

# Avant-propos

## Intention, résumé et public visé par cet ouvrage

Cet ouvrage propose une autre perspective sur les travaux de recherche menés en collaboration par les auteurs dans le cadre d'une thèse de doctorat, à savoir Valentin Mullet, auteur de la thèse et docteur en informatique de l'Université du Littoral Côte d'Opale, et Patrick Sondi, directeur de la thèse et professeur au Centre d'enseignement, de recherche et d'innovation systèmes numériques de l'Institut Mines-Telecom Nord Europe.

L'intention des auteurs est de mettre en lumière les enjeux cruciaux qui entourent la digitalisation des usines de production dans le cadre de l'industrie 4.0. Outre la nécessité de rappeler que les gains de productivité apportés par l'introduction de nouvelles technologies du numérique dans les usines s'accompagnent de risques, contraintes, dépendances et coûts nouveaux inhérents à ces dernières, les auteurs veulent surtout partager l'idée qu'il existe des modalités pratiques selon lesquelles les industriels peuvent aborder cette transition d'une manière qui reste globalement réellement bénéfique pour leur activité.

L'Internet des objets et le Cloud Computing permettent des interactions en ligne entre des tiers, tels que des clients et des fournisseurs, et le système de traçabilité d'une usine. La blockchain industrielle offre un paradigme qui permet de mettre en place un registre infalsifiable de transactions entre de tels partenaires, individuellement libres d'y inscrire des actions et de vérifier les actions des autres de manière *ad hoc*. En ce sens, elle permet de mettre en place une traçabilité fiable, transparente et directement vérifiable par chaque partenaire (fournisseur/usine, usine/sous-traitant, usine/client, etc). À l'ère des usines connectées, elle constitue donc une solution qui peut être mise

en œuvre entre le système d'information de l'usine et les différents partenaires pour automatiser la gestion de la traçabilité. Néanmoins, le système global de traçabilité de l'usine peut comporter des composantes internes avec des implications fortes sur la confidentialité et dont le lien avec la traçabilité n'incombe qu'à l'usine et ne concerne pas ses partenaires. Dans ce contexte, la transparence apportée se ferait au détriment de la confidentialité des données. Le travail rapporté dans cet ouvrage vise à développer une architecture et proposer des évolutions des systèmes de traçabilité pour permettre l'intégration d'une solution blockchain destinée à garantir la traçabilité entre l'usine et les partenaires sans qu'il n'y ait compromission de la confidentialité au motif de la transparence.

Cet ouvrage, accessible à tout public sensible à l'industrie 4.0, s'adresse en particulier aux étudiants, chercheurs et ingénieurs opérationnels des domaines de l'informatique, de la cybersécurité et du génie industriel qui participent à des formations ou à des projets de digitalisation de l'industrie selon le paradigme de l'industrie 4.0. En particulier, il livre un autre point de vue sur la littérature scientifique en lien avec ces domaines, des solutions concrètes et des outils pour faire évoluer les pratiques en matière de conception, de mise en œuvre et d'évaluation de systèmes de traçabilité basés sur la blockchain qui soient sécurisés, efficaces en volumétrie de données et en consommation d'énergie, sans accroître les risques sur la pérennité de l'activité industrielle.

### **Organisation de l'ouvrage**

L'ouvrage a été écrit entièrement à quatre mains par les deux auteurs, à partir de notes des auteurs sur des projets de traçabilité antérieurs aux travaux de la thèse, du manuscrit de la thèse et de traductions d'articles scientifiques, tous réorganisés et réécrits afin d'assurer la cohérence de la proposition faite dans l'ouvrage. Il est composé d'environ 250 pages organisées en cinq chapitres.

Le chapitre 1 aborde les enjeux liés à la cybersécurité des technologies introduites par l'industrie 4.0 et les relations de cet ensemble avec le système de traçabilité d'une usine de l'industrie 4.0. Cette vision globale de l'usine du point de vue de la cybersécurité permet de mieux appréhender les concepts détaillés dans les chapitres suivants de l'ouvrage. Une synthèse de solutions innovantes et de bonnes pratiques relatives à la cybersécurité au niveau global d'une usine de l'industrie 4.0 est proposée en seconde partie de ce chapitre afin de renforcer la sensibilisation à ces questions dans les projets de digitalisation en milieu industriel.

Afin d'affiner ce concept large que représente la traçabilité, le chapitre 2 offre un panorama général sur les modèles proposés avant de se concentrer sur la notion de traçabilité orientée produit qui prévaut dans les usines de production sur lesquelles

nous avons travaillé. Un panorama des normes et des contributions de la littérature scientifique et technique sur la traçabilité dans l'usine 4.0 est proposé, ainsi que notre propre approche à la caractérisation de données de traçabilité, leur collecte ainsi que leur traitement par rapport à des objectifs clairement définis et motivés.

Après cette entrée en matière, le lecteur sera prêt pour la découverte de la technologie blockchain dans le chapitre 3, ainsi que la manière dont elle peut être intégrée à la mise en œuvre de la traçabilité dans une usine ayant vocation à suivre les recommandations de l'industrie 4.0. Cette présentation s'accompagne également d'une description de l'architecture que nous proposons à cette fin, notamment dans le but de préserver la confidentialité des données sensibles sans remettre en cause la transparence inhérente à la technologie blockchain, ainsi que son implémentation à l'aide d'une plateforme blockchain *open source*, en l'occurrence Multichain. Ce choix a le double mérite de rendre notre contribution complètement accessible pour servir de base de travail pour des projets concrets de mise en œuvre de blockchain, et de permettre la reproductibilité de toutes les expérimentations et des résultats présentés dans l'ouvrage.

La blockchain étant une technologie récente et entourée de nombreux fantasmes quant à son efficacité et à ses impacts présumés, notamment en matière de consommation énergétique, nous avons souhaité offrir aux porteurs de projets un outil permettant de réaliser une évaluation préalable à tout investissement grâce à la simulation. Ainsi, le chapitre 4 présente une série de modèles basés sur la simulation à événements discrets permettant de créer un simulateur reproduisant le fonctionnement d'une usine qui intègre un système de traçabilité basé sur la blockchain. Une étude de cas, construite à travers la mise en œuvre de notre architecture et nos contributions, est proposée en appui de la description du fonctionnement et de l'utilisation du simulateur. L'évaluation de différents scénarios de production à partir d'un certain nombre de configurations d'usine permet de mettre en évidence l'impact des mécanismes basés sur la blockchain proposés pour la traçabilité sur le fonctionnement de l'usine au regard de critères d'intérêt tels que la volumétrie des données de traçabilité, l'impact de leur stockage, l'impact sur la consommation énergétique de l'usine ou encore l'impact environnemental de l'usine résultant du recours à ces solutions. Nous saisissons l'occasion de l'analyse de ces résultats pour proposer des modèles nouveaux de répartition des impacts liés à l'introduction de la blockchain entre l'usine, ses fournisseurs et ses clients, étant donné que cette technologie offre un service qui est autant profitable à l'usine qu'à ces autres acteurs.

Enfin, le chapitre 5 est une synthèse des travaux et résultats présentés, ainsi que des perspectives ouvertes que nous concevons autour de la digitalisation des usines dans le cadre de l'industrie 4.0 et au-delà.