agir d'un ensemble d'entités individuelles qui documentent le flux informationnel au fur et à mesure que la production prend place, ou d'entités organisationnelles si le téléchargement des flux comprend un seul point de saisie sur la blockchain. Considérant que ces acteurs sont socio-économiquement situés et que la bienveillance de l'humain peut se heurter à son opportunisme enraciné, nous arguons que le recours exclusif à l'institutionnalisation des blockchains expose l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement à une deuxième forme de vulnérabilité inévitable dans les *first* et *last* miles d'Alles et Gray (2020) et Catalini et Gans (2020). Cette forme de vulnérabilité avait été identifiée dans notre revue de la littérature comme étant le problème du GIGO, ou le « *Garbage-in-Garbage-Out* »¹¹³.

En outre, notre recherche solidifie l'argument des détracteurs du Trust-Free selon lequel la jonction entre les sphères physiques et numériques est un environnement de méfiance (Bodo, 2020) et de

¹¹³ La vulnérabilité environnementale induite par les contraintes fonctionnelles du last mile ont été abordées à la sous-section 6.1.1.1. La présente sous-section se concentrera sur la vulnérabilité comportementale au sens de la confiance socio-économique. Elle reprend concrètement la définition du GIGO, tel que nous l'avons introduit dans notre revue de la littérature.

« confiance zéro » » (Powell *et al.*, 2022) et que l'autorité algorithmique est compromise par la portée de son signal institutionnel qui se limite à l'instauration de l'ordre comportemental *on-chain*. Le problème que nous évoquons concrètement est celui de la source de la fiabilité de la source de l'information enregistrée sur la blockchain, fiabilité qui ne peut être asservie par les mécanismes d'une blockchain privée. Il ne s'agit pas uniquement d'un problème d'intégrité et de bienveillance, mais aussi d'un problème de compétence. Cet aspect, bien que souvent omis des discussions, est particulièrement important lorsqu'il s'agit de produire des denrées alimentaires étant donné les enjeux de périssabilité et de sécurité. Concrètement, l'intégration de la blockchain ajoute un palier supplémentaire d'exigence aux compétences requises pour gérer ou même utiliser le système. Certes, l'utilisation d'une formule BaaS, peut contribuer à la réduction de cette complexité puisqu'elle transfère la responsabilité de gestion et de maintenabilité du système et ses composantes logicielles et matérielles à une entreprise, dont le cœur de métier est la technologie. Le fait demeure toutefois que des compétences internes sont requises lorsqu'il s'agit de manipuler la technologie, d'autant plus que toute erreur commise est irrévocable et ne peut que très difficilement être corrigée. Nous pouvons dans ce contexte souligner l'importance des liens intra-organisationnels chez CHO, ceux-ci se reflétant dans les ressources que l'entreprise a mobilisées pour la formation de ses employés à l'utilisation de la blockchain.

L'incertitude est d'ailleurs particulièrement élevée lorsque la consolidation des flux informationnels et physiques qui implique une saisie manuelle de données sur l'interface de la blockchain, ou lorsque l'information est accumulée dans des passerelles intermédiaires telles que des bases de données internes ou des stockages infonuagiques avant d'être transférée vers le registre. De telles pratiques, dont le recours est le plus souvent dicté par les conditions contextuelles et la réalité pratique de la chaîne d'approvisionnement décrite par Bosona et Gebresenbet (2013), commandent un recours indispensable à la confiance sociale et à ses mécanismes de production. Le modèle CHO compense la limite du signal institutionnel par un recours à la normalisation des processus et à l'intermédiation, cette dernière étant reflétée par la centralisation des permissions de saisie sur le registre. Ce modèle est toutefois au cœur de l'interrogation critique de Howson (2020) sur la valeur ajoutée de la blockchain : « Si le recours à un tiers s'impose pour concilier la complexité des conflits de saisies incorrectes de données dans la chaîne d'approvisionnement,

délibéré (par un acteur malveillant) ou par erreur (par faute humaine), une question se légitime alors. Pourquoi la blockchain ? » (p. 5, traduction libre).

Il convient aussi de ne pas confondre *automatisation et absoluité*, et être porté à croire que la substitution de la saisie manuelle par des oracles permettrait de surpasser le risque GIGO et ses retombées incertaines. D'une part, toute la production d'informations se réalise en dehors du périmètre de la blockchain et est prise en charge d'autres composantes de la chaîne logistique. En nous basant sur l'expérience de Blaha et Katafono (2020), nous avançons que ces mécanismes demeurent vulnérables à la manipulation et l'opportunisme humain, ce qui fait de l'autorité algorithmique absolue, un *demi-mythe en pleine pratique* (Mik, 2017). Cela pourrait d'ailleurs expliquer les doutes consignés chez un membre de la direction de CHO quant à l'automatisation complète du processus. D'autre part, l'intégration complète de la solution apporte un tout nouvel amas de problèmes et d'incertitudes technologiques dont nous ne pouvons anticiper la portée. Il peut être pertinent, dans ce contexte, de se rappeler les limites *computationnelles* de BigchainDB identifiées par Hu *et al.* (2021), où les délais de chargement et de téléchargement que nous avons identifié dans notre étude de cas. Ces contraintes de prévisibilité nous amènent à nous interroger sur les capacités des blockchains, en tant que bases de données, à fonctionner dans un contexte d'intégration absolue sans contraindre la continuité opérationnelle et la performance de la chaîne d'approvisionnement¹¹⁴. Notre raisonnement sur l'importance de la confiance sociale dans un contexte d'automatisation a un solide appui dans d'autres champs d'applications des blockchains où une injection externe de flux d'informations est requise. Nous citons les applications en droits par exemple, pour corroborer Eenmaa-Dimitrieva et Schmidt-Kessen (2019) et Werbach (2018b), l'économie de partage comme l'avait prédits Hawlitschek *et al.* (2018), l'administration médicale comme le démontrent (Shao *et al.*, 2020) ou encore les transports logistiques où les limites de l'autorité algorithmique sont clairement définies par Jensen *et al.* (2019) et son étude de la plateforme TradeLens de la IBP.

¹¹⁴ Notre argument va au-delà des problèmes d'interopérabilité et assume que la blockchain est parfaitement intégrée à la chaîne logistique de l'entreprise.

6.1.2.2 La vulnérabilité meso-environnementale

Issue de l'économie industrielle, la notion du meso-environnement renvoie à la capacité d'une organisation à s'intégrer dans l'économie générale et à s'adapter aux changements dans son secteur d'activité industrielle. Concrètement, ce que nous considérons être des facteurs de vulnérabilité meso-environnementale pour les acteurs de la chaîne d'approvisionnement, sont les contraintes qui réduisent la flexibilité de l'organisation et sa capacité à s'adapter aux dynamiques de marché. Le problème que nous soulevons avec l'utilisation de la blockchain, au reflet de ses limites institutionnelles dans ce contexte, est le suivant :

Il est indéniable que l'utilisation d'une blockchain positionne l'entreprise industrielle dans le quadrant de « l'unification opérationnelle » dans la matrice architecturale de Ross *et al.* (2006, p. 45-67), ce qui signifie qu'elles maximisent le degré d'intégration et de standardisation des processus. Nous pouvons même argumenter, dans la même veine que De Meijer (2020) et Chen *et al.* (2020), que l'unification est une condition à l'utilisation de la blockchain et non pas une conséquence de celle-ci, en raison des exigences d'uniformité que nous avons déjà abordées. Or, contrairement à l'exemple de Delta Airlines que Ross *et al.* (2006, p. 54) utilisent pour valoriser le modèle et pour vanter les mérites de sa flexibilité modulaire, tout processus « unifié » par la blockchain devient érigé dans le béton. Cela a pour conséquence inévitable d'augmenter la vulnérabilité méso-environnementale de l'organisation, ainsi que son exposition au Whipbull Effect. Le processus est essentiellement touché à deux endroits : au niveau de ses activités, et dans l'infrastructure technologique au support de ses activités. Concrètement, le manque de flexibilité, opérationnelle, d'une part, relève du fait que la mise en application fonctionnelle d'une blockchain exige que le processus de production intégral, y compris le séquençement des flux et les métadonnées de l'entreprise, soit préalablement embarqué lors de l'intégration du système. Considérant le défaut de commodité et la complexité liée à l'intégration, il peut être contraignant et relativement coûteux pour une entreprise de modifier ses processus ou même d'adapter ses activités aux variations de l'environnement une fois qu'elle a intégré la blockchain. Les coûts auxquels nous portons l'attention, dans ce contexte, sont les frais *d'adaptation*, frais qui sont souvent négligés dans la littérature, à contrario des coûts d'implémentation et de gestion (ex. Batwa et Norrman (2021); Chen *et al.* (2020); Rocha *et al.* (2021); Vu *et al.* (2021)).

Pour ce qui est du manque de flexibilité au niveau de l'infrastructure technologique, elle relève principalement de la rigidité de l'artefact. Cette rigidité peut devenir d'autant plus problématique lorsque plusieurs organisations sont embarquées sur une même blockchain – *et que la chaîne de la confiance composée est complétée* – en raison des interdépendances organisationnelles et opérationnelles entre acteurs de la chaîne d'approvisionnement. Concrètement, l'adaptation du scénario d'embarquement devient un enjeu collectif et non pas seulement intra-organisationnel, et c'est l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement qui devient vulnérable aux variabilités meso-environnementales. D'ailleurs, il est intéressant de reprendre Jensen *et al.* (2019) et leurs recommandations adressées aux organisations du secteur du transport logistique qui s'alignent à notre présent argument. Les auteurs préviennent les dirigeants d'entreprises que l'utilisation de la blockchain va « au-delà de leur propre performance organisationnelle et de leurs avantages concurrentiels dans l'écosystème transactionnel » (2019, p. 238). Ils avisent également de la nécessité de recentrer les objectifs organisationnels autour d'une stratégie sociopolitique collective, centrée sur la résolution de contraintes sectorielles et inter-organisationnelles et l'amélioration des conditions opérationnelles globales pour maximiser la valeur de la technologie.

En reflétant sur cette dynamique collective, nous nous devons de réfléchir à l'avenir de la gestion dans les chaînes d'approvisionnement et sur l'interprétation même du concept dans cet environnement, où la spécificité des actifs est à son maximum. En effet, si l'autorité algorithmique floute intégralement les frontières opérationnelles de manière que toutes structures organisationnelles ne fassent qu'une chaîne logistique unifiée, la gestion des chaînes d'approvisionnement pourrait devenir analogue à l'entretien et au pilotage des infrastructures matérielles et logicielles utilisées par les acteurs dans le cadre de leurs activités de productions respectives. Dans la forme, cette conceptualisation du système alimentaire n'est pas si différente de la firme mécanique contestée par Coase *et al.* (1987). Nous développerons notre position sur celle-ci dans la prochaine sous-section qui s'appuie sur la logique économique Néo-Institutionnelle.

6.1.2.3 La perspective de la nouvelle économie institutionnelle et des coûts de transaction

Comme nous ne pouvons parler de *cognition* sans aborder la rationalité, il nous semble également inévitable de discuter de *l'organisation socio-économique* lorsqu'on parle d'institutionnalisation. Congrûment, l'une des principales théories à l'appui de la validité conceptuelle du modèle de

l'autorité algorithmique est la thèse néo-institutionnelle que l'on doit à ses trois piliers ineffablement visionnaires, Coase, North et Williamson. Pour reprendre Pietrewicz : « la technologie des blockchains amène de nouvelles modalités de coordination économique et soutient une nouvelle forme d'organisation, ajoutant à la diversité des formes existantes. Par conséquent, il est préférable d'analyser les blockchains du point de vue de la NIE » (2019, p. 128, traduction libre).

La Nouvelle Économie Institutionnelle (NIE) part du principe que les acteurs économiques sont rationnels et qu'ils cherchent à maximiser leurs intérêts propres. Elle s'affranchit de la rationalité instrumentale de l'homo economicus, et modélise un humain limité dans sa rationalité substantielle. Confronté à son environnement, qui est incertain en raison de variables économiques et comportementales, l'acteur s'expose à son incapacité d'élaborer des contrats complets, ce qui le rend d'autant plus vulnérable à l'opportunisme des autres acteurs. Cette dynamique, postule Williamson, augmente les coûts de transaction *ex ante* que l'organisation (*qui correspond à l'acteur*) alloue à la négociation et la recherche d'informations, ainsi que les coûts *ex-poste* qu'elle débourse sur la supervision, et l'arrangement institutionnel le plus efficace est celui qui minimise le risque d'opportunisme avec efficience (Williamson, 1985, p. 388). C'est justement à ce titre que l'autorité algorithmique des blockchains est proposée par les défenseurs du « trust-free » comme étant une institution au sens néo-institutionnel. L'argument principal, que l'on retrouve par exemple chez Davidson *et al.* (2018) et son analogie aux catallaxies, ou chez Glaser *et al.* (2019) avec son concept de plateformes, stipule que la gouvernance des blockchains apporte un nouveau paradigme d'organisation économique qui réduit, potentiellement à zéro, les coûts de transaction à la fois *ex ante* et *ex post*. Or, si nos résultats nous permettent d'appuyer une partie de cette thèse, certaines évidences relevées de l'étude du cas CHO mettent en exergue certaines de ses limites, forçant ainsi notre position nuancée sur l'application de la NIE à la gouvernance des blockchains. Cette position solidifie encore plus notre argument sur la portée limitée de l'autorité algorithmique et démontre son incapacité à faire abstraction des mécanismes socio-économiques de la confiance dans l'environnement de la chaîne d'approvisionnement. Certes, nous pouvons soutenir l'idée que l'utilisation de la blockchain réduit, les coûts de supervision *ex post* puisque son « état partagé de vérité » rend théoriquement obsolète toute tentative de manipulation opportuniste, postérieure à la transaction économique (Magazzeni *et al.*, 2017). La transaction, dans notre cas, s'entend de

l'échange de flux physiques entre les partenaires de la chaîne d'approvisionnement, flux dont les informations sont embarquées sur la blockchain avant l'expédition finale des lots. Ce résultat ne manque d'ailleurs pas d'appuis empiriques et théoriques dont nous avons donné les arguments dans notre revue de la littérature (ex. Xu, J. *et al.* (2020), Xiong *et al.* (2020), Tripoli et Schmidhuber (2020), Chen *et al.* (2020), etc.). Nos résultats suggèrent également que la technologie excelle dans la gestion des flux informationnels et qu'elles améliorent substantiellement l'efficacité et l'efficacité du processus de dépistage, ce qui est aussi aligné à la littérature sur la blockchain et leurs utilisations dans les chaînes d'approvisionnement (ex. Casino, Fran *et al.* (2019); Chen *et al.* (2020); Kamath (2018); Lacity *et al.* (2019); Salah *et al.* (2019); Shahid *et al.* (2020), etc.). L'argument que nous réfutons dans le contexte des chaînes agroalimentaires, est celui de la négation des coûts *ex ante*, soit les coûts alloués à la recherche d'informations et la négociation de contrats (ex Beck, R. *et al.* (2016), Wang *et al.* (2019), etc.). Plutôt, nous arguons que l'utilisation de la blockchain transforme dynamiquement la structure des coûts de transactions en entreprise, ce qui signifie qu'elle élimine certaines dépenses, mais en crée d'autres sur le même chemin.

Les prochains paragraphes sont consacrés à l'interprétation de nos résultats sous le prisme de la NIE. Il importe de souligner que notre argumentaire n'aspire pas à quantifier ni à mesurer le bilan des blockchains, en termes de coûts de transaction, étant donné que les flux financiers de la chaîne d'approvisionnement ont été exclus de notre étude de cas. Cette discussion cherche plutôt à tracer des lignes directrices de réflexion, qui en plus d'adresser l'argument de l'élimination des coûts *ex ante*, pourraient inspirer d'autres recherches sur le sujet.

Premièrement, la conception selon laquelle l'autorité algorithmique éliminerait les coûts de négociation repose sur l'idée que les *contrats intelligents* sont des contrats complets, ce qui nous semble être une rétrograde de logiques qui ne fait que revivre le débat, clos par les deux Oliviers, Williamson et Hart, sur l'incomplétude des contrats. Deuxièmement, nous remettons en question cette conceptualisation de l'écosystème transactionnel qui renvoie à la *firme de nature mécanique*, décrite par Coase *et al.* (1987). La contextualisation du Trust-free représente l'organisation comme une boîte noire dont la mission se réduit à la maximisation de la production standardisée et à l'examen de ses processus opérationnels, à la négligence de ses dimensions organisationnelles et institutionnelles. Comme toute théorie fondamentale, le questionnement Coassien sur les « îlots des pouvoirs conscients dans un océan de coopérations inconscientes », autrefois utilisé pour

justifier la *nature de la firme*, reflète l'imperfection de l'autorité algorithmique et les limites du «Trust- Free » (Coase *et al.*, 1987, p. 136). Concrètement, ce sont les coûts de transaction qui justifient l'existence de la firme et la dynamique de marché. Éliminer ces coûts en faveur de l'autogouvernance par la *Lex Cryptographia* implique la disparition de la firme, ou plutôt sa réduction à une *unité cryptomécanique* de la production standardisée, ce qui n'est rien d'autre que l'un de ces scénarios que Williamson appelle « l'empereur dévêtu » (Williamson, 2008, p. xxiii-xxiv).

Troisièmement, nos résultats indiquent que la mise en place d'un réseau blockchain nécessite un investissement non négligeable dans les infrastructures organisationnelles et logistiques, investissements qui cadrent dans la définition de coûts ex ante de la NIE. Chez CHO, ces coûts se traduisent par l'investissement en capitaux humains et financiers que l'entreprise a alloué pour la mise à niveau de son infrastructure technologique (APIs, interface web intégrée, etc.), ainsi que par l'effort qu'elle mobilise pour l'embarquement de ses producteurs en amont. Il convient également de tenir compte des frais engendrés par les processus de suivi, par les contraintes systématiques et par les processus de vérification que l'entreprise a mis en place pour instaurer la confiance le long de sa chaîne d'approvisionnement. Au sens de la NIE, ces mesures coûteuses sont conçues pour offrir une protection contre l'opportunisme et l'aléa moral (Williamson, 1985). Nous pouvons justement les retrouver dans l'analyse de Catalini et Gans (2020) qui tiennent compte des frictions du « *last mile* » dans leur interprétation des *coûts de vérification*, en soulignant l'ampleur des frais requis pour la mise en place et le maintien des mécanismes de mise en correspondance, entre les événements hors ligne et leur représentation numérique (2020, p. 85). Cette réflexion est aussi partagée par Loebbecke *et al.* (2018), qui concluent leur étude sur les chaînes d'approvisionnements de diamants en soulignant la nécessité d'adapter les cadres d'analyse des coûts/bénéfices, lorsqu'appliqués aux blockchains, de même que Vu *et al.* (2021) qui identifient les coûts d'implémentation et de sous-traitance comme des barrières intra-organisationnelles à l'adoption. Ce que Loebbecke *et al.* (2018), Catalini et Gans (2020) et Vu *et al.* (2021) omettent de leur analyse, et que Galvez *et al.* (2018) estiment faibles et négligeables, ce sont les frais de souscription et de service associés à l'utilisation d'une plateforme BaaS. Concrètement, Si ces frais - dont la forme est sensiblement similaire à celle de coûts d'agence- ont été exclus des analyses parce qu'ils sont négligeables, nos résultats indiquent qu'ils sont significatifs, si significatifs même

qu'ils découragent les clients de CHO de souscrire à son canal blockchain. Sachant que le schéma actuel, et vraisemblablement futur aussi, des blockchains applicatives est celui du modèle BaaS et que la plupart des organisations du secteur agroalimentaire adhèrent à ce modèle en raison des avantages qu'il procure sur les plans de la commodité et de prévisibilité, il nous paraît essentiel de prendre cette variable en considération lors de l'analyse des coûts de transactions. Notre réflexion est d'ailleurs alignée à la recherche de Sun et al. (2020) sur le secteur de l'assurance, conclue par une affirmation que les blockchains ne suppriment pas les coûts de transaction et d'agence, mais pousse à la transformation des deux, pour une meilleure organisation économique (2020, p. 15, traduction libre).

Il est aussi pertinent de réfléchir aux *coûts de networking* décrits par Catalini et Gans (2020, p. 86). Concrètement, si les auteurs suggèrent que les blockchains privées ne bénéficient que d'une réduction dans les coûts de vérification- sous réserve de leur capacité à surpasser le *last mile* - parce qu'elles opèrent sans l'attractivité de *l'incitation participative*, nos résultats montrent que la dynamique de réseau demeure valide dans l'écosystème des blockchains privées, à une différence près : l'économie dans les coûts de networking dans les chaînes publiques est quantifiable en numéraire par l'usage de tokens ou d'incitatifs cryptomonétaires. Celle des plateformes privées, en revanche, est calculable en valeur économique ajoutée pour les acteurs industriels. Le raisonnement sur la réduction des coûts de networking est valable tout au long cycle de vie de l'application blockchain. Durant les phases de lancement ou de « bootstrapping » pour reprendre Catalini et Gans (2020), l'effet de réseau émane des adeptes précoces de la technologie, ces derniers étant généralement de grandes tailles et guidés par des ambitions d'innovation et de positionnement. Ainsi, l'intention de rejoindre l'écosystème dans ses débuts peut décliner d'une ambition de positionnement stratégique, de rentabilité économique, d'innovation technologique ou même d'intérêt socioculturel tel que nous l'avons vu pour CHO. Nous pouvons également nous appuyer sur les facteurs d'adoption identifiés par Chen *et al.* (2020) et Vu *et al.* (2021) pour assoir cet argument. En parallèle, l'implication des acteurs permet au fournisseur de solution d'optimiser son système et de l'affiner aux besoins opérationnels et aux exigences de l'industrie. Nous avons vu cela avec la *table de concentration* de Food Trust et l'histoire du module « document » rapportée par CHO. Naturellement, l'évolutivité du système dépend de la disponibilité fournisseur et sa prédisposition à collaborer avec ses *soi-disant partenaires*, considérant la nature permissionnée du

registre et les restrictions d'écriture sur la couche applicative. Ce que le contexte pandémique nous a appris aussi, c'est que l'évolution de la plateforme durant la phase du bootstrapping est très vulnérable aux conditions contextuelles, comme cela a été souligné par Jensen *et al.* (2019). Le passage des membres de Food Trust du mode *expansion* au mode *survie* a considérablement ralenti la vision de projet. Nonobstant les circonstances exceptionnelles, notre argument sur l'effet de réseau double stipule que le système devient plus attrayant, et procure plus de valeur à l'ensemble des organisations internes et externes, à mesure qu'il se développe et que l'écosystème s'agrandit. Du point de vue de la confiance technologique, cela revient à bonifier les fonctionnalités de l'artefact et sa performance de manière à augmenter sa recevabilité pour les organisations externes et internes. Encore une fois, les commentaires de CHO sur la stabilité du système et l'évolution de l'écosystème Food Trust, qui compte actuellement plus de 500 organisations, sont une parfaite illustration de ce point (Bhattacharyya, 2022).

Toutefois, si la phase de bootstrapping est longue et risquée, les coûts de networking peuvent substantiellement diminuer après l'opérationnalisation et la diffusion dans la grappe industrielle. Comme l'expliquent Jensen *et al.* (2019), « Personne ne veut prendre le risque d'investir dans une infrastructure technologique qui risque de ne pas décoller. Les effets de réseau se feront sentir une fois qu'une masse critique sera connectée, mais entre-temps, la croissance restera léthargique » (p. 236). Le point de masse critique dans le contexte de la gestion logistique correspond au déclenchement de l'effet de la « chaîne de confiance composée », effet dont les prémisses et les dimensions, à la fois explicites et implicites, commencent déjà à se manifester dans les marchés américains. La décision de Walmart d'imposer l'usage de Food Trust à ses fournisseurs de légumes verts, par exemple, montre comment la pression exercée par les membres de la chaîne d'approvisionnement et leur désir de compléter la traçabilité de «bout en bout » pourrait enclencher la diffusion du système (Walmart, 2018). Vu *et al.* (2021) reflètent sur la décision de Walmart et expliquent que « les organisations pionnières ne peuvent négliger la participation des petites entreprises et les pressent en l'occurrence à rejoindre le réseau blockchain » (p. 9, traduction libre). Un autre exemple est celui de l'amendement proposé par la FDA à la FSMA (Food Safety Modernization Act) pour la digitalisation des pratiques de la traçabilité chez les producteurs et transformateurs américains de produits hautement périssables. Bien que le projet de loi ne fasse aucune mention de système spécifique, le commissaire adjoint de la FDA chargé de la politique

alimentaire, Frank Yiannas, a clairement explicité, lors d'une conférence publique de la FDA, sa préférence pour la blockchain, « un game-changer pour la sécurité alimentaire », selon ses dires (FDA, 2019). Ce projet de loi, à l'appui de nos résultats, reflète la manière dont les acteurs du secteur alimentaire devront s'aligner aux exigences de leur environnement externe.

6.2 L'interrelation entre les dynamiques sociales et la confiance algorithmique

Maintenant que nous avons explicité les capacités et les limites de l'autorité algorithmique à travers l'analyse des antécédents fonctionnels et non fonctionnels de la confiance technologique, il convient de tourner notre attention vers notre deuxième sous-question de recherche qui porte sur les antécédents de la confiance sociale et ses mécanismes de production dans les chaînes d'approvisionnement. Nous répondrons parallèlement à notre troisième interrogation en discutant la relation entre les constructions sociologiques et l'autorité algorithmique, relation qui comme nous l'avons mentionné dans nos résultats, est teintée de support et de complémentarité. Concrètement, notre recherche conclut que la dynamique collaborative entre les maillons de la chaîne est principalement catalysée par une confiance sociale, celle-ci étant manifestée à la fois dans les institutions et les relations entre les parties transactionnelles. La dimension institutionnelle est la conséquence de l'arrière-plan sociopolitique dans lequel la chaîne d'approvisionnement et ses membres opèrent. Cet arrière-plan ne peut être substitué par l'autorité algorithmique de la blockchain en raison des frictions du first mile, des enjeux critiques du GIGO dans le secteur agroalimentaire et des « conditions de confiance zéro » caractéristiques des points de consolidation entre les flux physiques et informationnels. Ces conditions, pour reprendre Powell *et al.* (2022, p. 4), commandent le recours à une autorité supérieure pour cadrer l'opportunisme économique et encadrer les comportements incertains. L'autorité en question a été identifiée à deux niveaux dans la chaîne d'approvisionnement de CHO. Elle émane d'une part, des valeurs communes et partagées au sein de la communauté agroalimentaire, qui constituent des institutions implicites au sens de North (1991, p. 97). Même si le signal de celles-ci n'était pas particulièrement significatif, il est intéressant de constater que l'implémentation de la blockchain n'élimine pas la moralité, variable qui a empiriquement fait ses preuves dans le contexte des chaînes d'approvisionnement traditionnelles (Tejpal *et al.*, 2013). Rappelons cependant que notre dispositif de collecte n'a pas été articulé autour des variables morales et que la dimension psychologique de la confiance est exclue de notre cadre conceptuel. Nous nous ne pouvons donc nous prononcer sur la validité du

terme et généraliser son applicabilité aux blockchains. Cela pourrait faire l'objet de recherches futures, où la psychologie de la confiance dans les blockchains ferait exclusivement l'objet de l'étude. En plus des variables implicites, notre recherche confirme l'importance du support institutionnel explicite, et plus précisément celle des processus de normalisation et des institutions formelles incarnées dans les cadres légaux et réglementaires et les contrats. Ces constats sont en phase avec le corpus littéraire abondant des détracteurs du Trust-Free. Ils s'alignent, par exemple, à l'oxymore du « *trustless-trust* » de Werbach (2018b) et aux conclusions de Joo et Han (2021, p. 12) qui, en mettant l'emphase sur les limites de l'autorité algorithmique, consignent l'importance de l'intervention humaine, des lois ainsi que celle des institutions et soulignent leur rôle dans le développement de l'assurance structurelle chez les partenaires. Nous souscrivons aussi à l'hypothèse de Hu *et al.* (2021) sur l'hybridité de la confiance systématique, ainsi qu'à la logique de Powell *et al.* (2022) sur la « *sûreté transactionnelle dans les conditions de confiance zéro* ». L'argument des auteurs stipule que la combinaison de l'assurance structurelle et de la *vérité commune* surpasse la *vérité absolue*, ce qui fait « que les chaînes d'approvisionnement basées sur les blockchains ne précipiteront pas la disparition des contrats juridiquement exécutoire » (p. 4).

En ce qui concerne la relation de complémentarité entre les mécanismes de confiance systématique, rappelons qu'elle a été introduite dans nos résultats sous le prisme de *l'institutionnalisation de l'autorité algorithmique*, autorité que nos participants ont exprimée en évoquant la dualité des barrières morales et physiques et en soulignant l'exposition encourue par l'utilisation de la blockchain. Nous solidifions ainsi l'argument de Werbach (2018b) selon lequel la conjugaison des approches sociales et technologiques pourrait étendre l'architecture existante de la confiance et vraisemblablement donner lieu à de nouvelles modalités interactionnelles; et corroborons la conclusion de Brookbanks et Parry (2022) selon laquelle l'application des blockchains renforce l'assurance structurelle et la confiance chez les maillons de l'ASC. Nos résultats sont aussi alignés avec l'argument de Powell *et al.* (2022, p. 5) sur « la vérité commune pour la validité des données », même si la transparence dans la chaîne d'approvisionnement étudiée n'était que relative puisque la plupart des partenaires de CHO choisissent de ne pas payer pour l'accès aux flux informationnels intégral. Concrètement, il est raisonnable de présumer qu'ils souscriront au module de documents aussitôt qu'un sinistre alimentaire associé aux huiles d'olive éclot. Le registre étant immuable et la traçabilité immédiate, toute différence entre les *vérités communes* et *absolues* sera apparente et

toute entité responsable, individuelle ou organisationnelle, sera exposée aux sanctions socio-institutionnelles conséquentes. Ce raisonnement est d'ailleurs reflété par les résultats empiriques de Shin (2019) qui observent une significativité corrélative entre la sécurité perçue de la blockchain et l'attitude comportementale des utilisateurs. Pour finir avec l'institutionnalisation de la blockchain, notons que nous avons également identifié l'effet panoptique des réseaux de Powell *et al.* (2022, p. 4), celui-ci étant défini par les auteurs comme étant la dynamique d'observation et contrôle continu, *de tout le monde et par tout le monde*. Nos répondants ont exprimé cet effet implicite de l'autorité algorithmique en évoquant les notions de la responsabilisation séquentielle et la responsabilité commune. Ces facteurs incitent à la veille collective sur la fiabilité des flux informationnels.

Pour ce qui est de la confiance relationnelle, notre recherche a révélé que l'utilisation de la blockchain n'exclut pas le besoin de percevoir la fiabilité des partenaires, et en particulier leur intégrité et leur bienveillance. Nous arguons également que ni l'autorité algorithmique ni l'institutionnalisation sociale ne permettent de faire abstraction de la confiance relationnelle dans le cadre des échanges inter-organisationnels embarqués sur la blockchain. Notre argument se base essentiellement sur les dynamiques observées dans la partie en amont de l'ASC de CHO. Leur décision d'exclure les producteurs de la chaîne logistique est due au fait qu'un certain niveau de confiance dans le comportement des partenaires est requis pour surpasser la vulnérabilité du GIGO, et que le risque encouru par l'intégration des producteurs excède les bénéfices potentiels compte tenu des conditions contextuelles actuelles. Concrètement, à défaut de percevoir ce seuil minimal de confiance calculée au sens de Lewicki et Bunker (1995), la vulnérabilité au GIGO demeurera surpassée par l'institutionnalisation explicite, soit par la normalisation des processus, le recours contractuel et la vérification. Notre réflexion est en phase avec les observations de Brookbanks et Parry (2022) dont l'analyse de la maturité relationnelle dans les chaînes d'approvisionnement embarquées sur une blockchain mène à la conclusion suivante : « l'exigence des chaînes d'approvisionnement de développer des relations de confiance entre l'acheteur et le vendeur de bout en bout se maintient avec l'introduction de la plateforme [...] Les déterminants traditionnels de la confiance dans les relations dyadiques demeurent valides » (p. 141).

Au vu de la carence en travaux empiriques sur la confiance relationnelle dans la littérature sur chaînes d'approvisionnement alimentaire, nous nous permettons de croiser nos résultats avec

d'autres champs d'applications des blockchains où le risque du GIGO a été identifié comme un enjeu critique. Nous pouvons, par exemple, nous comparer à Lemieux (2016) qui souligne la nécessité de recourir à des intermédiaires de confiance pour l'administration des titres de l'Agence Foncière du Honduras. Nos observations sont également consistantes avec les résultats de Batwa *et al.* (2021) et leur analyse des chaînes de métal qui est conclue par la mise en évidence d'une causalité entre les cinq variables relationnelles retenues par les auteurs, et les perceptions de la fiabilité et de l'authenticité du registre. D'ailleurs, nous pouvons également nous inspirer de l'analyse des auteurs pour expliquer pourquoi la compétence n'a pas émergée dans notre analyse de la relation entre CHO et ses partenaires. Selon les auteurs, la compétence est présumée lors du choix du partenaire en ce qu'elle est « ancrée dans le cœur de métier » (2021, p. 342). Batwa *et al.* (2021) ajoutent que la compétence est un enjeu micro-organisationnel et non pas inter-organisationnel, ce qui pourrait davantage expliquer pourquoi nous l'avons consigné à l'interne, mais non pas dans le cadre des relations entre CHO et ses partenaires.

Enfin, il est pertinent de revenir sur les relations dans la partie en aval de la chaîne de CHO, où nous avons observé que le risque du GIGO peut être surpassé par l'institutionnalisation sociale et la signalisation algorithmique lorsque la confiance relationnelle atteint un stade développé. Cette dernière se nourrit de l'historique transactionnel, des attentes partagées et de la mutualisation des intérêts calculés, à la concrétisation du modèle classique de la confiance inter-organisationnelle décrit par Lewicki et Bunker (1995). En ce sens, la connaissance et l'identification permettent de s'affranchir de l'institutionnalisation algorithmique explicite, qui ne devient qu'une garantie additionnelle dans une relation où la confiance est déjà établie. Ce résultat n'est pas atypique, en ce qu'il a également émergé de l'étude multi-contextuelle de Brookbanks et Parry (2022). Nous souscrivons ainsi à la logique des auteurs selon laquelle la confiance relationnelle dans les ASCs blockchainisées existe à différents niveaux et stades de maturité, que celle-ci dépend des conditions contextuelles de la relation, et qu'elle demeure la force motrice de collaboration entre les acheteurs et les vendeurs (2022, p. 140-141).

En guise de conclusion aux arguments et évidences que nous avons étayés dans la présente section de discussion, nous introduisons une proposition de conceptualisation de la confiance dans les ASCs qui font usage d'une blockchain privée. Nous nommons ce concept, « *l'équilibre de la confiance* ». Celui-ci représente la confiance comme une variable à trois dimensions, qui se

développe le long d'un spectre de contingences : à l'extrémité de ce spectre sont gérés les risques, les aléas moraux et les incertitudes par l'inconscience et par une foi non cognitive et incalculable en l'autorité algorithmique de la blockchain. Cette foi résulte d'une rationalisation, toujours limitée dans la pratique, de la fiabilité de l'artefact technologique et se démunie de tout mécanisme sociologique de conciliation. Elle véhicule l'image d'un idéal transactionnel affranchi de toute vulnérabilité et gouverné exclusivement par l'autorité algorithmique. À l'autre extrémité du spectre est une confiance ancrée dans la cognition et qui se développe en présence d'incertitudes. Elle repose sur l'évaluation rationnelle et calculatoire des risques et des contingences, et sur l'assimilation de la disposition, des circonstances et des ressources mobilisées par les parties pour réduire ces risques. Son émergence adhère aux règles classiques de la confiance sociale, qui est incarnée dans l'assurance structurelle et dans la conception de la fiabilité du partenaire.

En outre, nous arguons que la confiance, en tout point de la chaîne d'approvisionnement, sera toujours située à l'entre-deux des extrêmes du spectre de contingences où ses différentes variables se conjuguent, se substituent et se complètent en permanence pour faire face aux risques et aux incertitudes. Le point *d'équilibre* est le résultat de la juste configuration sur le spectre de contingences, qui permet à un acteur [le trustor] de surpasser l'incertitude par une confiance que l'autre partie [un trustee] n'exploitera pas sa vulnérabilité [le trustor], indépendamment de sa capacité à le surveiller ou à le contrôler¹¹⁵. Cette configuration est à l'image d'un équilibre de Nash, c'est-à-dire qu'il privilégie la stabilité et la durabilité, mais non nécessairement la perfection. Telle est d'ailleurs, pour répondre à la première critique de Batwa et Norrman (2021, p. 216) sur la tendance des chercheurs à ne pas donner de définition explicite du terme, notre contextualisation de la confiance dans les chaînes d'approvisionnement faisant usage d'une blockchain. Cette confiance a les deux caractéristiques suivantes :

Elle est, d'une part, dynamique et évolutive. Considérant le fait que la vulnérabilité est subjective, relative, circonstancielle et contextuelle, le point d'équilibre se doit continuellement d'être adapté aux facteurs de contingence de l'entreprise et de la chaîne d'approvisionnement. Parmi les facteurs

¹¹⁵ Nous adoptons la définition de De Filippi (2020) de la confiance, qui décrit un état cognitif assuré du futur, qui émerge progressivement avec l'accumulation d'expériences ou d'événements prouvant le fonctionnement standard d'un système. Concrètement, à la contrario de la confiance qui implique un « leap of faith » face à une situation imprévisible, la confiance se développe sur la base de la prévisibilité des processus réglementés.

qui pourraient vraisemblablement susciter chez un acteur organisationnel le besoin de repenser sa configuration de son point d'équilibre, nous citons par exemple l'âge de l'organisation, sa taille, son système technique, son environnement de développement et les dynamiques de pouvoir externes ou internes dans l'organisation. D'autre part, la confiance est optimale, mais non nécessairement ultime et absolue. Nous arguons en ce sens que chaque acteur a intérêt à trouver son juste équilibre dans le spectre de contingences, soit le point qui lui permet de tirer un maximum de valeur des sources socio-économiques, d'une part, et l'autorité algorithmique de l'autre. Concrètement, atteindre le point d'équilibre en maximisant l'axe technologique et l'autorité algorithmique à l'omission des variables institutionnelles, par exemple, peut être extrêmement dispendieux et difficile à implémenter compte tenu de la maturité actuelle des blockchains et des coûts technologiques requis pour limiter les frictions du first mile. En attendant que l'intégration systématique devienne moins complexe et plus accessible, il pourrait être avantageux de favoriser l'un ou l'autre des axes institutionnels ou relationnels, par le recours à la contractualisation, l'intermédiation, ou en choisissant une combinaison les deux. Un compromis entre les dimensions technologique et sociale pourrait être le mieux adapté à la société de la défiance, décrite par Pierre Cahuc et Yann Alagan. Tel est d'ailleurs le modèle que CHO a retenu pour la première phase de son projet blockchain, et dont la configuration qui a permis d'attendre le seuil de confiance a fait l'objet de notre analyse aux sections 5.2.2 et 5.2.3. Cette configuration est représentée dans le quadrant gauche du tableau 6.3. Nous proposons aussi, pour des fins de visualisation et de contrastes, la configuration finale de *l'équilibrium* que l'entreprise aspire à mettre en place lorsque son projet attendra sa pleine maturité (quadrant du milieu). Enfin, le quadrant de droite reflète notre compréhension de l'équilibre perçue par les partenaires de CHO dans la partie en aval de l'ASC¹¹⁶. La présentation des variables sur les axes institutionnels et relationnels se base sur l'état de l'art que nous avons mobilisé sur la confiance dans l'environnement socio-économique (section 2.3.2). Concrètement, la confiance relationnelle évolue le long du continuum décrit par Lewicki et Bunker (1996). Elle émerge sur la base du calcul d'intérêt, évolue avec la connaissance mutuelle et se maximise avec l'identification réciproque. Les variables institutionnelles de la confiance sont agencées selon les classifications de North et Zucker. Son signal est plus fragile lorsqu'elle est informelle, et se renforce au fur et à mesure que la confiance se formalise et qu'elle

¹¹⁶ L'équilibrium des partenaires se base uniquement sur les informations que nous avons à disposition.

s'institutionnalise par la normalisation des processus et l'intermédiation. Pour ce qui est des variables de l'autorité algorithmique, celles-ci sont agencées sur la base de notre assimilation de leur impact sur la confiance, assimilation que nous avons basée sur l'opinion de nos participants.

Modèle actuel de CHO (équilibre intraorganisationnel)	Modèle projeté de CHO (équilibre intraorganisationnel)	Clients de CHO (équilibre interorganisationnel)
<ul style="list-style-type: none"> • Maximisation de l'axe institutionnel par l'intermédiation du téléchargement sur le registre et la vérification de la documentation certifiée. • Confiance relationnelle basée sur la calculabilité : pression hiérarchique amplifiée par l'assurance structurelle et la signalisation intrinsèque de l'autorité algorithmique. 	<ul style="list-style-type: none"> • Décentralisation de la saisie et du téléchargement sur la blockchain • Axe relationnel toujours basé sur le calcul d'intérêt reflété par les pressions organisationnelles, institutionnelles et la non-répudiation. • Ajout des contraintes systématiques intégrées dans le scénario d'embarquement. 	<ul style="list-style-type: none"> • Axe institutionnel basé sur la contractualisation et la normalisation des processus • Confiance relationnelle basée sur une connaissance développée sur la base de la réputation et l'échange répétitif • Signal algorithmique implicite du fait de la non-souscription au canal. Possibilité de demander les permissions en tout temps.

Tableau 6-3 Proposition de représentation conceptuelle de différents scénarios d'équilibre pour la confiance dans la chaîne d'approvisionnement

6.3 Discussion de la contribution, des limitations de la recherche et des perspectives de recherches futures

6.3.1 Contributions théoriques de la recherche

Cette sous-section reflète sur les différents éléments de discussions et décrit les contributions théoriques de notre recherche. De par son positionnement sur le « compromis de faisabilité » d'Alain Noël (2011, p. 77), le présent travail fait avancer les connaissances sous les angles suivants :

Sur le plan théorique, le présent travail vient d'abord enrichir les connaissances scientifiques sur les chaînes de blocs sous un angle peu exploré dans la littérature, qui est celui de la confiance, une confiance qui est souvent prise pour acquise par les évangélistes de la blockchain. Grâce à son caractère inductif et son design conceptuel conciliateur, la recherche se distingue du technophilisme dominant et propose une analyse objective de la confiance et de ses constructions socio-technologiques. Deuxièmement, notre étude aborde un cas de blockchain privée, une architecture peu discutée par les communautés scientifiques et académiques en raison de la rareté des chaînes actives hors projet pilote et l'invisibilité de ce type de système au public. Ainsi, la recherche contribue à la discussion controversée et déjà engagée sur les blockchains et la confiance en y apportant la perspective holistique des blockchains privées et leur applicabilité dans les chaînes d'approvisionnement agroalimentaire. Troisièmement, nous proposons une étude de cas empirique et une analyse qualitative de données, basée sur une chaîne d'approvisionnement rodée et fonctionnelle, ce qui différencie notre travail du corpus littéraire actuel fortement dominé par une empreinte théorique et conceptuelle. En se faisant, notre recherche répond explicitement à l'appel à la validation empirique lancé par Batwa et Norrman (2021) et les autres chercheurs ayant proposé des modèles théoriques pour la confiance dans l'environnement technologique de la blockchain (ex. Sadhya *et al.* (2018); Wang *et al.* (2019); etc.). Elle présente également des pistes de confirmation et d'infirmité à la théorisation dominante et aspire concrètement à la réduction de l'écart vraisemblable entre le potentiel disruptif préconisé et la réalité pratique de la technologie. Enfin, nous contribuons à la littérature sur la confiance et les blockchains en explorant les segments de la transformation et de la distribution des produits agroalimentaires, ceux-ci étant gérés intégralement par CHO et ses filiales. Considérant que cette partie des chaînes d'approvisionnement demeure, au meilleur de notre connaissance, non explorée empiriquement

par les chercheurs, notre étude de cas est la première à relever le défi d'en analyser la confiance sous le prisme des blockchains.

Sur le plan académique, notre recherche a une portée multidisciplinaire, en ce qu'elle contribue non seulement aux connaissances sur la confiance dans les systèmes d'information, mais touche aussi des aspects managériaux, économiques ou sociologiques. Il convient, malgré cela, de préciser que nous nous adressons principalement à la communauté des blockchains et à la littérature en systèmes d'information à laquelle nous contribuons succinctement comme suit : par l'investigation des antécédents technologiques de la confiance et de la défiance dans la blockchain, notre recherche examine également les défis techniques, organisationnels, culturels et institutionnels qui relèvent de la conception, de l'intégration et de l'évolution d'un projet blockchain en entreprise. Elle identifie également les principales forces et faiblesses de l'artefact puisqu'elle sonde directement la perception de ses utilisateurs, de la performance globale du système et de ses fonctionnalités. Nos résultats contribuent ainsi aux théories sur la confiance technologique et notamment celles qui traitent de l'interaction Homme-Machine (HCI) et de la confiance initiale dans la technologie. En parallèle, l'exploration des facettes sociales a permis d'identifier les fondements relationnels et institutionnels, exogènes et endogènes de la confiance, contribuant ainsi aux théories sur la confiance véhiculée par la technologie (IT-Mediated Trust). L'analyse de ces dimensions sociales conclut sur les limites de l'autorité algorithmique et sur l'importance de trouver la configuration de confiance la mieux adaptée à l'environnement, à la structure, et aux conditions contextuelles de chaque organisation dans la chaîne d'approvisionnement. La recherche a également mené à l'élaboration d'une conceptualisation générique de la confiance et de ses dimensions dans les chaînes d'approvisionnement dans un contexte de gestion basé sur l'usage des blockchains.

6.3.2 Contributions pratiques à l'usage des acteurs de la chaîne d'approvisionnement

À la différence des discussions conceptuelles et théoriques sur la confiance dans les ASCs, notre recherche porte sur un cas d'étude concret et sur un projet blockchain en pleine pratique. Sa nature inductive a permis de déceler des points critiques de considérations pour les entreprises œuvrant dans l'industrie alimentaire, dans un premier temps, ainsi que pour toute organisation intéressée par la mise en œuvre d'une blockchain applicative dans le cadre de la gestion logicielle. Cette sous-

section en résumé les aspects les plus importants, d'un point de vue opérationnel d'abord, puis sous une perspective stratégique.

Au vu de nos résultats sur la confiance technologique, nous pouvons avancer que la difficulté associée à un projet blockchain réside essentiellement dans les étapes de la planification et de la conception. Le degré de cette complexité, de même que les contraintes organisationnelles et technologiques causées par le projet, varient substantiellement d'une organisation à l'autre et d'un projet blockchain à l'autre. Ils dépendent, d'une part, du degré de standardisation et d'intégration actuelle des processus de l'organisation, et de sa prédisposition matérielle et logicielle à recevoir la technologie. L'ampleur du projet dépend également des besoins opérationnels et des objectifs visés par la blockchain. Concrètement, si la finalité de l'entreprise est simplement d'augmenter la visibilité de ses flux informationnels auprès de ses partenaires externes et consommateurs pour s'adapter aux exigences du marché, nous pouvons débattre que l'intégration systématique des flux à l'image de la *Lex Cryptographica* ajoute une complexité et des coûts additionnels au projet, puisqu'un simple téléchargement manuel des observations EPCIS avant le transfert des flux serait suffisant. L'incertitude comportementale pourrait être atténuée, par exemple, en instaurant des contrôles humains lors du séquençement du processus, ou par l'institutionnalisation explicite ou implicite de la confiance selon la tolérance de l'organisation au risque. En revanche, si l'objectif est d'éliminer l'intervention humaine et d'automatiser le processus de bout en bout pour des fins sociopolitiques, stratégiques ou autres, il est primordial que l'entreprise soit prédisposée et apprêtée, du point de vue de ses architectures organisationnelles, opérationnelles et technologiques, à recevoir la blockchain. Les dirigeants doivent également tenir compte des frictions du GIGO et trouver *l'équilibre de la confiance* le mieux adapté à la conception de leur projet, à leur structure organisationnelle et aux conditions contextuelles de l'entreprise. Une mauvaise évaluation de ces variables rendrait l'organisation vulnérable aux aléas moraux de ses membres et partenaires, ce qui pourrait se refléter non seulement sur ses opérations, mais sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement. Les organisations pourraient également opter pour une maximisation incrémentale de l'axe technologique, en divisant le projet blockchain en plusieurs phases. Cette démarche d'implémentation itérative, qui n'est pas étrangère en gestion de projet, implique une réadaptation continue de la configuration de la confiance de manière à tirer le maximum de valeur de chaque cycle du projet. Elle a aussi pour avantage d'améliorer la position de l'entreprise

dans la chaîne d'approvisionnement et de préparer ses architectures aux variations de l'environnement. Nous pouvons d'ailleurs nous baser sur l'exemple du cas CHO qui a choisi d'appliquer la méthode agile pour son projet blockchain. Chaque cycle de projet concrétise des objectifs spécifiques de la direction, et cherche le meilleur équilibre de confiance, au reflet de la situation de l'entreprise et de son environnement. L'évolution de cette balance entre la phase actuelle et projetée du projet de l'entreprise est représentée sur le tableau 6.3.

D'un point de vue stratégique, il convient d'abord de souligner que l'adoption précoce de la blockchain procure certes plusieurs avantages, dont nous pouvons par exemple citer le rayonnement publicitaire, le buzz médiatique, le positionnement stratégique, l'innovation technologique, l'expansion du marché cible, ou encore l'accès à des options de financement pour les pratiques durables, comme il est souligné par Rocha *et al.* (2021). Les dirigeants doivent toutefois comprendre les implications de leur position d'avant-garde. Concrètement, un projet blockchain vient avec des défis techniques, logistiques, socioculturels et même environnementaux. Ces défis relèvent de la maturité de l'artefact technologique, d'une part, et celle de l'industrie alimentaire de l'autre. Une mauvaise prise en considération de ces contraintes de commodité pourrait mener à l'échec et à l'abandon du projet, ce qui se reflète justement sur le faible taux de réussite que nous avons recensés dans notre problématique. Un autre point de considération important lors de l'implémentation de la blockchain s'attache à la fiabilité du fournisseur BaaS et à sa disponibilité, ces deux facteurs ayant aussi émergé comme des catalyseurs de la commodité dans la chaîne de CHO. Il va sans dire que cette recommandation assume que les dirigeants optent pour ce type de système qui, selon nous, est le mieux adapté aux caractéristiques de l'industrie alimentaire et aux organisations du secteur.

Enfin, il convient de souligner que le potentiel de la blockchain dépend de la diffusion de la grappe industrielle, et que la réelle valeur ajoutée de la technologie n'est pas encore manifestée. À mesure que la blockchain se diffuse et que les chaînes composées de la confiance se complètent, la technologie deviendra de plus en plus attrayante à la fois pour les adeptes précoces, ainsi que pour les autres acteurs industriels externes. Cette situation, que nous avons discutée sous l'angle des coûts de networking, est si bien résumée par Jensen *et al.* (2019, p. 235) qui reflètent sur la croissance d'internet pour expliquer l'évolution, *pièce par pièce*, du *world-wide-ledger de la blockchain*. En attendant que la diffusion atteigne son point de masse critique, les dirigeants

d'entreprises doivent se préparer aux conséquences de ce scénario sur les dynamiques d'entreprises. Nous portons concrètement l'attention au fait que l'évolution de la chaîne composée impliquera une réadaptation intégrale de la démarche de planification stratégique en entreprise, puisqu'elle crée des interdépendances opérationnelles, logistiques et même stratégiques entre tous les acteurs de la chaîne d'approvisionnement. Pour reprendre Micheal Reed, directeur du programme blockchain chez Intel : « Pensez aux blockchains comme un sport d'équipe, qui ne devient intéressant que lorsque plusieurs se réunissent et collaborent sur un objectif commun » (cité par Blanchard, 2019). Ce scénario pourrait d'ailleurs profiter aux adeptes précoces de la technologie qui, par leur positionnement avant-gardiste, pourraient dicter leurs exigences logistiques aux autres membres de la chaîne d'approvisionnement.

CHAPITRE 7

CONCLUSION

7.1 Résumé de la recherche et synthèse des principaux résultats

Notre recherche explore les antécédents de la confiance dans une blockchain privée, et les répercussions de cette dernière sur l'émergence de la confiance sociale dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire. Nos résultats sont basés sur l'étude du cas CHO, l'un des plus grands opérateurs d'huiles d'olive conditionnée au monde et premier exportateur en Afrique. L'entreprise qui gère par l'entremise de ses filiales l'ensemble des activités de transformation et de distribution et une portion de la phase de production, a embarqué son processus oléicole sur Food Trust, une solution de blockchains modulaires et intégrées, conçue sur mesure pour accommoder les besoins des organisations œuvrant dans l'industrie agroalimentaire. Concrètement, les dynamiques intra et inter-organisationnelles identifiées dans le modèle CHO ont été confrontées à notre cadre conceptuel qui s'inspire de Batwa et Norrman (2021). Le modèle que les auteurs proposent pour l'investigation de la confiance dans les chaînes d'approvisionnement a été adapté afin de refléter les caractéristiques et les enjeux du système alimentaire contemporain et pour tenir compte des développements récents dans la littérature sur la confiance et les blockchains. Notre analyse du volet technologique a pris pour repère le modèle de Mcknight, D Harrison *et al.* (2011), et la confiance a été investiguée sous le prisme de la fonctionnalité, de la prévisibilité et de la commodité telles que celle-ci sont ressenties par les acteurs de la chaîne d'approvisionnement. La confiance sociale, d'un autre côté, a été analysée en appliquant les fondements de la confiance institutionnalisée de Zucker (1986) pour la confiance systématique, et en étudiant les croyances d'intégrité, de la bienveillance et de la compétence qui reflètent la confiance relationnelle et ses antécédents.

En outre, notre analyse du modèle CHO a décelé une confiance pluridimensionnelle et composée dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire à l'étude. D'abord, cette confiance a un ancrage technologique qui relève de l'autorité algorithmique des systèmes blockchain. Les attributs de l'immutabilité et de la transparence, ainsi que les capacités de traçabilité immédiate et de non-répudiation bonifient l'assurance structurelle entre les différents maillons de la chaîne d'approvisionnement. Ils créent, pour être plus précis, des signaux institutionnels grâce aux

contraintes systématiques et aux capacités de responsabilisation séquentielle induites par l'intégration de la technologie dans la chaîne logistique. Le développement de l'autorité algorithmique fait toutefois face à des limitations institutionnelles et à des barrières à la fois fonctionnelles, environnementales et psychosociales, qui empêchent sa généralisation à l'échelle de la grappe industrielle et commandent, par le même fait, un recours indispensable aux mécanismes socioéconomiques de conciliation. Les contraintes fonctionnelles sont essentiellement liées aux problèmes d'interopérabilité que soulèvent l'intégration, la maintenabilité et l'évolutivité des solutions blockchain dans les chaînes logistiques, au détriment de la commodité et de la fiabilité perçue de l'artefact. Les facteurs environnementaux de vulnérabilité dérivent des disparités matérielles, logicielles et réglementaires qui existent entre les acteurs du système alimentaire. Celles-ci sont amplifiées par l'effet de la fracture technoculturelle dans le secteur, le caractère transfrontalier des chaînes d'approvisionnement et l'absence de standards et de normes universelles pour l'identification et le suivi des lots. Enfin, l'étude du modèle CHO a révélé que le recours exclusif à l'autorité algorithmique expose l'ensemble des maillons à des aléas moraux et à des frictions dans les points de jonction entre les flux physiques et informationnels, d'où la nécessité de compléter le défaut de confiance à ses endroits avec des sources sociopolitiques. Ce procédé de compensation, que nous intitulons *l'Équilibre de la confiance*, consiste à chercher la configuration optimale de paramètres algorithmiques, institutionnels et relationnels de la confiance, c'est à dire la configuration qui minimise les incertitudes comportementales et environnementales, pour l'ensemble des parties prenantes et maximise la valeur ajoutée de la technologie le long de la chaîne d'approvisionnement. En définitive, nous estimons que l'avenir des blockchains dans l'industrie agroalimentaire dépendra de sa capacité à surpasser les contraintes de la grappe industrielle et les limitations endogènes et exogènes de l'autorité algorithmique, ce qui implique concrètement la maximisation de l'axe technologique sur le schéma de l'équilibre et la substitution progressive des dimensions sociologiques. Enfin, nous arguons que la transition vers un modèle démuné de confiance sociale, à l'image de la *Lex Cryptographica* et de la thèse du Trust-Free, bien que théoriquement possible, n'est pas réaliste dans la pratique.

7.2 Limites de la recherche

Par son design, la recherche nous a permis d'explorer, en profondeur, les différentes facettes de la confiance dans la chaîne d'approvisionnement à l'étude. Notre démarche de condensation hybride

a permis d'aller au-delà de notre cadre d'investigation théorique et de faire valoir la nature indicative de notre recherche. Concrètement, notre analyse des antécédents de la confiance apporte diverses pistes de réponses et de réflexions sur la réalité des blockchains et son impact sur la confiance dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire, aspirant à la réduction des écarts conceptuels, théoriques et interprétatifs sur le sujet. Il convient cependant de souligner que la recherche admet certaines limites qui relèvent à la fois du montage de notre dispositif ainsi que du choix de notre cadre conceptuel :

Pour commencer, toute étude de cas unique a des faiblesses, et ce, malgré ses multiples points forts que nous avons déjà soulignés. En effet, si la méthode excelle dans l'accommodation d'une perspective relativiste en permettant l'étude de phénomène dans son contexte de développement (Yin, 2018, p. 14-16), elle a pour défaut de réduire la validité externe de la recherche et la généralité des résultats de l'étude (p. 21-22). Ce point est particulièrement valide en raison de la variabilité dans les conditions contextuelles à travers les écosystèmes alimentaires, ce qui fait que chaque chaîne d'approvisionnement est unique dans ses dynamiques internes et externes. À cela s'ajoutent les divergences perceptuelles de la confiance qui sont dues à sa relativité, son intersubjectivité, à son encastrement dans la perception individuelle. Ces éléments créent des biais culturels, socio-économiques et cognitifs, biais qui font que la généralisation statistique de nos résultats, pour reprendre Yin, ne peut être présumée. Certes, nous avons tenté de limiter les biais en interrogeant plusieurs catégories d'acteurs et filiales chez CHO. Soulignons également que nos participants, bien que limités en nombre, sont de profils différents (âge, genre, nationalité, formation, expertise, etc.), et que la plupart de nos résultats sont appuyés d'autres travaux dans la littérature. Il n'en est pas moins que l'idéal aurait été de confronter notre modèle à d'autres organisations ou chaînes d'approvisionnement pour une triangulation trans-organisationnelle. Il aurait aussi été pertinent de chercher l'avis des autres membres de la chaîne d'approvisionnement en aval et en amont pour une validation croisée de nos résultats. À ne toutefois pas confondre *idéal* et *possible*, en ce qu'un tel choix nous aurait vraisemblablement sortis du périmètre de la faisabilité de Noël (2011, p. 77).

Une deuxième limite de notre prototype de recherche est liée à la sélection et au recrutement de nos participants, qui peuvent être sujets à un biais potentiel. D'un côté, une partie de nos répondants occupent des postes de directeurs et de hauts responsables dans l'entreprise, ce qui peut les inciter à ne pas parler ouvertement des aspects négatifs de la blockchain qui se reflètent sur leur chaîne

d'approvisionnement. D'autre part, l'implication de la haute direction dans le processus de recrutement peut se répercuter sur la perception de la neutralité et l'impartialité du chercheur et possiblement susciter une certaine méfiance chez les participants à la recherche, en particulier ceux qui appartiennent aux niveaux de la gestion et des opérations. Ses suppositions sont renforcées par le fait que deux des participants chez CHO se sont opposés à l'enregistrement de l'entretien, et qu'un d'entre eux n'a accepté de répondre que par écrit. La triangulation a permis, dans ce contexte, d'identifier quelques incohérences à travers les entretiens et de les adresser conséquemment, la plus notable étant indéniablement la « blockchain interne ». L'attente entre nos deux cycles de collecte de données a aussi été commode, en ce qu'elle nous a donné le temps de retranscrire, de coder et d'itérer notre analyse des données. Dernier point, mais non des moindres concernant notre prototype, il convient de rappeler que notre recherche est exploratoire et qu'elle souscrit pleinement à une épistémologie constructiviste. Ce design, bien que nous le considérons nécessaire pour capturer la confiance dans toute sa complexité, implique un biais incontournable lors de la production des connaissances, celle-ci étant non seulement façonnée par notre interprétation de la réalité, mais aussi sujette à la limite de notre rationalité.

En ce qui concerne les limites de notre cadre conceptuel, le choix de la confiance comme objet de recherche commande des arbitrages indispensables, et ce, afin de composer la complexité du phénomène qui ne peut être exploré sous tous ses angles. Faute de consensus sur l'interprétation du terme, l'arbitrage devient synonyme de concession puisqu'il signifie que l'on choisit d'omettre délibérément certaines constructions de la confiance. Dans notre cas, les concessions sont reflétées par notre adaptation du cadre initial de Batwa et Norrman (2021), et par notre choix de retenir les modèles de Mcknight, D Harrison *et al.* (2011), de Mayer *et al.* (1995) et de Zucker (1986), parmi d'autres, pour l'analyse des dimensions technologiques, relationnelles et institutionnelles de la confiance, respectivement. Bien que nous ayons réalisé cette adaptation dans un souci de concilier les démarches existantes et d'accommoder le cadre à notre revue systématique de la littérature, le fait demeure qu'elle réduit le spectre analytique de la confiance, dont l'interprétation devient *forcée* par le dispositif d'investigation retenu.

7.3 Pistes de réflexion pour de futures recherches

Dans notre souci de concilier les constructions technologiques et sociales de la confiance dans un contexte de gestion logistique basée sur une blockchain privée, plusieurs pistes de réflexion pour de futures recherches ont été identifiées. Une première piste qui pourrait non seulement profiter aux usages logistiques, mais à toute application industrielle des blockchains privées est celle de la complexité engendrée par les contraintes d'uniformité algorithmique, celle-ci ayant émergé comme la principale source de méfiance dans l'artefact technologique et comme une barrière importante à la diffusion de la grappe industrielle. La littérature en sciences informatiques où l'intercommunication entre blockchains publiques et financières a exhaustivement été étudiée au cours des dernières années, constitue un terrain fertile de recherches. L'effort d'extrapolation de Al-Rakhami et Al-Mashari (2022), conclu par la proposition de sept solutions théoriques aux problèmes d'interopérabilité dans l'industrie logistique pourrait aussi servir de tremplin et d'inspiration pour une future recherche sur le sujet.

Une autre piste de recherche qui permettrait de compléter les résultats de notre étude serait d'explorer les retombées de la centralisation intermédiaire du stockage sur l'intégrité et/ou la bienveillance perçue d'une organisation, du point de vue des autres membres de la chaîne d'approvisionnement. La centralisation renvoie à la pratique selon laquelle des flux informationnels sont d'abord consolidés une base de données centralisée avant leur transfert sur le registre de la blockchain. Celle-ci peut incarner plusieurs formes, comme celle de « système blockchain interne de CHO », la computation périphérique de Hu *et al.* (2021) ou encore le stockage intermédiaire littéral critiqué par Howson (2020). Un design méthodologique mixte semblable au montage de Garaus et Treiblmaier (2021) qui combinent une mise en situation expérimentale et une analyse quantitative nous semble particulièrement adapté pour ce type de recherche. Cette approche a, d'une part, l'avantage de pouvoir sonder tous les acteurs de la chaîne d'approvisionnement, de la production jusqu'à la consommation, amenant ainsi une diversité sollicitée de perspectives. D'autre part, elle permet d'aller au-delà de la contrainte d'accessibilité à des terrains d'applications de la blockchain puisqu'elle immerge les répondants dans un contexte expérimental.

La troisième piste de recherche que nous proposons, également complémentaire à notre recherche, est celle de la thèse des coûts de transaction. Tous les travaux souscrivant à cette théorie que nous avons identifiée dans notre revue de la littérature, à l'exception de Sun *et al.* (2020), abordent le cas des blockchains publiques et adhèrent, de manière totale ou partielle, à la logique de l'affranchissement de la confiance (ex. Pietrewicz (2019), Allen *et al.* (2018), Berg *et al.* (2017), Glaser *et al.* (2019), etc.). Nous encourageons à se démarquer de cet ancrage et à appliquer les fondements de la NIE sur les blockchains privées pour explorer les flux financiers des chaînes d'approvisionnement. Cela permettrait non seulement de vérifier la validité de notre argumentaire, mais aussi d'étudier la confiance algorithmique sous un angle, à notre connaissance, inexploré. Notre discussion sur l'institutionnalisation de la blockchain, qui construit sur l'argument de Catalini et Gans (2020) sur les frais de vérification et de networking et généralise la réflexion des auteurs aux blockchains applicatives, pourrait servir de tremplin pour une recherche sur les coûts de transactions. Elle pourrait inspirer, par exemple, à une analyse comparative des flux financiers avant et après l'implémentation de la technologie; à une investigation approfondie des frais de recherche, de la négociation et de la surveillance que nous avons identifiée dans notre discussion; ou encore à l'étude de la dynamique entre l'autorité algorithmique et la confiance inter-organisationnelle sous l'angle des variables transactionnelles et des axiomes comportementaux de Williamson (1993). Cette dernière piste de réflexion avait d'ailleurs reçu une attention notable de la part des académistes lorsque les systèmes de gestion intégrés ont commencé à se populariser dans l'industrie logistique. La recherche de référence réalisée Kwon, K.-W. et Suh (2005) sur la trilogie de la spécificité des actifs, de l'opportunisme et de l'incertitude comportementale, pourrait être réadaptée et appliquée aux blockchains privées. La variable de la spécificité des actifs, en particulier, peut être particulièrement intéressante considérant la rigidité des blockchains et ses contraintes d'uniformité, et compte tenu des interdépendances opérationnelles et logistiques qu'elle crée entre les acteurs de la chaîne d'approvisionnement.

Une dernière piste de recherche pourrait consister à appliquer notre proposition de concept générique de la confiance sur différents acteurs de l'industrie alimentaire en vue d'affiner ses construits et d'en faire un modèle. Une analyse quantitative des dimensions et des construits de la confiance à travers plusieurs cas d'applications de blockchains pourrait aboutir à une mesure approximative, voir même mener au développement d'un modèle statistique pour la configuration

optimale de *l'équilibre* dans la chaîne d'approvisionnement. Une démarche méthodologique similaire à celle de Joo et Han (2021), qui combinerait des questionnaires, un codage théorique et une analyse corrélative permettrait d'accéder à un échantillon considérable et de diversifier les cas d'application de la blockchain. Il pourrait également être pertinent d'intégrer une composante financière à notre concept, ce qui permettrait de quantifier la valeur ajoutée et les coûts de chaque configuration. Ultimement, le modèle pourrait servir de référence et fournir des recommandations sur la conception optimale de la confiance pour toute entreprise intéressée par l'intégration ou la maximisation de l'axe algorithmique dans sa chaîne logistique, en comparant les caractéristiques de son projet aux points d'équilibres dans d'autres chaînes d'approvisionnement, rôdées et fonctionnelles.

ANNEXE A
LETTRE DE RECRUTEMENT

Courriel d'invitation envoyé aux participants du groupe CHO

Bonjour,

Mon nom est Mahdi Bali, étudiant à la maîtrise en technologies de l'information à l'Université du Québec à Montréal. J'entreprends, dans le cadre de ma maîtrise, une recherche sur l'impact sociotechnique des technologies blockchain sur le secteur agricole, et plus particulièrement sur la confiance dans la chaîne d'approvisionnement.

Dans ce contexte, je vous invite à participer à cette recherche qui propose d'étudier le cas du groupe CHO, et de ses filiales CHO America et CHO France, afin d'étudier les répercussions du projet blockchain de l'entreprise sur la dynamique de la confiance tout au long de la chaîne d'approvisionnement agricole. Votre participation prendra la forme d'une entrevue d'une durée approximative de 60 minutes. Il vous sera demandé de partager votre expérience avec le projet blockchain, et de décrire les changements que ce projet a induits sur les pratiques de gestion des flux informationnels, et sur la dynamique relationnelle entre les acteurs de la chaîne. L'entrevue prendra la forme d'un échange ouvert et consensuel, et pourrait prendre place selon les modalités qui vous conviendront le mieux.

Si vous désirez prendre part à l'entrevue et contribuer au projet de recherche, veuillez signer le formulaire de consentement ci-joint.

Votre participation pourrait considérablement enrichir mon projet de recherche, et je tiens à vous en remercier vivement.

En vous remerciant de l'attention que vous accordez à ma recherche, je vous prie de recevoir mes salutations les meilleures.

Chercheur principal : Mahdi Bali,
Étudiant à la maîtrise
Département de Management et technologies
Université du Québec à Montréal
(+1) 514 431 5665 / (+216) 25 119 802
bali.mahdi@courrier.uqam.ca

Directeur de recherche : Régis Barondeau, Ph.D., Professeur
Département de Management et technologies
Université du Québec à Montréal
(+1) 514 987 3000, # 6416
barondeau.regis@uqam.ca

ANNEXE B

GUIDES ET QUESTIONS D'ENTRETIENS

GUIDE D'ENTREVUE – CHO COMPANY

Introduction

- Quel est votre nom, votre rôle et quelles sont vos responsabilités principales au sein du groupe CHO?
- De quelle manière êtes-vous impliqués dans le projet blockchain ou dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement?

Modélisation de la chaîne d'approvisionnement oléicole, de ses processus et du séquençement des flux

- Pourriez-vous décrire les phases, le cycle de vie et les activités, de l'oléiculture jusqu'à la distribution finale des huiles conditionnées?
- Comment sont coordonnées les activités le long de la chaîne?
 - Processus de suivi et de gestion?
 - Procédures et points de contrôles?
 - Systèmes utilisés?

Antécédents de la confiance technologique

- Pourquoi avez-vous opté pour une solution blockchain? Quels sont les objectifs du projet? Pourquoi Food Trust spécifiquement?
- Quels aspects d'une blockchain sont, selon vous, les plus importants pour la chaîne de CHO et pour les chaînes alimentaires en général?
 - Caractéristiques
 - Fonctionnalités
 - Modules BaaS
- Comment décrierez-vous la performance de Food Trust jusqu'à présent?
- Quels sont les facteurs de succès d'un projet blockchain? (D'un point de vue socioculturel, économique et réglementaire par exemple?).
- À votre avis, comment les blockchains garantissent-elles la fiabilité des informations? Qu'est-ce qui fait que les informations disponibles sur la blockchain se considèrent fiables?

Antécédents et dynamique de la confiance sociale

- Quels sont les fondements de la relation et de la confiance entre CHO et ses partenaires, avec et sans blockchain? Entre les filiales et CHO?
- Quels sont les éléments qui font que les produits Terra-Delyssa sont fiables auprès des clients? Auprès des consommateurs? Comment l'utilisation d'une blockchain se répercute-t-elle sur ses éléments?
- À votre avis, comment l'usage d'une blockchain permet-il de créer la confiance auprès des clients et des consommateurs?

Conclusion

- Avenir des blockchains dans le secteur de l'agroalimentaire et futures étapes pour CHO.
- Aimerez-vous rajouter d'autres éléments qui vous semblent pertinents?

Est-ce que vous pourriez nous recommander d'autres collègues du groupe CHO qui pourraient avoir un point de vue pertinent pour la recherche?

GUIDE D'ENTREVUE – FILIALES DE DISTRIBUTION
(CHO AMERICA ET CHO FRANCE)

Introduction

- Quel est votre nom, votre rôle et quelles sont vos responsabilités principales au sein du groupe CHO?
- De quelle manière êtes-vous impliqués dans le projet blockchain ou dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement?

Modélisation de la chaîne d'approvisionnement oléicole, de ses processus et du séquençage des flux

- Pourriez-vous développer sur l'impact de la blockchain sur les pratiques de distribution? What was the impact of blockchain technologies on the distribution process flow, if there was any?
- Coordination des activités de distribution – Distribution process flow
 - Commandes et livraisons – Orders and delivery
 - Analyses et contrôles - Testing
 -

Antécédents de la confiance technologique

- Quels aspects de Food Trust sont les importants pour répondre aux besoins et exigences des clients et consommateurs? What aspects of the FT blockchain are the most important in regards of consumers and clients' needs?
- Comment décrierez-vous la performance de Food Trust jusqu'à présent? How would you describe FT's performance so far? and what role does the business provider has to play in this regard?
- Quels éléments doivent être pris en considération avant et lors de la mise en place d'un système de traçabilité basé sur une blockchain? What elements must be taken into consideration when deciding upon a blockchain-bases traceability system?
- À votre avis, comment les blockchains garantissent-elles la fiabilité des informations? Qu'est-ce qui fait que les informations disponibles sur la blockchain se considèrent fiables? What makes the blockchain ledger trustworthy? why should consumers and clients trust the data on the blockchain ledger?

Antécédents et dynamique de la confiance sociale

- Quels sont les éléments qui font que les produits Terra-Delyssa sont fiables auprès des clients? Auprès des consommateurs? In your opinion, what makes Terra-Dellysa products trustworthy? Both from a retailer and a consumer perspective?
- Comment la blockchain se répercute-t-elle sur la confiance des clients et des consommateurs? How does the use of blockchains reflect on the product trustworthiness?
- À votre avis, pourquoi les clients ne sont-ils pas embarqués sur FT? Why do you believe retailers are not onboarded on the blockchain?
- To which extent do you think the Bulk process would benefit from a blockchain based-traceability system?

Conclusion

- Que pensez-vous de l'avenir des technologies blockchain, en général, et dans le secteur agricole en particulier? How do you think blockchains will evolve in the future in regards of ASC management?
- Aimeriez-vous rajouter d'autres éléments qui vous semblent pertinents? Do you have anything to add that could be of value for this research?



Certificat d'accomplissement

Ce document certifie que

Mahdi Bali

ANNEXE C DOCUMENTS ET CERTIFICATIONS ÉTHIQUES

*a complété le cours : l'Énoncé de politique des trois Conseils :
Éthique de la recherche avec des êtres humains :
Formation en éthique de la recherche (EPTC 2 : FER)*

Numero de certificat 0000521320

3 juin, 2021



AVIS FINAL DE CONFORMITÉ

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE plurifacultaire) a examiné le projet de recherche suivant et le juge conforme aux pratiques habituelles ainsi qu'aux normes établies par la *Politique No 54 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains* (janvier 2016) de l'UQAM.

- Titre du projet : L'impact sur la confiance de l'utilisation des blockchains privées dans les chaînes d'approvisionnement agricoles. Le cas de la compagnie tunisienne CHO.
- Nom de l'étudiant : Mahdi Bali
- Programme d'études : Maîtrise ès sciences (technologies de l'information - mémoire)
- Direction(s) de recherche : Régis BARONDEAU

Merci de bien vouloir inclure une copie du présent document et de votre certificat d'approbation éthique en annexe de votre travail de recherche.

Les membres du CERPE plurifacultaire vous félicitent pour la réalisation de votre recherche et vous offrent leurs meilleurs vœux pour la suite de vos activités.

Élise Ducharme

Pour Caroline Coulombe,

Vice-Présidente CERPÉ plurifacultaire et Professeur titulaire, Département de management



Signé le 2022-09-07 à 10:17

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE plurifacultaire) a examiné le projet de recherche suivant et le juge conforme aux pratiques habituelles ainsi qu'aux normes établies par la *Politique No 54 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains* (Janvier 2016) de l'UQAM.

Titre du projet: L'impact sur la confiance de l'utilisation des blockchains privées dans les chaînes d'approvisionnement agricoles. Le cas de la compagnie tunisienne CHO.

Nom de l'étudiant: Mahdi BALI

Programme d'études: Maîtrise ès sciences (technologie de l'information) (profil avec mémoire)

Direction de recherche: Régis BARONDEAU

Modalités d'application

Toute modification au protocole de recherche en cours de même que tout événement ou renseignement pouvant affecter l'intégrité de la recherche doivent être communiqués rapidement au comité.

La suspension ou la cessation du protocole, temporaire ou définitive, doit être communiquée au comité dans les meilleurs délais.

Le présent certificat est valide pour une durée d'un an à partir de la date d'émission. Au terme de ce délai, un rapport d'avancement de projet doit être soumis au comité, en guise de rapport final si le projet est réalisé en moins d'un an, et en guise de rapport annuel pour le projet se poursuivant sur plus d'une année. Dans ce dernier cas, le rapport annuel permettra au comité de se prononcer sur le renouvellement du certificat d'approbation éthique.



Raoul Graf
Président du CERPE plurifacultaire
Professeur, Département de marketing

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE RENOUVELLEMENT

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE plurifacultaire) a examiné le projet de recherche suivant et le juge conforme aux pratiques habituelles ainsi qu'aux normes établies par la *Politique No 54 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains* (janvier 2016) de l'UQAM.

- Titre du projet : L'impact sur la confiance de l'utilisation des blockchains privées dans les chaînes d'approvisionnement agricoles. Le cas de la compagnie tunisienne CHO.
- Nom de l'étudiant : Mahdi Bali
- Programme d'études : Maîtrise ès sciences (technologies de l'information - mémoire)
- Direction(s) de recherche : Régis BARONDEAU

Modalités d'application

Toute modification au protocole de recherche en cours de même que tout événement ou renseignement pouvant affecter l'intégrité de la recherche doivent être communiqués rapidement au comité.

La suspension ou la cessation du protocole, temporaire ou définitive, doit être communiquée au comité dans les meilleurs délais.

Le présent certificat est valide pour une durée d'un an à partir de la date d'émission. Au terme de ce délai, un rapport d'avancement de projet doit être soumis au comité, en guise de rapport final si le projet est réalisé en moins d'un an, et en guise de rapport annuel pour le projet se poursuivant sur plus d'une année au plus tard un mois avant la date d'échéance (2023-08-30) de votre certificat. Dans ce dernier cas, le rapport annuel permettra au comité de se prononcer sur le renouvellement du certificat d'approbation éthique.

Élise Ducharme

Pour Caroline Coulombe,

Vice-Présidente CERPÉ plurifacultaire et Professeur titulaire, Département de management



Signé le 2022-08-30 à 10:35

BIBLIOGRAPHIE

- Acharya, V. (2019). *Oracle blockchain services quick start guide : build effective blockchain applications on the Oracle cloud using Hyperledger fabric*. Birmingham : Packt Publishing. Récupéré de [WorldCat.org
http://www.vlebooks.com/vleweb/product/openreader?id=none&isbn=9781789801309](http://www.vlebooks.com/vleweb/product/openreader?id=none&isbn=9781789801309)
- Al-Rakhami, M. et Al-Mashari, M. (2022). Interoperability approaches of blockchain technology for supply chain systems. *Business Process Management Journal*, (ahead-of-print). doi: <https://doi.org/10.1108/BPMJ-04-2022-0207>
- Alicke, K., Davies, A., Leopoldser, M. et Niemeyer, A. (2017). *Blockchain technology for supply chains—A must or a maybe?* Récupéré le 28 avril 2022 de <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/blockchain-technology-for-supply-chainsa-must-or-a-maybe>
- Allen, D. W. E., Berg, C., Lane, A. M. et Potts, J. (2018, 2018/07/11). Cryptodemocracy and its institutional possibilities. *The Review of Austrian Economics*. doi: 10.1007/s11138-018-0423-6
- Alles, M. et Gray, G. L. (2020). “The first mile problem”: Deriving an endogenous demand for auditing in blockchain-based business processes. *International journal of accounting information systems*, 38, 100465.
- Androulaki, E., Barger, A., Bortnikov, V., Cachin, C., Christidis, K., De Caro, A., . . . Manevich, Y. (2018). Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains. *EuroSys conference* (p. 1-15). Récupéré de <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3190508.3190538>
- Archibald, M. M., Ambagtsheer, R. C., Casey, M. G. et Lawless, M. (2019). Using zoom videoconferencing for qualitative data collection: perceptions and experiences of researchers and participants. *International Journal of Qualitative Methods*, 18, 1609406919874596.
- Auinger, A. et Riedl, R. (2018). Blockchain and trust: Refuting some widely-held misconceptions. *International Conference on Information Systems (ICSI)*. Récupéré de <http://db/conf/icis/icis2018.html#AuingerR18>

- AWG. (2018). *Hyperledger Architecture - Design Philosophy & Consensus* (1). Hyperledger Working Group (WG). Récupéré de <https://wiki.hyperledger.org/display/AWG>
- Back, A. (2002). *Hashcash-A Denial of Service Counter-Measure*. Tech Report. Récupéré de <http://www.hashcash.org/papers/hashcash.pdf>
- Batuhan, E. et Murat, C. e. (2018). The Effect of Trust and Uncertainty in the Supply Chain on Firm Performance. *Journal of International Trade, Logistics and Law*, 4(2), 53-62.
- Batwa, A. et Norrman, A. (2021). Blockchain Technology and Trust in Supply Chain Management: A Literature Review and Research Agenda. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 14(2), 203-220. doi: <https://doi.org/10.31387/oscm0450297>
- Batwa, A., Norrman, A. et Arvidsson, A. (2021). How Blockchain interrelates with trust in the supply chain context: Insights from tracing sustainability in the metal industry. *Hamburg International Conference of Logistics* (vol. 31, p. 329-351). doi: <https://doi.org/10.15480/882.3955>
- Beccerra, M. et Gupta, A. (1999). Trust Within The Organization: Integrating The Trust Literature With Agency Theory And Transaction Costs Economics. *Public Administration Quarterly*, 23(2), 177.
- Beck, R., Stenum Czepluch, J., Lollike, N. et Malone, S. (2016). Blockchain—the gateway to trust-free cryptographic transactions. *European Conference on Information Systems (ECIS)*. Récupéré de http://aisel.aisnet.org/ecis2016_rp/153
- Beck, U., Lash, S. et Wynne, B. (1992). *Risk society: Towards a new modernity* (vol. 17) sage.
- Berg, C., Davidson, S. et Potts, J. (2017). Blockchains Industrialise Trust. *SSRN Electronic Journal*. doi: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3074070>
- Bhattacharyya, S. (2022). FDA Official Says New Rule Could Boost Blockchain-Based Food Tracking. *Wall Street Journal* (NY). Récupéré de <https://www.wsj.com/articles/fda-official-says-new-rule-could-boost-blockchain-based-food-tracking-11643711402>

- BIS. (2022). *Global Blockchain in Agriculture and Food Market Research Report 2022: Increased Need for Transparency in the Food Supply Chain and Supportive Government Initiatives*. Récupéré de <https://www.globenewswire.com/en/search/organization/Research%2520and%2520Markets>
- Blaha, F. et Katafono, K. (2020). Blockchain application in seafood value chains. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*, C(1207), 1-43. doi: <https://doi.org/10.4060/ca8751en>
- Blanchard, D. (2019). *ProMat 2019: Blockchain Is Not Quite Ready for Prime Time Yet*. Récupéré de <https://www.mhlnews.com/technology-automation/article/22055559/promat-2019-blockchain-is-not-quite-ready-for-prime-time-yet>
- Bodo, B. (2020). Mediated trust: A theoretical framework to address the trustworthiness of technological trust mediators. *New Media and Society*, 00, 1-23. doi: 10.1177/1461444820939922
- Borah, M. D., Naik, V. B., Patgiri, R., Bhargav, A., Phukan, B. et Basani, S. G. M. (2020). Supply chain management in agriculture using blockchain and IoT. Dans *Advanced Applications of Blockchain Technology* (p. 227-242). Springer.
- Bosona, T. et Gebresenbet, G. (2013). Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain. *Food control*, 33(1), 32-48. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.02.004>
- Bossauer, P., Neifer, T., Pakusch, C. et Staskiewicz, P. (2019). Using Blockchain in Peer-to-Peer Carsharing to Build Trust in the Sharing Economy. *Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik* (p. 274-278). Récupéré de <https://aisel.aisnet.org/wi2019/track03/papers/11>
- Bracamonte, V. et Okada, H. (2017). *The issue of user trust in decentralized applications running on blockchain platforms* IEEE. Récupéré de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8318975>
- Brookbanks, M. et Parry, G. (2022). The impact of a blockchain platform on trust in established relationships: a case study of wine supply chains. *Supply Chain Management: An*

International Journal, 27(7), 128-146. doi: <https://doi-org.proxy.bibliotheques.uqam.ca/10.1108/SCM-05-2021-0227>

Bumblauskas, D., Mann, A., Dugan, B. et Rittmer, J. (2020, 2020/06/01/). A blockchain use case in food distribution: Do you know where your food has been? *International Journal of Information Management*, 52, 102008. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.09.004>

Buterin, V. (2014). A next-generation smart contract and decentralized application platform. *white paper*, 3(37).

Cagliano, R., Caniato, F. F. A. et Worley, C. G. (2016). *Organizing supply chain processes for sustainable innovation in the agri-food industry* (First edition. éd.). Bingley, UK : Emerald Group Publishing Limited. Récupéré de [WorldCat.org https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1353293](https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1353293)

CAICT. (2018). *Chinese Official Says Blockchain Projects Globally Had Average Life Span Of 1.22 Years*. Récupéré le 12-12 de <https://www.chinamoneynetwork.com/2018/05/28/chinese-official-says-blockchain-projects-globally-had-average-life-span-of-1-22-years>

Cao, S., Powell, W., Foth, M., Natanelov, V., Miller, T. et Dulleck, U. (2021). Strengthening consumer trust in beef supply chain traceability with a blockchain-based human-machine reconcile mechanism. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180(January). doi: 10.1016/j.compag.2020.105886

Carvalho, A. et Karimi, M. (2020). *How Blockchain Can Bring Trust and Transparency to the Payment of Crowd Forecasters, Blockchain, DLT and Fintech*, vol. 2. Récupéré de https://aisel.aisnet.org/icis2020/blockchain_fintech/blockchain_fintech/2

Casino, F., Dasaklis, T. K. et Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55-81.

- Casino, F., Kanakaris, V., Dasaklis, T. K., Moschuris, S. et Rachaniotis, N. P. (2019). Modeling food supply chain traceability based on blockchain technology. *IFAC PapersOnLine*, 52(13), 2728-2733. doi: 10.1016/j.ifacol.2019.11.620
- Catalini, C. et Gans, J. S. (2020). Some simple economics of the blockchain. *Communications of the ACM*, 63(7), 80-90. doi: <https://doi.org/10.1145/3359552>
- CFIA. (2021). *Food Fraud Annual Report 2020 to 2021*. Canadian Food Inspection Agency. Récupéré de <https://inspection.canada.ca/science-and-research/our-research-and-publications/food-fraud-report/eng/1651594307095/1651594307580>
- Chanson, M., Bogner, A., Bilgeri, D., Fleisch, E. et Wortmann, F. (2019). Blockchain for the IoT: privacy-preserving protection of sensor data. *Journal of the Association for Information Systems*, 20(9), 10. doi: <https://doi.org/10.17705/1jais.00567>
- Chen, S., Liu, X., Yan, J., Hu, G. et Shi, Y. (2020). Processes, benefits, and challenges for adoption of blockchain technologies in food supply chains: a thematic analysis. *Information Systems and e-Business Management*, 19(3), 909-935. doi: 10.1007/s10257-020-00467-3
- CHO. (2022). *LE GROUPE* Récupéré le 24 février de <https://group-cho.com/corporate/#facts>
- Chohan, U. W. (2017). Cryptoanarchism and Cryptocurrencies. *SSRN Electronic Journal*. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3079241>
- CISL. (2019). *Trado: New technologies to fund fairer, more transparent supply chains*. Cambridge : University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership. Récupéré de <https://www.cisl.cam.ac.uk/resources/sustainable-finance-publications/trado-new-technologies-to-fund-fairer-more-transparent-supply-chains>
- Coase, R. H., Gillis, X. et Bourreau, M. (1987). La nature de la firme. *Revue française d'économie*, 2(1), 133-163. doi: 10.3406/rfeco.1987.1132
- Cook, M. L., Klein, P. G. et Iliopoulos, C. (2008). Contracting and Organization in Food and Agriculture. Dans É. Brousseau et J.-M. Glachant (dir.), *New Institutional Economics: a guidebook* (chap. 14, p. 608). New York : Cambridge university press.

- Corritore, C. L., Kracher, B. et Wiedenbeck, S. (2003). On-line trust: concepts, evolving themes, a model. *International journal of human-computer studies*, 58(6), 737-758.
- Costa, C., Antonucci, F., Pallottino, F., Aguzzi, J., Sarriá, D. et Menesatti, P. (2013). A review on agri-food supply chain traceability by means of RFID technology. *Food and bioprocess technology*, 6(2), 353-366. doi: <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0958-7>
- Dabbene, F., Gay, P. et Tortia, C. (2014). Traceability issues in food supply chain management: A review. *Biosystems Engineering*, 120, 65-80. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2013.09.006
- Dai, W. (1998). *B-money* : Satoshi Nakamoto Institute. Récupéré de <http://www.weidai.com/bmoney.txt>
- Dani, S. (2015). *Food Supply Chain Management and Logistics: From Farm to Fork* vol. 1. K. Page (Ed.), (p. 280). London. Récupéré de
- Davidson, S., De Filippi, P. et Potts, J. (2016). Economics of Blockchain. *Public Choice Conference*. doi: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2744751>
- Davidson, S., De Filippi, P. et Potts, J. (2018). Blockchains and the economic institutions of capitalism. *Journal of Institutional Economics*, 14(4), 639-658. doi: <https://doi.org/10.1017/S1744137417000200>
- De Filippi, P. (2018). Blockchain et cryptomonnaies. Dans Humensis (dir.), *Que sais-je : le point sur les connaissances actuelles* (vol. 4141, p. 128). Paris : Presses Universitaires de France.
- De Filippi, P. (2019). Blockchain technology and decentralized governance: the pitfalls of a trustless dream. *Decentralized Thriving : Governance and Community on the Web 3.0*, 3. doi: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3524352>
- De Filippi, P., Mannan, M. et Reijers, W. (2020). Blockchain as a confidence machine: The problem of trust & challenges of governance. *Technology in Society*, 62. doi: 10.1016/j.techsoc.2020.101284

De Filippi, P., Wright, A. et Wright, A. (2018). *Blockchain and the law : the rule of code*. Cambridge, Massachusetts : Harvard University Press.

De Meijer, C. R. W. (2020, 29 February 2020). Remaining challenges of blockchain adoption and possible solutions. *Finextra*. Récupéré de <https://www.finextra.com/blogposting/18496/remaining-challenges-of-blockchain-adoption-and-possible-solutions>

Delbufalo, E. (2012). Outcomes of inter - organizational trust in supply chain relationships: a systematic literature review and a meta - analysis of the empirical evidence. *Supply Chain Management: An International Journal*.

Deloitte. (2016). *Innovation Blockchain Infographic 2016*. Récupéré de https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/si/Documents/about-deloitte/16%20US%20Innovation%20Blockchain%20Infographic_FINAL.pdf

Denzin, N. K., Lincoln, Y. S., Denzin, N. K., Lincoln, Y. S. et Denzin, N. K. (1994). *Handbook of qualitative research*. Thousand Oaks : Sage Publications.

Derbel, W. (2003). Le dilemme de la confiance et de la coopération: interdépendance des acteurs et suprématie du système organisationnel. *La Revue des Sciences de Gestion : Direction et Gestion*, 63-88.

Dey, S. S. S. (2021). FoodSQRBlock: Digitizing food production and the supply chain with blockchain and QR code in the cloud. *Sustainability*, 13(6).

Di Vaio, A. et Varriale, L. (2020). Blockchain technology in supply chain management for sustainable performance: Evidence from the airport industry. *International Journal of Information Management*, 52, 102014. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.09.010>

Diaz-Faes, T. et Fernandez, P. (2022). Nueva Pescanova Récupéré de <https://www.nuevapescanova.com/fr/2021/06/08/nueva-pescanova-assurera-la-tracabilite-de-ses-produits-avec-ibm-food-trust-contribuant-ainsi-a-la-durabilite-des-oceans/>

Dixit, A. (2009). Governance institutions and economic activity. *American economic review*, 99(1), 5-24.

Drescher, D. (2017). *Blockchain basics* (vol. 276). New York : Apress.

Dumez, H. (2013). *Méthodologie de la recherche qualitative : les 10 questions clés de la démarche compréhensive*. Paris : Vuibert.

Edelman. (2016). *Trust in Food and Beverage*. Edelman. Récupéré de <https://www.edelman.com/post/trust-food-beverage-five-step-recipe-success>

Edelman. (2017). *Edelman Trust Barometer 2017 Global Report: An Implosion Of Trust*. Edelman. Récupéré de <https://www.edelman.com/trust/2017-trust-barometer>

Edelman. (2021). *2021 Edelman Trust Barometer: Trust and The Food and Beverage Sector*. Edelman. Récupéré de <https://www.edelman.com/trust/2021-trust-barometer/dramatic-declines-food-and-beverage-trust>

Eenmaa-Dimitrieva, H. et Schmidt-Kessen, M. J. (2019). Smart Contracts: Reducing Risks in Economic Exchange with No-Party Trust? *10*(2), 245-262. doi: 10.1017/err.2019.37

FDA. (2019). Deputy Commissioner Champions More Digital, Transparent Food Safety System. Récupéré de *Conversations with Experts on Food Topics* <https://www.fda.gov/food/conversations-experts-food-topics/deputy-commissioner-champions-more-digital-transparent-food-safety-system>

Fiala, P. (2005). Information sharing in supply chains. *Omega Oxford Pergamon Press*, 33(5), 419-423. doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.07.006>

Fleischmann, M. et Ivens, B. (2019). Exploring the role of trust in blockchain adoption: an inductive approach. *Hawaii international conference on system sciences (HICSS)*. Récupéré de <http://hdl.handle.net/10125/60120>

- Fleischmann, M., Ivens, B. S. et Krishnamachari, B. (2020a). Blockchain Technology as a Means for Brand Trust Repair–Empirical Evidence from a Digital Transgression.
- Fleischmann, M., Ivens, B. S. et Krishnamachari, B. (2020b). Blockchain Technology as a Means for Brand Trust Repair–Empirical Evidence from a Digital Transgression. *Hawaii international conference on system sciences (HICSS)*. Récupéré de <http://hdl.handle.net/10125/64396>
- Flynn, B. B., Koufteros, X. et Lu, G. (2016). On theory in supply chain uncertainty and its implications for supply chain integration. *Journal of Supply Chain Management*, 52(3), 3-27.
- Frizzo-Barker, J., Chow-White, P. A., Adams, P. R., Mentanko, J., Ha, D. et Green, S. (2020). Blockchain as a disruptive technology for business: A systematic review. *International Journal of Information Management*, 51. doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2019.10.014
- Fukuyama, F. (1995). *Trust: The social virtues and the creation of prosperity* (vol. 99) Free press New York, NY.
- Galvez, J. F., Mejuto, J. C. et Simal-Gandara, J. (2018). Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 107, 222-232. doi: 10.1016/j.trac.2018.08.011
- Garaus, M. et Treiblmaier, H. (2021). The influence of blockchain-based food traceability on retailer choice: The mediating role of trust. *Food Control*, 129(108082). doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108082>
- Gefen, D., Karahanna, E. et Straub, D. W. (2003). Trust and TAM in online shopping: An integrated model. *MIS quarterly*, 27(1), 51-90.
- Georgiana-Loredana, S. (2019). Investing Trust in Blockchain Technology: Bitcoin Case Study. *Ovidius University Annals: Economic Sciences Series*, 19(2), 884-888. Récupéré de <https://ideas.repec.org/a/ovi/oviste/vxixy2019i2p884-888.html>

- Gipp, B., Kosti, J. et Breitinger, C. (2016). Securing Video Integrity Using Decentralized Trusted Timestamping on the Bitcoin Blockchain. *MCIS*. Récupéré de <https://aisel.aisnet.org/mcis2016/51/?ref=https://githubhelp.com>
- Glaser, F. (2017). *Pervasive decentralisation of digital infrastructures: a framework for blockchain enabled system and use case analysis* Récupéré de https://aisel.aisnet.org/hicss-50/da/open_digital_services/4/
- Glaser, F., Hawlitschek, F. et Notheisen, B. (2019). Blockchain as a platform. Dans *Business transformation through Blockchain* (p. 121-143). Springer.
- Grant, D. B., Trautrim, A. et Wong, C. Y. (2017). *Sustainable logistics and supply chain management : principles and practices for sustainable operations and management* (Second edition. éd.). London ; : Kogan Page. Récupéré de *WorldCat.org* <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1494544>
- Greenwald, G. (2014). *No place to hide : Edward Snowden, the NSA, and the U.S. surveillance state*. New York : Metropolitan Books/Henry Holt.
- Greiner, M. et Wang, H. (2015). *Trust-free systems-a new research and design direction to handle trust-issues in P2P systems: the case of Bitcoin, Adoption And Diffusion Of Information Technology, vol. 11*.
- Ha, A. Y. et Tang, C. S. (2017). *Handbook of information exchange in supply chain management*. Switzerland : Springer. Récupéré de *WorldCat.org* <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1214293>
- Haber, S. et Stornetta, W. S. (1991, 1991/01/01). How to time-stamp a digital document. *Journal of Cryptology*, 3(2), 99-111. doi: 10.1007/BF00196791
- Hawlitschek, F., Notheisen, B. et Teubner, T. (2018). The limits of trust-free systems: A literature review on blockchain technology and trust in the sharing economy. *Electronic commerce research and applications*, 29, 50-63.

- Holland, C. P. (1998). The importance of trust and business relationships in the formation of virtual organisations. *Organizational virtualness*, 3, 53-54.
- Horton, J. (2021). *GitHub* [GitHub : IBM. Récupéré de <https://github.com/IBM/IFT-Developer-Zone/wiki>
- Hosmer, L. T. (1995). Trust: The Connecting Link between Organizational Theory and Philosophical Ethics. *The Academy of Management Review*, 20(2), 379-403. doi: 10.2307/258851
- Howson, P. (2020). Building trust and equity in marine conservation and fisheries supply chain management with blockchain. *Marine Policy*, 115, 103873.
- Hu, S., Huang, S., Huang, J. et Su, J. (2021). Blockchain and edge computing technology enabling organic agricultural supply chain: A framework solution to trust crisis. *Computers & Industrial Engineering*, 153. doi: 10.1016/j.cie.2020.107079
- Hughes, E. (1993). A cypherpunk's manifesto. *Crypto anarchy, cyberstates, and pirate utopias*, 81-83.
- Hyperledger. (2019, Février 2019). *Case study: How Walmart brought unprecedented transparency to the food supply chain with Hyperledger Fabric* (4 éd., Vol.). [Case study]. Récupéré de https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2019/02/Hyperledger_CaseStudy_Walmart_Printable_V4.pdf
- Hyperledger. (2018). *An introduction to Hyperledger* (1 éd., Vol.). Hyperledger. Récupéré de https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2018/07/HL_Whitepaper_IntroductiontoHyperledger.pdf
- Iansiti, M. et Lakhani, K. (2017, 01/01). The Truth About Blockchain. *Harvard business review*, 95, 118-127.
- IBM-Newsroom. (2020). *CHO tire parti d'IBM Food Trust pour fournir des informations sur la qualité et l'origine de l'huile d'olive extra vierge Terra Delyssa*. Récupéré de

<https://fr.newsroom.ibm.com/2020-02-25-CHO-tire-parti-dIBM-Food-Trust-pour-fournir-des-informations-sur-la-qualite-et-lorigine-de-lhuile-dolive-extra-vierge-Terra-Delyssa>

IBM. (2022). *Seafood on blockchain*. Récupéré le 23/01 de <https://www.ibm.com/blockchain/resources/food-trust/seafood/>

ILO. (2022). *Chaînes d'approvisionnement mondiales*. Récupéré le Janvier, 16 de <https://www.ilo.org/global/topics/dw4sd/themes/supply-chains/lang--fr/index.htm#:~:text=Les%20cha%C3%A9nes%20d'approvisionnement%20mondiales%20sont%20des%20structures%20organisationnelles%20complexes,les%20cha%C3%A9nes%20de%20valeur%20mondiales>.

Interpol et Europol. (2021). *Operation Opson IX – Analysis report*. Récupéré de <https://www.europol.europa.eu/publications-events/publications/operation-opsion-ix-%E2%80%93-analysis-report>

Jablonska, J. (2019). *In Ecuador, sustainable shrimp for a sustainable future*. IBM Case studies : Récupéré de <https://www.ibm.com/case-studies/sustainable-shrimp-partnership/>

Jahanbin, P., Wingreen, S. et Sharma, R. (2019). Blockchain and IoT integration for Trust Improvement in Agricultural Supply Chain. *European Conference on Information Systems*. Récupéré de https://aisel.aisnet.org/ecis2019_rip/10

Jenner, B. M. et Myers, K. C. (2019). Intimacy, rapport, and exceptional disclosure: a comparison of in-person and mediated interview contexts. *International Journal of Social Research Methodology*, 22(2), 165-177.

Jensen, T., Hedman, J. et Henningsson, S. (2019). How tradelens delivers business value with blockchain technology. *MIS Quarterly Executive*, 18(4).

Joo, J. et Han, Y. (2021). An Evidence of Distributed Trust in Blockchain-Based Sustainable Food Supply Chain. *Sustainability*, 13(19), 10980. doi: <https://doi.org/10.3390/su131910980>

Kamath, R. (2018). Food traceability on blockchain: Walmart's pork and mango pilots with IBM. *The Journal of the British Blockchain Association*, 1(1), 3712.

- Kamble, S. S., Sharma, R. et Gunasekaran, A. (2020). Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain. *International Journal of Information Management*, 52. doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.023
- Kamilaris, A., Fonts, A. et Prenafeta-Boldó, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 640-652.
- Khan, D., Jung, L. T. et Hashmani, M. A. (2021). Systematic Literature Review of Challenges in Blockchain Scalability. *Applied Sciences*, 11(20), 9372.
- Klein, S., Frazier, G. L. et Roth, V. J. (1990). A transaction cost analysis model of channel integration in international markets. *Journal of marketing research*, 27(2), 196-208.
- Komiak, S. Y. et Benbasat, I. (2006). The effects of personalization and familiarity on trust and adoption of recommendation agents. *MIS quarterly*, 941-960.
- Kshetri, N. (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International journal of information management.*, 39, 80-89.
- Kwon, K.-W. et Suh, T. (2005). Trust, commitment and relationships in supply chain management: a path analysis. *Supply chain management*, 10(1), 26-33.
- Kwon, Y.-C. (2011). Relationship-specific investments, social capital, and performance: The case of Korean exporter/foreign buyer relations. *Asia Pacific Journal of Management*, 28(4), 761-773.
- Lacity, M., Sabherwal, R. et Sørensen, C. (2019). Special Issue Editorial: Delivering Business Value through Enterprise Blockchain Applications. *MIS Quarterly Executive*, 18(4), ix-xix.
- Lankton, N. K. et McKnight, D. H. (2011). What does it mean to trust facebook? Examining technology and interpersonal trust beliefs. *ACM SIGMIS Database: The database for Advances in Information Systems*, 42(2), 32-54.

- Laurent, É. (2019). *Économie de la confiance*. Paris : La Découverte. doi: <https://doi.org/10.3917/dec.laure.2019.01>
- Le Moigne, J.-L. (2001). Pourquoi je suis un constructiviste non repentant. *Revue du MAUSS*, (1), 197-223. doi: <https://doi.org/10.3917/rdm.017.0197>
- Lee, J. D. et Moray, N. (1992). Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems. *Ergonomics*, 35(10), 1243-1270. doi: <https://doi.org/10.1080/00140139208967392>
- Lee, J. D. et Moray, N. (1994). Trust, self-confidence, and operators' adaptation to automation. *International journal of human-computer studies*, 40(1), 153-184. doi: <https://doi.org/10.1006/ijhc.1994.1007>
- Lee, J. D. et See, K. A. (2004). Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human factors*, 46(1), 50-80. doi: https://doi.org/10.1518/hfes.46.1.50_30392
- Lemieux, V. L. (2016). Trusting records: is Blockchain technology the answer? *Records Management Journal*, 26(2), 110-139. doi: 10.1108/RMJ-12-2015-0042
- Leong, J., Skinner, R. et Beeren, D. (2015). *Food trust: Giving customers confidence in your food*. PwC. Récupéré de <https://www.pwc.com/sg/en/publications/assets/food-trust.pdf>
- Lewicki, R. J. et Bunker, B. B. (1995). Trust in relationships: a model of trust development and decline. *Administrative Science Quarterly*, 5(1), 583-601.
- Lewicki, R. J. et Bunker, B. B. (1996). Developing and maintaining trust in work relationships. Dans *Trust in organizations: Frontiers of Theory and Research* (chap. 7, p. 114-139).
- Li, H., Cheng, Y., Luo, J., Li, L. et Wu, Y. (2022). Establishment of a food fraud database and analysis of fraud information based on network data in China. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 17(2), 177-181. doi: <https://doi.org/10.1007/s00003-021-01361-x>

- Li, X., Hess, T. J. et Valacich, J. S. (2008). Why do we trust new technology? A study of initial trust formation with organizational information systems. *The Journal of Strategic Information Systems*, 17(1), 39-71.
- Li, X., Rong, G. et Thatcher, J. B. (2012). Does Technology Trust Substitute Interpersonal Trust?: Examining Technology Trust's Influence on Individual Decision-Making. *Journal of Organizational and End User Computing (JOEUC)*, 24(2), 18-38.
- Li, X., Zheng, Z. et Dai, H.-N. (2021). When services computing meets blockchain: Challenges and opportunities. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 150, 1-14.
- Loebbecke, C., Lueneborg, L. et Niederle, D. (2018). Blockchain technology impacting the role of trust in transactions: Reflections in the case of trading diamonds. *ECIS* (p. 68). Récupéré de https://aisel.aisnet.org/ecis2018_rip/68
- Longo, F., Nicoletti, L., Padovano, A., d'Atri, G. et Forte, M. (2019). Blockchain-enabled supply chain: An experimental study. *Computers and Industrial Engineering*, 136(C), 57-69. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.026>
- Lustig, C. et Nardi, B. (2015). Algorithmic authority: The case of Bitcoin. *Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)* (p. 743-752). IEEE Computer Society. doi: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2015.95>
- Magazzeni, D., McBurney, P. et Nash, W. (2017). Validation and verification of smart contracts: A research agenda. *Computer*, 50(9), 50-57. doi: <https://doi.org/10.1109/MC.2017.3571045>
- Mangematin, V. (1998). *La confiance: un mode de coordination dont l'utilisation dépend de ses conditions de production*. <http://hal.grenoble-em.com/hal-00424495>.
- Mathews, M., Robles, D. et Bowe, B. (2017). BIM+ blockchain: A solution to the trust problem in collaboration?, *CITA BIM Gathering* doi: <https://doi.org/10.21427/D73N5K>

- Matzembacher, D. E., do Carmo Stangherlin, I., Slongo, L. A. et Cataldi, R. (2018). An integration of traceability elements and their impact in consumer's trust. *Food Control*, 92, 420-429. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.05.014>
- May, T. (1992). The crypto anarchist manifesto. *High Noon on the Electronic Frontier: Conceptual Issues in Cyberspace*.
- Mayer, R. C., Davis, J. H. et Schoorman, F. D. (1995). An Integrative Model of Organizational Trust. *The Academy of Management Review*, 20(3), 709-734. doi: 10.2307/258792
- McKnight, D. H. (2005). Trust in information technology. Dans G. B. Davis (dir.), *The Blackwell encyclopedia of management* (vol. 7, p. 329-331).
- McKnight, D. H., Carter, M., Thatcher, J. B. et Clay, P. F. (2011). Trust in a specific technology: An investigation of its components and measures. *ACM Transactions on management information systems (TMIS)*, 2(2), 1-25.
- McKnight, D. H. et Chervany, N. L. (2001). What trust means in e-commerce customer relationships: An interdisciplinary conceptual typology. *International journal of electronic commerce*, 6(2), 35-59.
- McKnight, D. H., Choudhury, V. et Kacmar, C. (2002a). Developing and validating trust measures for e-commerce: An integrative typology. *Information systems research*, 13(3), 334-359.
- McKnight, D. H., Choudhury, V. et Kacmar, C. (2002b). The impact of initial consumer trust on intentions to transact with a web site: a trust building model. *The journal of strategic information systems*, 11(3-4), 297-323.
- McKnight, D. H., Cummings, L. L. et Chervany, N. L. (1998). Initial trust formation in new organizational relationships. *Academy of Management review*, 23(3), 473-490.
- Mehrwald, P., Treffers, T., Titze, M. et Welpel, I. M. (2019). Application of Blockchain Technology in the Sharing Economy: A Model of Trust and Intermediation. *Hawaii International Conference on Systems Sciences (HICSS)* (p. 1-10). Récupéré de <http://hdl.handle.net/10125/59896>

Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D. et Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business logistics*, 22(2), 1-25.

Mik, E. (2017). Smart contracts: terminology, technical limitations and real world complexity. *Law, Innovation and Technology*, 9(2), 269-300. doi: <https://doi.org/10.1080/17579961.2017.1378468>

Miles, M. B. et Huberman, A. M. (2003). *Analyse des données qualitatives : recueil de nouvelles méthodes* (2e éd. éd.). Bruxelles : De Boeck Université.

Moorsel, A. v., Aldweesh, A., Alharby, M., International Conference on Cloud Computing, B. D. et Blockchain Fuzhou, C. N. N. (2018). Blockchain-based Smart Contracts: A Systematic Mapping Study of Academic Research (2018). Dans *2018 International Conference on Cloud Computing, Big Data and Blockchain (ICCB)* (p. 1-6).

Morgan, R. M. et Hunt, S. D. (1994). The Commitment-Trust Theory of Relationship Marketing. *Journal of Marketing*, 58(3), 20-38.

Motta, G. A., Tekinerdogan, B. et Athanasiadis, I. N. (2020). Blockchain Applications in the Agri-Food Domain: The First Wave. *Frontiers in Blockchain*, 3. doi: <https://doi.org/10.3389/fbloc.2020.00006>

Mougayar, W. (2016). *The business blockchain : promise, practice, and application of the next Internet technology*. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.

Mourouzis, T. et Tandon, J. (2019). Introduction to decentralization and smart contracts. *Cornell University Open Archives*. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1903.04806>

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system (White Paper).

Namasudra, S., Deka, G. C., Johri, P., Hosseinpour, M. et Gandomi, A. H. (2021). The Revolution of Blockchain: State-of-the-Art and Research Challenges. *Archives of Computational Methods in Engineering : State of the Art Reviews*, 28(3), 1497-1515.

- Nass, C., Moon, Y., Fogg, B. J., Reeves, B. et Dryer, C. (1995, Aout). Can computer personalities be human personalities? *International Journal of Human Computer Studies*, 43(2), 223-239. doi: <https://doi.org/10.1006/ijhc.1995.1042>
- Noël, A. (2011). *La conduite d'une recherche : mémoires d'un directeur*. Montréal : JFD.
- North, D. C. (1991). Institutions. *The Journal of Economic Perspectives*, 5(1), 97-112.
- Notheisen, B., Cholewa, J. B. et Shanmugam, A. P. (2017). Trading real-world assets on blockchain-an application of trust-free transaction systems in the market for lemons. *Business & Information Systems Engineering*, 59(6), 425-440.
- Notheisen, B., Hawlitschek, F. et Weinhardt, C. (2017). *Breaking down the Blockchain Hype - towards a Blockchain Market Engineering Approach* Récupéré de http://aisel.aisnet.org/ecis2017_rp/69
- Olsen, P. et Borit, M. (2013). How to define traceability. *Trends in food science & technology*, 29(2), 142-150.
- Olsen, P., Borit, M. et Syed, S. (2019). *Applications, limitations, costs, and benefits related to the use of blockchain technology in the food industry* (4-2019). Récupéré de <https://munin.uit.no/bitstream/handle/10037/15820/article.pdf>
- Ostern, N. (2018). Do You Trust a Trust-Free Transaction? Toward a Trust Framework Model for Blockchain Technology. *International Conference on Information Systems (ICIS)*. Association of Information Systems. Récupéré de <https://aisel.aisnet.org/icis2018/crypto/Presentations/3>
- Paluri, R. A. et Mishal, A. (2020). Trust and commitment in supply chain management: a systematic review of literature. *Benchmarking: An International Journal*.
- Patil, A. S., Tama, B. A., Park, Y. et Rhee, K.-H. (2017). A framework for blockchain based secure smart green house farming. Dans *Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing* (p. 1162-1167). Springer.

- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods* (3rd ed. éd.). Thousand Oaks, Calif : Sage Publications.
- Pennington, R., Wilcox, H. D. et Grover, V. (2003). The role of system trust in business-to-consumer transactions. *Journal of Management Information Systems*, 20(3), 197-226.
- Perret, V. et Séville, M. (2003). Fondements épistémologiques de la recherche. Dans Dunod (dir.), *Méthodes de recherche en Management*.
- Pietrewicz, L. (2019). Token-based blockchain financing and governance: A transaction cost approach. *Studia i Materiały/Wydział Zarządzania Uniwersytet Warszawski*, 126-136. doi: <https://doi.org/10.7172/1733-9758.2018.28.11>
- Powell, W., Foth, M., Cao, S. et Natanelov, V. (2022). Garbage in garbage out: The precarious link between IoT and blockchain in food supply chains. *Journal of Industrial Information Integration*, 25, 100261. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100261>
- Provenance. (2016). *From shore to plate: Tracking tuna on the blockchain* [Study case]. Provenance Récupéré de <https://www.provenance.org/tracking-tuna-on-the-blockchain>
- Putnam, R. D. (2000). *Bowling alone: The collapse and revival of American community* Simon and schuster.
- PwC. (2014). *Fighting \$40bn food fraud to protect food supply*. Récupéré le 08-02 de <https://www.pwc.com/my/en/press/160127-fighting-40bn-food-fraud-to-protect-food-supply.html#:~:text=Food%20fraud%20affects%20consumer%20confidence,SSAFE%20Executive%20Director%20Quincy%20Lissaur>.
- PwC. (2020). *PwC's Global Economic Crime and Fraud Survey 2020*. PwC. Récupéré de <https://www.pwc.com/gx/en/forensics/gecs-2020/pdf/global-economic-crime-and-fraud-survey-2020.pdf>
- Ragnedda, M. et Destefanis, G. (2020). Blockchain a disruptive technology. Dans M. Ragnedda et G. Destefanis (dir.), *Blockchain and web 3.0 : social, economic, and technological*

challenges (chap. 1, p. 319 pages). London : Routledge studies in science, Technology and Society.

Rana, R. L., Tricase, C. et De Cesare, L. (2021). Blockchain technology for a sustainable agri-food supply chain. *British Food Journal*, (Ahead of print). doi: <https://doi.org/10.1108/BFJ-09-2020-0832>

Repakula, s. et Bauer, M. (2019). *Hyperledger Fabric Fundamentals*. IBM. Récupéré de <https://events19.linuxfoundation.org/wp-content/uploads/2018/07/OSS-Japan-2019.pdf>

Ridings, C. M., Gefen, D. et Arinze, B. (2002). Some antecedents and effects of trust in virtual communities. *The journal of strategic Information Systems*, 11(3-4), 271-295.

Rocha, G. d. S. R., de Oliveira, L. et Talamini, E. (2021). Blockchain Applications in Agribusiness: A Systematic Review. *Future Internet*, 13(4), 95.

Rogerson, M. et Parry, G. C. (2020). Blockchain: case studies in food supply chain visibility. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(4), 601-614. doi: <https://doi.org/10.1108/SCM-08-2019-0300>

Ross, J. W., Weill, P., Robertson, D. C., Weill, P. et Robertson, D. (2006). *Enterprise architecture as strategy creating a foundation for business execution*.

Rousseau, D., Sitkin, S., Burt, R. et Camerer, C. (1998). Not so different after all: A cross-discipline view of trust. *Academy of Management. The Academy of Management Review*, 23(3), 393-404. doi: 10.5465/AMR.1998.926617

Routroy, S. et Behera, A. (2017). Agriculture supply chain: A systematic review of literature and implications for future research. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*.

Rutland, E. (2017). *Blockchain Byte*. Corda R3 Entreprise. Récupéré de https://www.finra.org/sites/default/files/2017_BC_Byte.pdf

- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J. et Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2117-2135. doi: 10.1080/00207543.2018.1533261
- Sadhya, V., Sadhya, H., Hirschheim, R. et Watson, E. (2018). *Exploring technology trust in Bitcoin: The Blockchain exemplar* AIS. Récupéré de https://aisel.aisnet.org/ecis2018_rp/5/
- Salah, K., Nizamuddin, N., Jayaraman, R. et Omar, M. (2019). Blockchain-Based Soybean Traceability in Agricultural Supply Chain. *IEEE access*, 7, 73295-73305.
- Saldaña, J. (2013). *The coding manual for qualitative researchers* (2nd ed. éd.). London [Angleterre] : SAGE.
- Salmons, J. (2015). *Qualitative online interviews : strategies, design, and skills* (Second edition. éd.). Los Angeles [i.e. Thousand Oaks, California] : SAGE Publications.
- Sander, F., Semeijn, J. et Mahr, D. (2018). The acceptance of blockchain technology in meat traceability and transparency. *British Food Journal*, 120(9), 2066-2079. doi: 10.1108/BFJ-07-2017-0365
- Sanka, A. I. et Cheung, R. C. C. (2021). A systematic review of blockchain scalability: Issues, solutions, analysis and future research. *Journal of Network and Computer Applications*, 195, 103232. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103232>
- Sapienza, P. et Zingales, L. (2012). A Trust Crisis. *International Review of Finance*, 12(2), 123-131. doi: 10.1111/j.1468-2443.2012.01152.x
- Sas, C. et Khairuddin, I. E. (2015). *Exploring trust in Bitcoin technology: a framework for HCI research* doi: <https://doi.org/10.1145/2838739.2838821>
- Schoorman, F. D., Mayer, R. C. et Davis, J. H. (2007). An Integrative Model of Organizational Trust: Past, Present, and Future. *Academy Of Management Review*, 32(2), 344-354. doi: 10.5465/AMR.2007.24348410

- Scuderi, A., Foti, V. et Timpanaro, G. (2019). The supply chain value of pod and pgi food products through the application of blockchain. *Calitatea*, 20(S2), 580-587.
- Seppänen, R., Blomqvist, K. et Sundqvist, S. (2007). Measuring inter-organizational trust—a critical review of the empirical research in 1990–2003. *Industrial marketing management*, 36(2), 249-265.
- Shahid, A., Almogren, A., Javaid, N., Al-Zahrani, F. A., Zuair, M. et Alam, M. (2020). Blockchain-Based Agri-Food Supply Chain: A Complete Solution. *IEEE access*, 8, 69230-69243.
- Shao, Z., Zhang, L. et Wang, J. (2020). Uncovering the Trust Transfer Mechanisms in a Blockchain-Based Healthcare Platform: A Mixed Method. *AMCIS*. Récupéré de https://aisel.aisnet.org/amcis2020/social_computing/social_computing/7
- Shin, D. D. H. (2019). Blockchain: The emerging technology of digital trust. *Telematics and Informatics*, 45, 101278. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tele.2019.101278>
- Simon, É. (2007). La confiance dans tous ses états. *Revue française de gestion*, 175(6), 83-94. doi: 10.3166/rfg.175.83-94
- Simon, H. A. (1978). Rationality as process and as product of thought. *American Economic Review*, 68(2), 1-16.
- Smits, M. et Hulstijn, J. (2020). Blockchain Applications and Institutional Trust. *Frontiers in Blockchain*, 3, 5. Récupéré de URL=<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fbloc.2020.00005>
- Söllner, M., Hoffmann, A., Hoffmann, H., Wacker, A. et Leimeister, J. M. (2012). Understanding the formation of trust in IT artifacts. *International Conference on Information Systems (ICIS)*. Orlando Florida :. doi: 10.1007/978-3-319-05044-7__3
- Söllner, M., Hoffmann, A. et Leimeister, J. M. (2016). Why different trust relationships matter for information systems users. *European Journal of Information Systems*, 25(3), 274-287.

- Sun, R.-T., Garimella, A., Han, W., Chang, H.-L. et Shaw, M. J. (2020). Transformation of the Transaction Cost and the Agency Cost in an Organization and the Applicability of Blockchain—A Case Study of Peer-to-Peer Insurance. *Frontiers in Blockchain*, 3. doi: <https://doi.org/10.3389/fbloc.2020.00024>
- Sutcliffe, K. M. et Zaheer, A. (1998). Uncertainty in the transaction environment: an empirical test. *Strategic management journal*, 19(1), 1-23.
- Swan, M. et Brunswicker, S. (2018). *Blockchain economic networks and algorithmic trust*, SIG Philosophy Récupéré de <https://aisel.aisnet.org/amcis2018/Philosophy/Presentations/4>
- Sylvester, G. (2019). *E-agriculture in action: blockchain for agriculture. Opportunities and challenges* FAO/ITU.
- Szabo, N. (1994). *Smart Contracts* Récupéré de <http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart.contracts.html>
- Szabo, N. (1999). *The God Protocols*. Satoshi Nakamoto Institute. Satoshi Nakamoto Institute.
- Tapscott, D. et Tapscott, A. (2016). *Blockchain revolution : how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world*. New York, New York : Portfolio/Penguin.
- Tejpal, G., Garg, R. K. et Sachdeva, A. (2013). Trust among supply chain partners: a review. *Measuring Business Excellence*, 17(1), 51-71. doi: 10.1108/13683041311311365
- Tripoli, M. et Schmidhuber, J. (2020). *Emerging Opportunities for the Application of blockchain in the Agri-food Industry* (3). Rome and Geneva : FAO and ICTSD.
- Van de Ven, A. H. et Ring, P. S. (2006). Relying on trust in cooperative inter-organizational relationships. *Handbook of trust research*, 144-164.
- Velmuradova, M. (2004). *Epistémologies et méthodologies de la recherche en Sciences de gestion. Note de synthèse*. Récupéré de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01582285>

- Visciano, P. et Schirone, M. (2021). Food frauds: Global incidents and misleading situations. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 424-442. doi: 10.1016/j.tifs.2021.06.010
- Vu, N., Ghadge, A. et Bourlakis, M. (2021). Blockchain adoption in food supply chains: a review and implementation framework. *Production Planning & Control*, 1-18. doi: <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1939902>
- Walker, M., Burton, B. et Cantara, M. (2016). *Hype Cycle for Emerging Technologies, 2016*. Gartner. Récupéré de <https://www.gartner.com/en/documents/3383817/hype-cycle-for-emerging-technologies-2016>
- Wallbach, S., Lehner, R., Roethke, K., Elbert, R. et Benlian, A. (2020). Trust-building effects of Blockchain features—an empirical analysis of immutability, traceability and anonymity. *Proceedings of the 28th European Conference on Information*. Récupéré de https://aisel.aisnet.org/ecis2020_rp/182/
- Walmart. (2018). *Food Traceability Initiative: Fresh Leafy Green*. Récupéré de https://corporate.walmart.com/media-library/document/blockchain-supplier-letter-september-2018/_proxyDocument?id=00000166-088d-dc77-a7ff-4dff689f0001
- Walton, J. B. et Dhillon, G. (2017). Understanding digital crime, trust, and control in Blockchain technologies.
- Wang, Y., Han, J. H. et Beynon-Davies, P. (2019). Understanding blockchain technology for future supply chains: a systematic literature review and research agenda. *Supply Chain Management*, 24(1), 62-84. doi: 10.1108/SCM-03-2018-0148
- Webster, J. et Watson, R. T. (2002). Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. *MIS quarterly*, xiii-xxiii.
- Weiss, J. et Obermeier, D. (2021). *How Blockchain Can Enhance Trust and Transparency of Online Surveys, Blockchain, DLT and Fintech*, vol. 7. Récupéré de <https://aisel.aisnet.org/icis2021/fintech/fintech/7>

- Werbach, K. (2018a). *The blockchain and the new architecture of trust*. Cambridge, Massachusetts : The MIT Press.
- Werbach, K. (2018b). Trust, but Verify: Why the Blockchain Needs the Law. *Berkeley Technology Law Journal*, 33(2).
- Williamson, O. E. (1985). *The economic institutions of capitalism : firms, markets, relational contracting* ([Pbk. ed.]. éd.). New York : Free Press, Collier-Macmillan.
- Williamson, O. E. (1993). Calculativeness, trust, and economic organization. *The journal of law and economics*, 36(1), 453-486.
- Williamson, O. E. (2008). Préface. Dans É. Brousseau et J.-M. Glachant (dir.), *New Institutional Economics: a guidebook* (chap. Foreword, p. 608). New York : Cambridge university press.
- Wognum, P. M., Bremmers, H. J., Trienekens, J. H., Vorst, v. d. J. G. A. J. et Bloemhof, J. M. (2011). Systems for sustainability and transparency of food supply chains - Current status and challenges. *Advanced Engineering informatics*, 25(1), 65-76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2010.06.001>
- Xie, J., Yu, F. R., Huang, T., Xie, R., Liu, J. et Liu, Y. (2019). A survey on the scalability of blockchain systems. *IEEE Network*, 33(5), 166-173.
- Xiong, H., Dalhaus, T., Wang, P. et Huang, J. (2020, 2020-February-21). Blockchain Technology for Agriculture: Applications and Rationale. *Frontiers in Blockchain*, 3(7). doi: 10.3389/fbloc.2020.00007
- Xu, J., Guo, S., Xie, D. et Yan, Y. (2020). Blockchain: A new safeguard for agri-foods. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 153-161. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2020.08.002>
- Xu, M., Chen, X. et Kou, G. (2019). A systematic review of blockchain. *Financial Innovation*, 5(1). doi: <https://doi.org/10.1186/s40854-019-0147-z>

- Yajie, W., Kai, C., Miao, H. et Bing, Y. (2020). Food Safety Traceability Method Based on Blockchain Technology. *1634*(1). doi: 10.1088/1742-6596/1634/1/012025
- Yang, R., Wakefield, R., Lyu, S., Jayasuriya, S., Amarasinghe, G., Han, F., . . . Chen, S. (2020). Public and private blockchain in construction business process and information integration. *Automation in Construction*, *118*, 103276–103276. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103276>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications : design and methods* (Sixth edition. éd.). Los Angeles : SAGE.
- Zaheer, A., McEvily, B. et Perrone, V. (1998). Does trust matter? Exploring the effects of interorganizational and interpersonal trust on performance. *Organization science*, *9*(2), 141-159.
- Zhang, S., Zhou, E., Pi, B., Sun, J., Yamashita, K. et Nomura, Y. (2019). *A solution for the risk of non-deterministic transactions in hyperledger fabric* IEEE.
- Zhao, J. L., Fan, S. et Zheng, E. (2018). Blockchain-Enabled Trust: The Case of Inter-Firm Dataflow. *AMCIS*. Récupéré de <https://aisel.aisnet.org/amcis2018/TREOsPDS/Presentations/71/>
- Zuboff, S. (2019). *The age of surveillance capitalism : the fight for a human future at the new frontier of power* (First edition. éd.). New York : PublicAffairs.
- Zucker, L. G. (1986). Production of trust: Institutional sources of economic structure, 1840-1920. *Research in organizational behavior*, *8*, 53-111.