



HAL
open science

La traçabilité dans les chaînes logistiques en utilisant l'IoT et la Blockchain

Mohamed Ahmed Mohamed, Chantal Taconet, Mohamed Ould Mohamed
Lemine

► To cite this version:

Mohamed Ahmed Mohamed, Chantal Taconet, Mohamed Ould Mohamed Lemine. La traçabilité dans les chaînes logistiques en utilisant l'IoT et la Blockchain. Evolution des SI : vers des SI Pervasifs ?, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Jun 2019, Paris, France. pp.1-10. hal-02152725

HAL Id: hal-02152725

<https://hal.science/hal-02152725>

Submitted on 11 Jun 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La traçabilité dans les chaînes logistiques en utilisant l'IoT et la Blockchain

Mohamed AHMED MOHAMED^{1,2}, Chantal TACONET²,
Mohamed OULD MOHAMED LEMINE¹

1. Alis, Paris, France

mohamed.ahmed@alis-intl.com, mohamed.ould@alis-intl.com

2. Télécom SudParis, France

chantal.taconet@telecom-sudparis.eu

RÉSUMÉ. L'émergence de l'internet des objets (IoT) et de la Blockchain contribuera à l'évolution des systèmes d'information dédiée à la gestion de la traçabilité dans les chaînes logistiques. Dans ce cadre nous proposons une architecture pour ces systèmes de traçabilité basée sur l'utilisation de l'IoT et de la Blockchain, afin d'offrir une meilleure visibilité des informations de traçabilité, et de rajouter plus de transparence et de fiabilité dans ces informations.

ABSTRACT. The emergence of the Internet of Things (IoT) and Blockchain will contribute to the evolution of information systems dedicated to traceability management in supply chains. In this context, we propose a new architecture for these traceability systems based on the use of IoT and Blockchain in order to offer a better visibility of traceability informations, and to add more transparency and reliability in these informations.

MOTS-CLÉS : IoT, Blockchain, Traçabilité, Logistique

KEYWORDS: IoT, Blockchain, Traceability, Supply chain

DOI:10.3166/ISL.1.1.1-10 © 2019 Lavoisier

1. Introduction

Dans le domaine des chaînes logistiques, les nouvelles technologies, telles que l'Internet des objets (Internet of Things en anglais ou IoT) et la Blockchain permettent d'améliorer la traçabilité des événements. L'architecture des systèmes d'information se doit d'évoluer afin d'être à la fois réactive aux informations provenant de l'IoT et transparente vis-à-vis de l'ensemble des intermédiaires de la chaîne logistique. Introduire ces nouvelles technologies tout en gardant un niveau de qualité de service et de sécurité à la hauteur des exigences client constitue un défi majeur pour les architectes des systèmes d'informations. Dans cet article, nous allons traiter de la problématique des architectures de systèmes d'information dans le contexte spécifique de la gestion

de traçabilité dans les chaînes logistiques du point de vue de l'opérateur logistique interagissant avec plusieurs transporteurs indépendants.

Une chaîne logistique peut être définie selon (Hassan, 2006) comme étant « un réseau d'installations qui assure les fonctions d'approvisionnement en matières premières, le transport de ces matières premières, la transformation de ces matières premières en composants puis en produits finis, la distribution du produit fini chez le client ». Nous nous intéressons dans cet article aux chaînes de transport qui permettent d'acheminer un produit d'un expéditeur vers un destinataire. Dans cette chaîne, il est particulièrement intéressant de tracer l'ensemble des événements afin de réagir à d'éventuels dysfonctionnements.

L'organisme de standardisation international ISO - d'après (Wattanakul *et al.*, 2017) - définit la traçabilité comme étant « la capacité à tracer l'historique, ou la localisation d'un objet. Le terme objet désigne tout ce qui est tangible ou intangible, comme un produit, un processus, un service, une personne, un système, une organisation ou une ressource. La traçabilité d'un produit ou un service peut inclure également l'enregistrement des traitements, la distribution et la localisation après la livraison ».

La gestion et l'amélioration d'une chaîne logistique nécessite d'avoir accès au maximum possible de données et notamment les données de traçabilité. De plus, ces données doivent être de qualité, c'est-à-dire : exactes, à jour, précises, fiables, crédibles, complètes et pertinentes (Richard Y. Wang, 1996).

Dans cet article, nous présentons tout d'abord dans la section 2 les architectures actuelles pour la traçabilité et leurs limitations. Ensuite, nous traitons dans la section 3 notre proposition d'architecture intégrant des objets connectés et des blockchains. Enfin, nous discutons dans la section 4 des projets existants dans ce domaine de traçabilité, avant de conclure en section 5

2. Systèmes de traçabilité dans les chaînes logistiques, limitations et verrous

La traçabilité désigne la collecte, la consolidation et l'archivage de l'ensemble des données de suivi & traçage. Les informations de suivi permettent de savoir à tout moment où se trouve mon objet dans la chaîne logistique. Les données de traçage désignent l'historique de toutes les étapes par lesquelles est passé mon objet. Selon (Wattanakul *et al.*, 2017) ces données de suivi sont de plusieurs types : des données de paramétrage, des données sur les conditions de transport ou bien des données sur les transactions métiers. Pour tous ces types de données on définit généralement une fréquence (temps réel, événementiel, par lot, hors ligne) et un moyen d'acquisition. Selon (Wattanakul *et al.*, 2017), ces données de traçabilité peuvent aussi être classifiées par le biais de leurs caractéristiques en : (i) Master (pour les données qui ne changent pas souvent tels que les identifiants); (ii) Transactionnelles (par exemple les dates de départ, d'arrivée); (iii) Conditions de statut (par exemple température, humidité). En outre, une fois que ces données ont été collectées, nettoyées, consolidées et

archivées, elles peuvent servir pour prendre des décisions : opérationnelles, tactiques ou stratégiques.

L'architecture classique des systèmes de traçabilité dans les chaînes logistiques est souvent basée sur la collecte des informations essentiellement via un échange EDI et parfois via des appels web services. Ces échanges et ces appels se font avec les systèmes d'information des transporteurs qui sont la principale ou parfois l'unique source de toutes les informations de traçabilité. Il arrive même parfois que ces informations soient collectées par des emails, des appels téléphoniques ou bien même des textos. Les principales limites de ces systèmes sont les suivantes.

- L'impossibilité d'avoir des informations de traçabilité en temps réel, car il faut à chaque fois que l'information soit collectée, saisie et mise à disposition par le système d'information du transporteur, afin qu'elle puisse être récupérée par les autres intervenants de la chaîne logistique.

- La centralisation de l'information de traçabilité côté transporteur est un grand risque pour la disponibilité et la fiabilité de ces informations. La méthode de collecte et de transmission des informations par le transporteur influence fortement la qualité des données fournies par son système d'information.

- Le retard dans l'obtention des informations qui ne permet pas de remédier à d'éventuelles défauts dans la chaîne de transport. Même dans le cas de la disponibilité de services web, le système d'information de l'opérateur logistique doit aller chercher l'information ce qui implique des délais avant d'être informé d'incidents ou de problèmes dans la chaîne de transports.

Pour réaliser des systèmes de traçabilité fiables et réactifs dans les chaînes logistiques, les verrous suivants doivent être levés.

- Le partage des données de traçabilité (Wattanakul *et al.*, 2017), c'est-à-dire la disponibilité des données pour tous les intervenants de la chaîne logistique, ce qui apportera une transparence des opérations et des traitements qui se déroulent à l'intérieur de cette chaîne.

- La possibilité d'avoir des systèmes réactifs, qui puissent recevoir des notifications d'événements se produisant dans les chaînes logistiques et qui puissent s'adapter à ces événements. Les événements peuvent être par exemple des changements suite à l'évolution du besoin client ou bien à un événement imprévu qui se produit dans la chaîne logistique et qui va nécessiter de prendre une décision rapide pour qu'il n'y ait pas de retard de livraison, ou au moins s'il y a un retard, le minimiser autant que possible. Cela nécessiterait de mettre en place des actions qui seraient enclenchés de manière réactive suite à des événements se produisant dans la chaîne de transport.

- La vérification de la fiabilité et de la qualité des informations transmises par le système.

3. Évolutions de l'architecture

Le potentiel de l'architecture que nous proposons dans ce papier réside dans le fait de pouvoir remonter des informations de traçabilité d'une grande qualité depuis la chaîne logistique grâce à l'utilisation de l'IoT, et le partage de ces informations entre les différents intervenants de cette chaîne en utilisant la Blockchain. Selon (Liu, Liu, 2013), ce partage d'informations fluidifiera le flux d'information et rendra beaucoup plus simple la gestion d'une chaîne logistique, en permettant une prise de décisions basées sur des données réelles issues de la chaîne logistique.

3.1. Intégration des données en provenance de l'IoT

Selon (Whitmore *et al.*, 2014) le terme IoT désigne « des objets de tous les jours qui peuvent être équipés de capacités d'identification, de détection, de connexion et de traitement, qui vont leur permettre de communiquer entre eux et avec d'autres objets et services à travers internet, pour réaliser des tâches utiles. Les objets de tous les jours seront équipés de capacités de suivi et de détection. Lorsque cette vision sera totalement opérationnelle, ces objets vont également avoir des capacités de traitement et de connectivité plus sophistiquées, cela permettra à ces objets intelligents de comprendre leur environnement et d'interagir avec les personnes ». L'IoT est également une chaîne de valeur du matériel, de la connectivité, des infrastructures logicielles dans le cloud et des applications et services qui sont développés autour de cette chaîne.

En termes de connectivité, il existe aujourd'hui des réseaux émergents pour l'IoT qui sont appelés LPWAN (Low Power Wide Area Networks), comme : Sigfox, LoRa et Weightless (Ali *et al.*, 2017). Ce sont des réseaux qui ont été conçus spécifiquement pour l'IoT et qui permettent une communication à bas coût énergétique et dans les deux sens entre les objets et le monde extérieur, en utilisant le réseau LPWAN et le cloud du fournisseur réseau pour une ouverture de connectivité sur internet.

L'utilisation de l'IoT dans les chaînes logistiques telle que nous la prévoyons dans l'architecture présentée dans la figure 1 a pour objectifs de : (i) améliorer les performances sur le respect des temps d'acheminement et la fourniture d'une information de qualité aux clients; (ii) améliorer la qualité en optimisant les processus de traitement et de production et en minimisant les risques de perte des objets ou des données; (iii) accélérer le processus de transformation : se distinguer sur le marché des opérateurs de chaînes logistiques, offrir une meilleure expérience utilisateur et créer des nouveaux modèles d'affaire.

Pour assurer la collecte, la transmission et la consolidation des données IoT dans cette architecture, nous proposons un modèle basé sur trois couches. Une première couche de perception qui va permettre de collecter plusieurs types de données en fonction des besoins client, par exemple : une position GPS pour localiser un colis ou un conteneur, une température et/ou un niveau d'humidité pour surveiller l'état de conditionnement d'une marchandise. Une deuxième couche de transmission basée sur le réseau Sigfox ou LoRa selon le choix réseau et la carte réseau intégrée dans l'ob-

jet, et qui assurera la transmission des données collectées en passant par le réseau de l'objet et le cloud du fournisseur réseau. Une troisième couche applicative qui sera le cœur même de cette architecture, et qui permettra de nettoyer, consolider, analyser et présenter les données collectées aux clients.

3.2. Blockchain

La blockchain est une technologie qui permet d'avoir un registre de transactions distribué et infalsifiable, distribué dans le sens où tous les acteurs d'une blockchain ont une copie de ce registre, et infalsifiable car pour le modifier il faut modifier les copies d'une majorité des intervenants de cette blockchain.

3.2.1. Les transactions de la Blockchain dans l'architecture proposée

Dans cette architecture, la blockchain pourra être utilisée pour enregistrer l'ensemble des transactions qui se déroulent à chaque étape d'avancement d'un colis dans le circuit de la chaîne logistique. Les étapes appelées dans le domaine logistique les PSL (Point de Suivi Logistique) peuvent être considérées comme des transactions à tracer car, dans certains cas, elles constituent des étapes de transfert de responsabilité entre les différents acteurs d'une chaîne logistique. Par exemple, dans un scénario de transport standard, voici un tableau qui liste quelques exemples de transactions que nous pouvons avoir ainsi que la liste des intervenants dans chaque transaction :

Transaction	Liste des intervenants
Pickup	Le chargeur (l'expéditeur) et le transporteur
Delivery	Le transporteur et le destinataire

Et pour chaque transaction, voici un exemple des informations à sauvegarder :

Information	Type
Identifiant unique de la transaction	Alphanumérique
Date & heure de la transaction	Horodatage
Numéro du colis	Alphanumérique
Liste des identifiants des intervenants de la transaction	Une liste d'alphanumérique

3.2.2. Avantages de la Blockchain

Parmi les avantages de la Blockchain, nous pouvons citer : la suppression du besoin de tiers de confiance pour réaliser les transactions, la transparence et l'immutabilité à travers le registre partagé et le fait que les transactions ne peuvent être ni supprimées ni altérées, également les données de la blockchain sont de qualité car elles sont complètes, cohérentes, datées et largement disponibles. Il est à noter aussi qu'en utilisant le registre partagé des transactions, les risques de perte de données ou de leur indisponibilité en raison d'une panne quelconque, sont largement diminués.

3.2.3. Inconvénients de la Blockchain

L'un des plus grands inconvénients de la blockchain est le temps nécessaire pour la prise en compte effective d'une transaction. Un temps qui peut aller jusqu'à plusieurs heures par exemple sur la plateforme Bitcoin à cause de la taille du réseau Bitcoin. L'usage d'une blockchain comme Hyperledger Sawtooth par exemple, permettra de limiter ce délai (Caro *et al.*, 2018), car elle permet d'utiliser l'algorithme de consensus PoET (Proof of Elapsed Time), qui est l'un des plus rapides en termes de temps de réponse et des moins gourmands en termes de ressources, et par conséquent plus adapté à notre contexte qui inclut des objets connectés (Salimitari, Chatterjee, 2019). Ensuite, l'accès aux données de la chaîne logistique ne doit pas être ouvert à tout le monde, ce problème pourra être pris en compte via l'utilisation des blockchains privées qui offrent une gestion des droits d'accès à la blockchain et les droits d'exécution des transactions. Ensuite, les algorithmes de consensus utilisés dans la blockchain, en particulier le PoW (Proof Of Work), sont très gourmands en termes de calculs et donc en consommation énergétique. Également, la redondance de données et la redondance de calculs nécessaires à chaque fois pour décider si un nouveau bloc peut être ou non ajouté à la blockchain, sont gourmands en consommation énergétique. Enfin, la blockchain est un changement complet de paradigme, elle signifie le passage d'un réseau centralisé à un réseau décentralisé. Ceci pourra entraîner des problèmes d'adoption et d'intégration de cette technologie par les clients dans les écosystèmes existants.

3.2.4. Conclusion en ce qui concerne de l'utilisation de la Blockchain

Dans le contexte logistique, tous les critères d'adoption de la blockchain sont vérifiés (*Blockchain in logistics (DHL and Accenture report)*, 2018). L'utilisation de cette technologie dans l'architecture proposée dans ce papier apportera une meilleure gestion des transactions, car ces transactions vont être validées et partagées avec tous les intervenants de la chaîne logistique. Les inconvénients sont de deux natures : une partie liée aux problèmes de gestion des droits et des autorisations sur la blockchain, et qui pourront être surmontés grâce à l'adoption des blockchains privées adaptées au contexte d'une entreprise logistique, et une autre partie liée aux coûts d'exécution et les latences de prise en compte effective des transactions. Ces problèmes dans le contexte logistique -au vu du nombre réduit de participants dans les transactions- peuvent être adressés en grande partie grâce à l'adoption des blockchains qui utilisent des algorithmes de consensus non gourmands en terme de calcul. Néanmoins, il reste encore des points à traiter dans le cadre de l'adoption de la blockchain dans notre contexte qui inclut des objets connectés. Ces points concernent notamment les mécanismes à utiliser pour sécuriser les données en provenance des objets, et l'intégration des Gateway comme des nœuds de la blockchain.

3.3. L'architecture cible

La figure 1 présente l'architecture proposée dans ce papier. Dans cette architecture cible, nous intégrons des informations en provenance d'objets connectés fournis par notre plateforme et par les transporteurs. Ces informations seront filtrées et reçues

par notification lors d'événements prédéfinis. L'utilisation de la blockchain facilitera le partage de ces informations d'une façon sécurisée et infalsifiable grâce au registre distribué sur les réseaux des intervenants dans la chaîne de transport. Nous obtenons également des informations en provenance d'autres plateformes d'informations utilisées aujourd'hui dans le domaine du transport : *Cargo iQ* pour les informations de suivi aérien, *Shippeo* pour le suivi routier et *INTTRA* pour le suivi maritime. Les informations qui seront récupérées depuis ces plateformes de transport permettent de qualifier et valider les informations transmises par les objets connectés. Notre objectif est que l'information utilisée pour prendre des décisions soit de la meilleure qualité possible. Nous proposons une architecture réactive basée essentiellement sur la réaction à la réception d'événements.

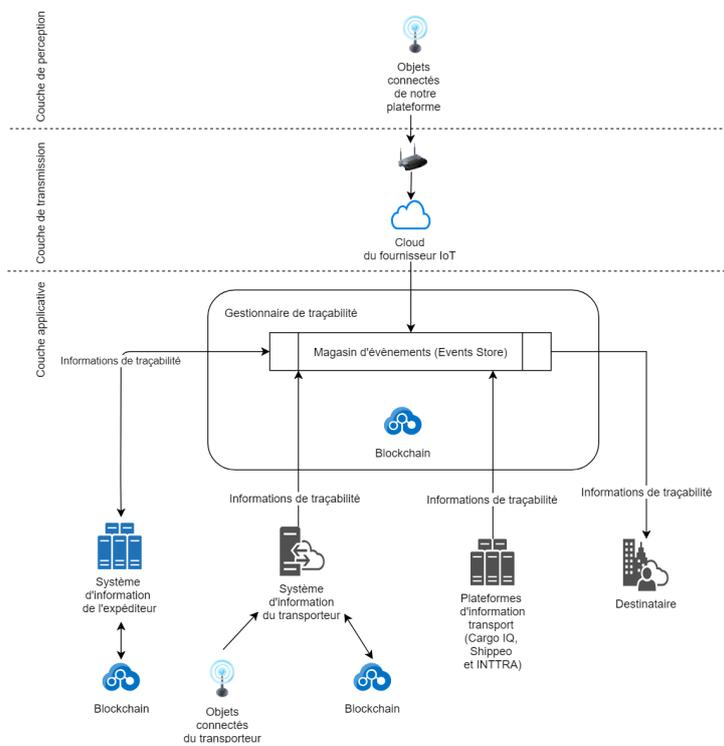


Figure 1. Architecture cible

4. État de l'art

Dans le cadre de nos recherches sur le sujet de traçabilité dans les chaînes logistiques, nous avons trouvé un ensemble de projets qui utilisent l'IoT et/ou les blockchains pour la traçabilité dans les chaînes logistiques. Nous mentionnons les projets suivants.

Le projet *SmartLog* est un projet de recherche et développement financé par la commission européenne pour la mise en place d'une plateforme de suivi des conteneurs basée sur l'utilisation de la blockchain (*Project SmartLog: blockchain in logistics*, 2018). Ce projet n'utilise pas les informations en provenance de l'IoT. Les évolutions futures de ce projet concerne notamment la mise en place de contrats intelligents.

Le projet *TradeLens Blockchain Shipping Solution* est un projet de collaboration entre Maersk et IBM pour suivre les conteneurs maritimes en utilisant une solution basée sur la blockchain (*IBM and Maersk TradeLens Solution*, 2018). Cette plateforme également utilise la Blockchain pour la traçabilité, il ne mentionne aucun usage des objets connectés.

Le projet *UPS Blockchain Tracking solution* est un projet UPS pour la gestion du suivi via une blockchain, depuis la prise en compte du colis jusqu'à la livraison et le paiement (*UPS blockchain patent aims to route packages on multiple carriers*, 2018). Par contre aucun usage des objets connectés n'est mentionné dans ce projet.

Le projet *Luggage tracker* est un projet de collaboration entre Louis Vuitton et Sigfox pour intégrer un objet de suivi dans certaines valises haut de gamme (*Sigfox and Louis Vuitton Luggage Tracking Solution*, 2018). A l'encontre des trois projets cités ci-dessus, ce projet utilise uniquement les objets connectés pour la traçabilité, et ne fait aucun usage de la blockchain.

Le projet *Smart Storage Containers* est un projet de développement d'un prototype de conteneurs intelligents qui permettra d'avoir un suivi & traçage efficace des marchandises, de simplifier les procédures douanières et de détecter les produits de contrefaçon, tout cela en utilisant des objets connectés combinés avec une blockchain (Hinckeldeyn, Jochen, 2018). Dans cet article les auteurs soulignent un problème de performance, et suggèrent d'utiliser un autre type de blockchain. Nous proposons d'utiliser la blockchain Hyperledger Sawtooth pour pallier à ce problème de performance, car Sawtooth montre des meilleurs résultats dans le temps d'exécution des transactions et elle utilise un algorithme de consensus plus adapté au contexte IoT (Caro *et al.*, 2018).

Le projet *AgriBlockIoT* est un projet qui intègre l'IoT et la blockchain pour créer un registre transparent, tolérant aux pannes, contrôlable et qui peut être utilisé dans un système de traçabilité dans le domaine agro-alimentaire (Caro *et al.*, 2018). Leur principale piste de recherche consiste à intégrer des objets dans les nœuds de la Blockchain.

Suite à l'étude de ces projets, nous travaillons sur l'amélioration des performances de l'architecture proposée dans ce papier, en choisissant les nœuds de la blockchain ainsi que les transactions. Nous nous penchons sur les contrats intelligents et sur la réactivité de l'architecture pour pouvoir réagir à des événements de traçabilité. Nous souhaitons également travailler sur la qualité des données, celle-ci étant essentielle dans un système réactif. Nous allons traiter ce sujet dans la suite de nos travaux.

5. Conclusion

Dans ce papier, nous avons décrit les architectures existantes des systèmes d'informations destinés à la gestion de traçabilité dans les chaînes logistiques. Nous avons identifié certaines limites des architectures existantes et nous avons proposé une architecture qui intègre l'IoT et la blockchain pour la collecte d'informations de traçabilité en temps réel et le partage de ces informations entre plusieurs intervenants de la chaîne logistique. La suite de nos travaux va porter sur : la sélection des transactions que nous pouvons inclure dans notre blockchain et le traitement, la consolidation et la qualification des données utilisées pour prendre des décisions. L'objectif étant de proposer une architecture pour la traçabilité mais également de proposer des nouvelles méthodes pour améliorer la qualité des informations de traçabilité dans les chaînes logistiques. Nous allons également travailler sur l'utilisation des objets connectés comme des nœuds de la blockchain et sur l'utilisation de contrats intelligents (en anglais Smarts Contracts) pour automatiser l'exécution d'actions sur la réception de transactions.

Bibliographie

- Ali A., Shah G. A., Farooq M. O., Ghani U. (2017). Technologies and challenges in developing machine-to-machine applications: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 83, p. 124 - 139. Consulté sur <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804517300620>
- Blockchain in logistics (dhl and accenture report)*. (2018). Consulté sur <https://www.logistics.dhl/content/dam/dhl/global/core/documents/pdf/glo-core-blockchain-trend-report.pdf>
- Caro M. P., Ali M. S., Vecchio M., Giaffreda R. (2018, mai). Blockchain-based traceability in agri-food supply chain management: A practical implementation. In *2018 iot vertical and topical summit on agriculture - tuscanly (iot tuscanly)*, p. 1-4.
- Hassan T. (2006). *Logistique hospitalière : organisation de la chaînelogistique pharmaceutique aval et optimisation des fluxde consommables et des matériels à usage unique*. Thèse de doctorat non publiée, UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD - LYON 1.
- Hinckeldeyn J., Jochen K. (2018, juin). (short paper) developing a smart storage container for a blockchain-based supply chain application. In *2018 crypto valley conference on blockchain technology (cvcbt)*, p. 97-100.
- Ibm and maersk tradelens solution*. (2018, août). Consulté sur <https://newsroom.ibm.com/2018-08-09-Maersk-and-IBM-Introduce-TradeLens-Blockchain-Shipping-Solution>
- Liu G.-X., Liu F. (2013, juillet). Iot-based tpl whole supply chain logistics information system model. In *2013 international conference on machine learning and cybernetics*, vol. 04, p. 1758-1762.
- Project smartlog: blockchain in logistics*. (2018, mars). Consulté sur <https://smartlog.kinno.fi/articles/project-smartlog-blockchain-logistics>
- Richard Y. Wang D. M. S. (1996). Beyond accuracy: What data quality means to data consumers. *Journal of Management Information Systems*, vol. 12.

- Salimitari M., Chatterjee M. (2019). A survey on consensus protocols in blockchain for iot networks. *CoRR*, vol. abs/1809.05613. Consulté sur <http://arxiv.org/abs/1809.05613>
- Sigfox and louis vuitton luggage tracking solution*. (2018, avril). Consulté sur <https://www.sigfox.com/en/news/sigfox-and-louis-vuitton-partner-innovative-luggage-tracker>
- Ups blockchain patent aims to route packages on multiple carriers*. (2018, août). Consulté sur <https://www.supplychaindive.com/news/ups-applies-blockchain-patent-multiple-carriers/530467/>
- Wattanakul S., Henry S., Bentaha M. L., Reeveerakul N., Ouzrout Y. (2017, novembre). Improving risk management by using smart containers for real-time traceability. In *9th International Conference on Logistics and Transport (ICLT 2017)*. Bangkok, Thailand. Consulté sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01722866>
- Whitmore A., Agarwal A., Da Xu L. (2014, avril). The internet of things—a survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, vol. 17.