



HAL
open science

De l'utilisation de la modélisation d'entreprise pour le pilotage d'un projet de blockchain dans les supply chains

Mor Diop

► To cite this version:

Mor Diop. De l'utilisation de la modélisation d'entreprise pour le pilotage d'un projet de blockchain dans les supply chains. Automatique. Université de Bordeaux, 2023. Français. NNT : 2023BORD0400 . tel-04382506

HAL Id: tel-04382506

<https://theses.hal.science/tel-04382506v1>

Submitted on 9 Jan 2024

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.



THÈSE PRÉSENTÉE

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR DE

L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

ÉCOLE DOCTORALE DES SCIENCES PHYSIQUES ET DE L'INGÉNIEUR

SPÉCIALITÉ : Automatique, Productique, Signal et Image, Ingénierie cognitive

Par **Mor DIOP**

**DE L'UTILISATION DE LA MODELISATION D'ENTREPRISE
POUR LE PILOTAGE D'UN PROJET DE BLOCKCHAIN DANS
LES SUPPLY CHAINS**

Sous la direction de Yves DUCQ

Soutenue le : 11 décembre 2023

Membres du jury :

Mme. Roberta COSTA AFFONSO	Maîtresse de conférences - SUPMECA	Rapporteur
M. Gregory ZACHAREWICZ	Professeur - IMT Mines Alés	Rapporteur
M. Youssef BENADADA	Professeur - ENSIAS	Examineur
M. Stéphane TREBUCQ	Professeur - Université de Bordeaux	Président du jury
M. Yves DUCQ	Professeur - Université de Bordeaux	Directeur de Thèse

Membres invités :

M. Saïd TAZI	Maître de conférences - UPPA	Invité
--------------	------------------------------	--------

Titre : DE L'UTILISATION DE LA MODELISATION D'ENTREPRISE POUR LE PILOTAGE D'UN PROJET DE BLOCKCHAIN DANS LES SUPPLY CHAINS

Résumé :

La notion de donnée dans les supply chains (SC) a fait l'objet de plusieurs débats. Son évolution suit un rythme très rapide et sa gestion devient de plus en plus une préoccupation du fait de sa valeur stratégique, et économique notamment. Avec l'évolution de la technologie, des systèmes ont vu le jour pour relever le défi de cette gestion efficace. Cette évolution est passée par la gestion manuelle de la donnée à des supports de stockages informatiques. Ainsi, on est arrivé à des systèmes de stockage collaboratifs pour faciliter tous les échanges entre collaborateurs et l'archivage de données. Malgré tous ces efforts, on constate toujours un manque de maîtrise sur la sécurité et la transparence des données qui constituent un véritable challenge au sein des entreprises et des supply chains. La blockchain est un registre distribué qui adopte le stockage décentralisé des informations issues des processus entre acteurs d'un réseau. Ces informations sont stockées dans des blocs de données reliés entre eux par des hash de sorte à rendre ces données fiables, transparentes et difficiles à altérer. A ses débuts, la blockchain était uniquement réservée aux transactions financières à travers Bitcoin. Grâce à ses fonctions, la blockchain a rapidement attiré l'attention des autres secteurs et plusieurs expérimentations ont été faites dans le but de l'appliquer aux opérations internes et externes de l'entreprise. Dans le monde industriel, la blockchain a été au cœur des débats et permettrait de pallier aux problèmes de sécurité, de transparence, de traçabilité, etc. Cependant, l'expérimentation de cette technologie dans ce secteur de la supply chain a montré plusieurs limites sur le plan fonctionnel et technique. Le manque de maîtrise et de gouvernance a vite constitué un goulot causant l'échec de plusieurs projets initiés dans ce sens.

Cette thèse apporte sa contribution dans l'utilisation de la modélisation d'entreprise et des indicateurs de performance pour la gestion efficace d'un projet de Blockchain qui, considérée comme une technologie nouvelle comporte plusieurs aspects positifs pour pallier aux problèmes de transmission des données dans la supply chain.

La première contribution de cette thèse sera la proposition d'une méthodologie de développement d'un projet blockchain dans la supply chain. Cette méthodologie mettra en exergue les différentes étapes à suivre pour faire aboutir correctement un projet blockchain. Pour chaque étape, les risques sont définis, les acteurs seront identifiés et les coûts associés établis. Cette méthodologie s'appuie sur une modélisation par activités.

Dans la deuxième partie de notre contribution, nous allons nous appuyer sur la méthode GRAI pour accompagner chaque étape de notre méthodologie en proposant un ensemble de décisions stratégique, tactiques et opérationnelles pour assurer le pilotage de cette méthodologie tant lors de la conception du projet de blockchain que de l'exploitation de cette dernière.

La troisième partie mettra l'accent sur l'évaluation et la proposition d'outils d'aide à la décision. La partie évaluation consistera à proposer une liste d'indicateurs de performance et à définir des inducteurs des risques de délai et de coûts afin de trouver des opportunités de les réduire à travers la méthode ABCD. La dernière partie dédiée à l'aide à la décision sera le développement d'outils informatiques pour mieux nous aider dans les prises de décisions. Ces outils couvriront trois décisions : le GO/NOGO pour décider de se lancer dans un projet blockchain ou non grâce l'établissement du budget requis, le choix du type de blockchain en fonction des critères mis en avant et à la gestion des coûts et des délais pour assurer l'archivage et la documentation.

Mots clés : Blockchain (BC), Supply Chain (SC), Indicateurs de performance, Pilotage

Title: THE USE OF BUSINESS MODELING TO DRIVE A BLOCKCHAIN PROJECT IN SUPPLY CHAINS

Abstract:

The notion of data in supply chains (SC) has been the subject of several debates. Its evolution is going at a very fast pace and its management is becoming more and more a preoccupation because of its strategic, economic value, etc. With the evolution of technology, systems have emerged to meet the challenge of this effective management. This evolution has gone from manual data management to computerized storage supports. From there we have arrived at collaborative storage systems to facilitate all exchanges between collaborators and data archiving. Despite all these efforts, there is still a lack of control over data and even processes. The issue of security and transparency is currently a real challenge within industries. The blockchain is a distributed ledger that adopts decentralized storage of information generated by processes between participants in a network. This information is stored in blocks of data linked together by hashes, making the data reliable, transparent and difficult to modify. In its early days, blockchain was reserved exclusively for financial transactions via Bitcoin. Thanks to its functions, blockchain quickly attracted the attention of other sectors, and several experiments were carried out with the aim of applying it to internal and external corporate operations. In the industrial sector, blockchain has been at the center of debates, and would make it possible to overcome problems of security, transparency, traceability and so on. However, experimentation with this technology in the supply chain sector has revealed a number of functional and technical limitations. The lack of control and governance quickly became a bottleneck, causing the failure of several projects initiated in this direction.

This thesis contributes to the efficient management of data within the supply chain with using the Blockchain which, considered as a new technology, has several positive aspects to overcome these bottlenecks.

The first contribution of this thesis will be the proposal of a methodology to develop a blockchain project in the supply chain. This methodology will highlight the different steps to follow to achieve a blockchain project. For each step, the risks are defined, the actors will be identified and the associated costs established.

In the second part of our contribution, we will use GRAI to guide each step of our methodology by proposing a set of strategic, tactical and operational decisions to ensure the management of this methodology.

The third part will focus on the evaluation and proposal of decision support tools. The evaluation part will consist in proposing a list of performance indicators and in defining delay and cost risk inductors in order to find opportunities to reduce them through the ABCD method. The decision support part will be the development of computer tools to better assist us in decision making. These tools will cover three decisions: The GO/NOGO to decide whether to embark on a blockchain project or not thanks to the establishment of the required budget, the choice of the type of blockchain according to the criteria put forward and the management of costs and deadlines to ensure archiving and documentation.

Keywords: Blockchain (BC), Supply Chain (SC), Performance Indicators, Management

<p style="text-align: center;">Laboratoire de l'intégration du Matériau au Système [IMS, CNRS UMR 5218, Bat.A31-351 Cours de la Libération – 33400 Talence]</p>
--

Remerciements

Tout d'abord mes remerciements s'adressent à mon directeur de thèse Yves DUCQ de m'avoir accueilli au sein du laboratoire IMS. Son encadrement, sa disponibilité et ses qualités scientifiques ont largement contribué à l'aboutissement de cette thèse.

Je tiens à remercier vivement mon Co-encadrant Saïd TAZI, maître de conférences à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour de m'avoir ouvert les portes dans le cadre de cette thèse. Sa disponibilité et ses conseils ont été d'une grande aide dans l'achèvement de cette recherche.

Mes remerciements sont ensuite adressés aux membres du jury :

- Mr Gregory ZACHAREWICZ professeur à l'IMT Mines Alés.
- Mme Roberta Costa AFFONSO maître de conférence à SUPMECA.
- Mr Stéphane TREBUCQ professeur des universités en Sciences de Gestion à Bordeaux
- Mr Youssef BENADADA professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des systèmes.

Je voudrais adresser mes remerciements les plus sincères à tous mes collègues, amis, du groupe productique pour ces trois ans de cheminement dans un cadre sain et bien encadré.

Enfin j'exprime toute ma gratitude à toute ma famille : à mon père dont le parcours m'a toujours inspiré surtout dans les moments difficiles, à ma mère, à mes frères et sœurs.

Glossaire

BC	Blockchain
SC	Supply Chain
POC	Proof of concept
MP	Matières premières

Table des matières

Liste des tables	11
Liste des figures.....	12
Introduction générale.....	13
Chapitre 1 : Problématique	16
1. Introduction.....	17
2. Supply chain : Définition et fonctionnements.....	17
3. Challenges de la supply chain.....	18
A. La traçabilité	18
B. La sécurité	18
C. La transparence	18
D. L'évaluation de la performance.....	19
4. La blockchain pour les supply chains.....	20
5. Besoin d'une méthodologie pour piloter et exploiter un projet blockchain.....	23
6. Conclusion	25
Chapitre 2 : Etat de l'art de la technologie blockchain	26
1. Introduction.....	27
2. Les travaux connexes.....	29
3. Conclusion	35
Chapitre 3 : Contribution à une méthodologie de développement de la blockchain dans la supply chain	37
1. Introduction.....	38
2. Modélisation de la méthode de gestion d'un projet de Blockchain	39
3. La gestion des phases.....	42
A. Les risques	43
B. Les méthodes	55
C. Les acteurs.....	56
4. Conclusions.....	56
Chapitre 4 : Le pilotage de la blockchain avec la méthode GRAI	58
1. Introduction.....	59
2. Méthode GRAI : définition et fonctionnement	59
3. La Grille GRAI	60
A. La fonction << Gérer Initialisation & faisabilité >>	63
B. La fonction << Gérer la définition stratégique >>	66
C. La fonction << Gérer la Conception >>	68
D. La fonction << Gérer le développement >>.....	70

E. La fonction << Gérer l'Evaluation & l'exploitation >>.....	72
4. Conclusion	74
Chapitre 5 : Evaluation de la performance et déploiement d'outils d'aide à la décision	75
1. Introduction.....	77
2. Les indicateurs de coûts et de délai	77
A. Choix des indicateurs	78
B. Conclusion	79
3. La méthode ABCD.....	82
A. Introduction.....	82
B. Les principaux inducteurs de risque.....	82
C. Les opportunités de réduction	86
D. Conclusion	89
4. Déploiement d'outils d'aides à la décision.....	91
A. Aide à la décision « GO/NOGO » basée sur le critère financier	91
B. Introduction.....	91
C. Travaux initiaux	91
D. Solution proposée	93
E. Application.....	98
F. Conclusion	99
5. Aide à la décision « Blockchain privée vs Blockchain publique »	100
A. Introduction.....	100
B. Travaux initiaux	100
C. MODULE D'AIDE À LA DÉCISION POUR LE CHOIX D'UNE BLOCKCHAIN PRIVÉE OU PUBLIQUE 102	
D. Application.....	111
E. Conclusion	116
6. Gestion Risques	116
A. Introduction.....	116
B. Modélisation.....	117
C. La gestion des coûts	120
D. La gestion des délais.....	121
E. Application.....	121
F. Conclusion	133
7. Conclusion	135
Conclusion générale	136
Références.....	139

Liste des tables

Tableau 1: INITIALISATION & ETUDE DE FAISABILITE.....	44
Tableau 2: DEFINITION STRATEGIQUE	46
Tableau 3: CONCEPTION.....	48
Tableau 4: IMPLEMENTATION.....	50
Tableau 5: EVALUATION ET EXPLOITATION	52
Figure 6: Grille GRAI de pilotage d'un projet de Blockchain	62
Tableau 7: Indicateurs de coût et de délais.....	80
Tableau 8: Méthode ABCD	83
Tableau 9: Récapitulatif de contributions	92
Tableau 10: Allocation des ressources par nœud dans la blockchain (*)	93
Tableau 11: Définition du GO/NOGO	97
Tableau 12: Blockchain publique vs blockchain privée	102
Tableau 13: Pondération des critères	104
Tableau 14: Evaluation de la matrice avec les critères choisis.....	105
Tableau 15: Évaluation de la matrice avec des valeurs FUZZY.....	106
Tableau 16: Poids des critères.....	106
Tableau 17: Classification des blockchains en fonction des critères.....	108
Tableau 18 : Comparaison des deux blockchains en fonction du critère « HS ».....	109
Tableau 19 : Calcul des poids en fonction du critère « HS »	109
Tableau 20: Comparaison des deux blockchains en fonction du critère « ADT »	110
Tableau 21: Calcul des poids en fonction du critère « ADT »	110
Tableau 22: Tableau des résultats.....	110

Liste des figures

Figure 1: Les challenges de la supply chain	20
Figure 2: Les principales causes d'échecs d'un projet blockchain.....	24
Figure 3: Etapes d'exécution d'une transaction	28
Figure 4: Les étapes principales de la méthodologie	40
Figure 5: INITIALISATION & ETUDE DE FAISABILITE.....	45
Figure 6: DEFINITION STRATEGIQUE	47
Figure 7: Conception	49
Figure 8: IMPLEMENTATION	51
Figure 9: EVALUATION ET EXPLOITATION	53
Figure 10: Méthode itérative et incrémentale.....	88
Figure 11: composition d'un réseau blockchain.....	93
Figure 12: Page d'accueil	98
Figure 13: Résultats des calculs.....	99
Figure 14: Méthode de sélection entre blockchain publique et privée	103
Figure 15: Page d'accueil	111
Figure 16: Ajout d'un nouveau critère	112
Figure 17: Définition du poids des critères	112
Figure 18: Evaluation de la matrice avec les critères choisis	113
Figure 19: Évaluation de la matrice avec des valeurs FUZZY.....	114
Figure 20: Poids des critères	114
Figure 21: Classification des blockchains en fonction des critères	115
Figure 22: Tableau des résultats.....	115
Figure 23: Diagramme de cas d'utilisation	117
Figure 24: Diagramme de séquence du cas ajouter risque	118
Figure 25: Diagramme de séquence documenter risque	119
Figure 26: Diagramme de séquence consultation risque.....	120
Figure 27: Page d'accueil	122
Figure 28: Ajouter un risque.....	123
Figure 29: Ajouter un risque.....	124
Figure 30: Exemple d'ajout de risque de type budgétaire	124
Figure 31: Exemple d'ajout de risque de type budgétaire	125
Figure 32: Exemple d'ajout de risque de type temporel.....	125
Figure 33: Documenter un risque.....	126
Figure 34: Documenter un risque.....	127
Figure 35: Documenter un risque de type budgétaire	127
Figure 36: Documenter un risque de type budgétaire	128
Figure 37: Documenter un risque de type budgétaire	129
Figure 38: Documenter un risque de type budgétaire	130
Figure 39: Conception de la base de données	130
Figure 40: Documenter un risque de type budgétaire	131
Figure 41: Documenter un risque : vue base de données.....	131
Figure 42: Liste des risques	132
Figure 43: Liste des risques	132
Figure 44: Liste des risques documentés	133

Introduction générale

Le contexte économique actuel plonge les entreprises dans une instabilité ascendante en termes de visibilité et de stratégie. En effet, la complexité du marché suite aux exigences des clients et à la concurrence oblige les entreprises à diversifier leurs activités et d'être un peu plus flexible afin de maintenir leur clientèle et de trouver de nouvelles parts de marché. A cela s'ajoute l'adoption des nouvelles technologies pour bien gérer les processus (internes et externes) et assurer une meilleure exploitation de leurs données exploitées et produites dans ces processus. En effet, du point de vue technique l'efficacité des outils traditionnels de gestion est de plus en plus mise en cause car ces derniers ont des difficultés à être en phase avec les défis du moment et nécessitent des investissements importants. Les relations externes de l'entreprise s'élargissent, les objectifs changent et sont de plus en plus ambitieux, les flux deviennent complexes et des innovations s'imposent.

Dans ce contexte de compétition, les entreprises industrielles font face à une multiplication énorme des données à gérer issues des échanges entre l'entreprise et ses partenaires. En effet, les technologies utilisées pour coordonner les activités de l'entreprise en termes de commandes fournisseurs, de gestion de la production, des commandes et des livraisons génèrent des volumes de données gigantesques qui nécessitent une gestion efficace. Ces données représentent aujourd'hui une valeur inestimable car constituent le levier d'un pilotage continu en interne et reste un élément important dans l'établissement de la stratégie de l'entreprise. Cependant, bon nombre d'entreprises souffrent aujourd'hui d'une gestion inefficace de ces données qui parfois causent un certain nombre de problèmes en l'occurrence le manque de traçabilité, l'absence de transparence, la vulnérabilité face aux attaques informatiques, le manque de sécurité (Surjandari, Harman, Enrico, & Maulida, 2021).

Pour avoir des données de qualité et évoluer dans un environnement maîtrisé, les décideurs ont réfléchi à plusieurs solutions pour s'assurer de la bonne coordination de leurs activités et de la bonne façon de recueillir les données et d'en faire une valeur ajoutée. Des solutions comme le cloud, les ERP, les GED, par exemple ont été implantées. Malgré tous ces efforts consentis le problème des 'données' reste toujours une équation à résoudre par les entreprises. De ce fait, beaucoup de systèmes traditionnels sont maintenant inefficaces pour assurer les flux massifs de données et/ou des produits et garder la transparence dans les chaînes d'approvisionnement. Ces échanges informationnels et les opérations commerciales sont synthétisés en plus d'autres facteurs (prévisions, tendances du marché, etc.) pour s'évaluer par rapport à la stratégie grâce

à des indicateurs de performance entraînant le besoin d'avoir un système de gestion efficace et transparent. La technologie de la blockchain joue un rôle important allant dans cette dynamique de sécurisation et de traçabilité des données issues des activités de l'entreprise. Avec sa nouvelle approche "Peer to Peer", la blockchain (BC) est aujourd'hui considérée comme une technologie révolutionnaire dans l'intégration des acteurs de la Supply Chain et la sécurisation des flux d'informations. Depuis son apparition en 2008 pour supporter les transactions liées au bitcoin, la blockchain connaît un succès grandissant et attire les investisseurs qui cherchent à l'expérimenter dans de nombreux autres domaines financiers ou industriels afin d'obtenir de meilleures performances. Son principal objectif consistait à assurer le bon déroulement des transactions financières entre participants d'un réseau sans l'intervention d'un tiers extérieur. L'idée de départ de cette technologie fut révolutionnaire. L'élimination du tiers de confiance pour contrôler et réguler les opérations a été remplacé par un auto-contrôle en interne (51% des participants du réseau doivent confirmer une transaction avant sa validation et son stockage dans les blocs de données). Néanmoins, les expériences ont montré que la mise en place d'un projet blockchain est loin d'être un simple projet traditionnel et que les nombreux échecs en ont freiné le développement.

L'objectif premier de cette thèse consiste à proposer un cadre de développement d'un projet blockchain pour la supply chain. Cette contribution est divisée en trois parties :

- La proposition de la méthode de développement qui mettra l'accent sur les différentes étapes de manière détaillée pour une gestion fiable et efficace d'un projet de blockchain.
- Le pilotage de cette méthode grâce à un modèle décisionnel de référence modélisé avec la méthode GRAI pour répartir et déléguer les différentes décisions stratégiques tactiques et opérationnelles dans l'optique d'optimisation de la performance du projet de blockchain.
- Une évaluation et un déploiement d'un outil d'aide à la décision pour évaluer et rectifier la performance du projet tout au long du processus de développement mais aussi aider aux prises de décisions à travers de propositions d'outils qui édifieront les bons choix en fonctions des données d'entrées mises à la disposition des décideurs.

Ce manuscrit de thèse sera divisé en cinq parties.

La première partie portera sur la contextualisation de la problématique de notre travail de recherche. Nous mettrons l'accent sur les aspects et le fonctionnement de la supply chain, les

différents challenges du secteur, les raisons principales des échecs de ces projets de blockchain et les besoins pour associer la blockchain à ce secteur et en tirer un maximum de profit.

La seconde partie traitera de l'état de l'art de la technologie blockchain. Cette partie mettra l'accent sur les différents travaux connexes de la blockchain en matière de définition et d'implantation de projet.

La troisième partie se portera sur notre contribution avec la proposition d'une méthode de pilotage. Cela consisterait à faire toute la modélisation de la méthode et la gestion des différentes phases afin de mieux représenter les activités globales et détaillées du projet de blockchain.

Les deux dernières parties porteront respectivement sur le pilotage du projet et de l'exploitation de la blockchain modélisé avec la méthode GRAI et sur l'évaluation & l'aide à la décision. Ces deux parties seront consacrées à la classification des décisions vers les différents niveaux stratégique, tactique et opérationnel, au choix des différents indicateurs de performance pour l'évaluation de la performance, à la proposition d'une nouvelle méthode de réduction des coûts et des délais et des risques, et à l'implémentation d'outils d'aide à la décision.

Chapitre 1 : Problématique

Table des matières

Chapitre 1 : Problématique	16
1. Introduction.....	17
2. Supply chain : Définition et fonctionnements.....	17
3. Challenges de la supply chain.....	18
A. La traçabilité	18
B. La sécurité	18
C. La transparence	18
D. L'évaluation de la performance.....	19
5. La blockchain pour les supply chains.....	20
6. Besoin d'une méthodologie pour piloter et exploiter un projet blockchain.....	23
7. Conclusion	25

1. Introduction

Aujourd'hui, les entreprises s'investissent de plus en plus sur de nouvelles méthodes et stratégies pour se démarquer de la concurrence afin d'assurer une existence pérenne sur le marché. L'optimisation de la supply chain fait aujourd'hui parti des révolutions phares qui anime le monde industriel. Cette optimisation reste une condition nécessaire pour assurer la qualité des données et des processus. Ce défi s'impose de plus en plus face à cette vague d'exigences qui ne cessent de s'accroître. Dans ce chapitre nous allons en premier lieu revenir sur un certain nombre de notions liées à la supply chain. Ensuite nous aborderons les challenges de la supply chain et son besoin de s'associer à la blockchain.

2. Supply chain : Définition et fonctionnements

La supply chain (ou chaîne logistique en français) peut être considérée comme la chaîne qui relie de bout en bout toutes les activités à mener depuis l'approvisionnement des MP par l'entreprise en passant par la commande des produits par le client jusqu'à la livraison au client final (Chu, 2019). « Au sens large, une chaîne d'approvisionnement se compose de deux ou plusieurs organisations juridiquement séparées, liées par des flux matériels, d'informations et financiers. Ces organisations peuvent être des entreprises produisant des pièces, des composants et des produits finis, des prestataires de services logistiques et même le client (final) lui-même. » (Stadtler Harmut, 2008). Selon (Graham et C.Stevens, 1989), La supply chain se compose d'un ensemble d'activités qui sont liés les unes après les autres pour assurer « ... la planification, la coordination et le contrôle des matériaux, des pièces et des produits finis du fournisseur au client. ». En se basant sur les définitions ci-dessus, on peut en déduire que la supply chain joue un rôle de coordination, d'achat et de gestion, de planification et de contrôle. L'évolution du monde commercial est sans doute le résultat d'une concurrence rude et d'une demande populaire. La notion de coût et de la qualité du produit ne suffisent plus pour assurer son existence sur le marché mais les délais de livraison, le pilotage interne, la maîtrise de ses données restent aujourd'hui des facteurs clés pour être compétitif. De ce fait, les systèmes traditionnels sont maintenant moins efficaces pour assurer les flux massifs de données et/ou des produits et garder la transparence dans les chaînes d'approvisionnement, de fabrication et de distribution. Ces échanges informationnels et les opérations commerciales sont synthétisés en plus d'autres facteurs (prévisions, tendances du marché, etc.) pour s'évaluer par rapport à la stratégie grâce à des indicateurs de performance d'où le besoin d'avoir un système de gestion efficace et transparente.

3. Challenges de la supply chain

Dans la gestion stratégique, tactique et opérationnelle de la supply chain, les défis sont très nombreux à cause de son organisation et des différents acteurs qui y sont présent de manière permanente mais certains apparaissent nécessaires à résoudre dans un futur proche notamment car ils sont liés à l'implantation des technologies de l'industrie 4.0.

A. La traçabilité

La notion de traçabilité des données dans la supply chain demeure une tâche très difficile à gérer. La motivation de montrer la qualité des processus et la transparence des produits s'installe de plus en plus. En effet, la traçabilité est devenue partie intégrante de la supply chain et est parfois rendu obligatoire dans certains secteurs comme les produits pharmaceutiques ou l'agroalimentaire. Cependant, en dehors de ces domaines où elle est indispensable et imposées par les normes, cette traçabilité est le plus souvent inexistante. (Fran, Venetis, Dasaklis, Moschuris, & Rachaniotis, 2019) soutiennent que la plupart de ces résistances résident dans la complexité des réseaux supply chain et la fragmentation des solutions utilisées. Remonter jusqu'à la source de la donnée est importante car elle permet de vérifier la fiabilité et l'exactitude des informations.

B. La sécurité

La sécurité et la traçabilité des données convergent dans la même logique. Le besoin d'authenticité dans la supply chain constitue aujourd'hui un besoin important. Les données issues des processus et échanges entre partenaires augmentent incommensurablement. L'absence de contrôle ou l'utilisation d'outils traditionnels qui ne sont plus en phase avec la situation actuelle exposent les entreprises à une vulnérabilité notoire aux attaques et à des pertes de données de valeurs. Les conséquences d'un manque de sécurité influent directement dans les résultats et peuvent justifier l'échec d'une stratégie.

C. La transparence

Au-delà de la Supply Chain, comprendre et connaître qui fait quoi et quand reste primordiale dans toutes interactions. La transparence dans les supply Chain a été considérée comme un défi majeur pour assurer la qualité des données. Les systèmes traditionnels précédemment implantés étaient efficaces pour assurer la gestion des flux logistiques mais l'explosion des échanges de données entraîne ainsi un gros volume d'informations difficile à gérer de manière efficace (Wang, Singgih, Wang, & Rit, 2019) et (Dobrovnik M., Herold, Fürst, & Kummer, 2018). Le manque de fiabilité de l'information, de contrôle des documents et des flux de données sont

également des facteurs qui ralentissent la performance industrielle. (Beulens, Hofstede, & Spaans-Dijkstra, 2007) soutiennent qu'une transparence assurée maintiendrait la visibilité de la cartographie de la supply Chain grâce à des échanges fiables dans les opérations d'où le besoin de la maîtriser.

D. L'évaluation de la performance

La performance d'une entreprise est la pièce maîtresse qui maintient sa compétitivité. Le monde industriel est aujourd'hui surpeuplé par les entreprises et les variétés de produits sont de plus en plus fréquentes. Ce phénomène a induit une concurrence rude sur le marché mondial poussant les entreprises à revoir tout leur mode de fonctionnement dans l'objectif de s'adapter à la situation. C'est dans ce contexte que ces entreprises ont élargi leurs stratégies pour ne plus considérer la notion du coût comme le seul facteur de compétitivité mais y adjoindre la qualité produit, les délais, notamment en période de récession de composants et de pièces, l'environnement et la performance sociale dans une période où beaucoup d'entreprises peinent à trouver de la main d'œuvre.

Cette performance interne se focalise le plus souvent sur la capacité d'atteindre les objectifs avec le minimum de ressources (l'efficacité). Selon (Berrah, 2002), « une entreprise est performante si elle est seulement si elle satisfait les objectifs qu'elle se fixe ». Cette même performance prend aussi en compte la partie externe qui comprend une partie amont et aval. La partie amont concerne tous les flux physiques et informationnels entre l'entreprise et ses fournisseurs. Autrement dit c'est les activités se situant avant les opérations de production. La partie aval désigne tous les flux d'après production. C'est l'étape des distributions et de commercialisation permettant ainsi de mesurer le niveau de satisfaction des clients en matière de coûts, qualité et de délais. Cependant, on constate de réels problèmes liés à l'évaluation exacte de cette performance dans les supply chains. Ceci est causé par des flux informationnels (de provenances diverses) non maîtrisés et des données gigantesques à gérer dont les sources sont parfois difficiles à retracer.

La figure 1 suivante présente une synthèse des principaux challenges qui doit relever la supply chain.

Challenges de la SC	Axe de recherche	Les enjeux de la SC	Références
Service client/Service de qualité	La SCM est axée sur les besoins des clients. Il s'agit de donner le bon montant et la bonne nature de l'article pour le montant parfait. En prenant en considération le bon moment et le bon réglage	Qualité du produit	(Bhakthavatchalam et al.,2015)(Zhao et al.,2019)(Sarkar et al.,2021)(Stanley et Wisner,2000).
		Qualité des opérations et de la gestion	(Stanley et Wisner,2000)(Anli et al.,2007)
		Qualité des services	(Stanley et Wisner,2000)(Anli et al.,2007)
		Qualité logistique et transport	(Cheng et al.,2005)(Madadi et al.,2014)
Coût	En raison de certains changements économiques, les dépenses de matières premières et de main-d'œuvre ont augmenté, des ajustements doivent être faits afin de poursuivre la production et de donner à nos clients des articles de bonne qualité à des prix abordables.	Coût de la main-d'œuvre et des matières premières	(Lans,2018)(Reda et al.,2020)(Petrucci et al.,2020)(Rajeev A et al.,2019)(Tseng et al.,2018)(Schuetz et Venkatesh,2020)(Arunachalam et al.,2018)(bentahar et benzidia,2018)
		Coût de l'opération	(Jiang et al.,2017)(Su et Geunes,2012)
La gestion des risques	En raison de la variété de certaines sources, nous aurons des changements sur le marché, ce qui entraînera des problèmes de fonctionnement.	Changement de marché	(Barman et al.,2021)(Zhang,2021)(Rasul,2021)
		Changement climatique et météorologique	(Godde et al.,2021)(Rasul,2021)
Relation des fournisseurs	La relation entre les partenaires ou les fournisseurs permettra de fournir aux clients des produits de haute qualité et dans les délais impartis, et d'accroître les performances du travail.	Relation entre les partenaires	(Lans,2018)(Tseng et al.,2018)(Tseng et al.,2018)(bentahar et benzidia,2018)
Personnel Qualifié	La personne engagée à ce poste doit être bien qualifiée et comprendre sa responsabilité.	Capacité à travailler au bon endroit	(Lans,2018)(Petrucci et al.,2020)(Tseng et al.,2018)(Schuetz et Venkatesh,2020)(Arunachalam et al.,2018)
Retards imprévus	La livraison des composants et des matières premières ne se fera pas toujours à temps, nous avons quelques temps d'incertitude.	Retard issu de la production	(Baccadoro et al.,2006)
		Décalage de livraison	(Hu,2019)(Guo et al.,2020)(Baccadoro et al.,2006)
Adaptation des technologies aux évolutions marché	La technologie s'améliore avec le temps, et les marchés changent tous les jours. Les entreprises doivent donc être plus flexibles pour faire face aux améliorations de la technologie et aux changements du marché.	Amélioration de la technologie	(Lans,2018)(Petrucci et al.,2020)(Tseng et al.,2018)(Arunachalam et al.,2018)

Figure 1: Les challenges de la supply chain

4. La blockchain pour les supply chains

Dans notre monde hyper connecté, la donnée règne en maître. En effet, les sources d'accès à l'information se sont multipliées. Ces informations varient en fonction des milieux, des contextes, des types de processus, etc. Elles sont produites en quantité quotidiennement à travers les processus et constituent en partie une clé de succès. Sous un autre angle, grâce à l'avènement sur ces dernières années de nouvelles technologies, nous contribuons énormément à l'accroissement du nombre d'informations, ou dans le cas présent des données. D'ailleurs, plus de la moitié des données disponibles dans le monde aujourd'hui ont été produites sur les deux dernières années. Cette situation pousse les grandes organisations à s'intéresser de près à ces données produites et à la sécurisation des processus adoptés lors des opérations. Les entreprises produisent de plus en plus de données mais ces données sont aussi source de piratage, rançonnage... toujours plus fréquents et elles doivent être protégées ou faire l'objet de transactions fiables et sécurisées. Faisant partie des technologies innovantes, la blockchain attire l'attention des chercheurs et des grandes organisations. Le basculement vers le numérique a induit à une société de l'information dans laquelle la donnée devient de plus en plus un moyen stratégique. Pour mesurer la performance de l'entreprise, ces données issues des différentes opérations permettront de mesurer les résultats obtenus par rapport à des objectifs fixés en interne. Cette numérisation est soutenue par une innovation technologique ascendante dans tous les domaines et de plus en plus des technologies surgissent en ce sens. Cependant, l'efficacité

pour une technologie rime avec sa capacité à répondre aux besoins du moment tout en se projetant dans le futur. Selon (Brunet, 2013) « La durabilité est un processus de changement dans lequel l'exploitation des ressources, le choix des investissements, l'orientation du développement technologique et les changements institutionnels, est en harmonie avec les besoins et les aspirations de l'homme et favorise à la fois notre capacité actuelle et future à les satisfaire ». Autrement dit, elle constitue « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins » (Albertao, Xiao, Tian, Lu, & Zhang, 2010).

Cette durabilité prend en compte non seulement l'aspect humain mais aussi l'économie grâce à des règles pré établies. Pour maintenir et évaluer cette durabilité dans le monde de la Supply chain, des auteurs comme (Venkatesh, 2021) ont proposé la combinaison de la technologie blockchain et de l'IOT appliquées aux données de l'entreprise. Depuis son apparition, la blockchain a fait l'objet de multitudes expérimentations et certains domaines tentent d'assurer la durabilité à travers cette technologie. A titre d'exemple on peut citer le domaine de la santé dans lequel la sécurisation de la donnée constitue un besoin incontournable. Dans ce domaine, plusieurs chercheurs ont suggéré l'utilisation de la blockchain comme une solution efficace et durable lors des opérations (Saha, Amin, & Kunal, 2019), (Chen, Xu, Wang, & Yu, 2021), (Zhang & Wang, 2021). En dehors du secteur sanitaire, la blockchain a des attraits pour attirer tous les autres secteurs de par sa manière de recueillir et de conserver les informations.

Ainsi, la blockchain constitue un avantage dans le maintien de la durabilité de ces technologies grâce à son apport en termes de sécurité et de fiabilité des opérations et données. A travers son mode de stockage décentralisé et sa méthode d'immuabilité, la blockchain pourrait constituer un hub de bases de données traditionnelles. Ce hub a pour principal objectif de recueillir les données de sources différentes issues de différentes opérations.

L'utilisation de la blockchain constitue un véritable atout pour assurer la durabilité au sein des grandes industries et elle fait l'objet de plusieurs expérimentations même si elle est encore à ses débuts. La blockchain de par ses propriétés peut accompagner de nombreuses technologies pour fiabiliser le principal facteur commun à tous les processus : la sécurité. Il faut noter que les bases de données ont apporté une avancée considérable dans l'organisation et le stockage des informations et ont permis pendant longtemps un contrôle centralisé et une sauvegarde des flux d'informations. Avec l'évolution des processus, de la réalité du marché, des cyberattaques, et la multiplication rapide des données, les bases de données traditionnelles deviennent de plus en plus incompatibles à la réalité du moment dans la gestion efficace des données du monde

industriel (Iredale, 2021). A la différence des bases de données, la Blockchain (BC) peut devenir quant à elle une solution efficace face à ce contexte actuel. Nous présentons dans la table 1 ci-dessous quelques différences entre la technologie BC et les bases de données en termes de mode d'accès, de performance, de type de contrôle et d'architecture.

Table 1: Différence entre BC et bases de données

	Base de données	BC privée	BC publique
Accès	Privé	Privé	Publique
Performance dans l'accès aux données	Extrêmement rapide	Moyennement lent	Lent
Persistance des données	Non-persistance	Immuable	Immuable
Contrôle	Centralisé	Hybride avec peu de fonctionnalités centralisées	Décentralisé
Architecture	Architecture client-serveur	Architecture Peer-to-Peer fermée	Architecture publique peer-to-peer

Le monde de la supply chain affirme que la blockchain serait un bon moyen d'accroître la visibilité et la traçabilité qui pendant longtemps ont été au cœur des préoccupations dans le secteur industriel (Budak & Çoban, 2020). En effet, les parties interdépendantes d'une supply chain traitent et échangent des informations entre elles avec éventuellement des règles et juridictions différentes. En plus de cela, l'absence de confiance a toujours été un point bloquant dans la plupart des interactions entre ces parties. Les entreprises s'aperçoivent qu'elles vont avoir à manipuler des données qui sont différentes, avec des acteurs qui sont différents. Et enfin, au bout d'un moment, elles ont vraiment du mal à garantir la manière dont les flux vont circuler. C'est très difficile pour elles de retracer les données et souvent, ce qu'elles vont devoir faire, c'est de payer des ressources humaines pour aller rechercher la donnée, et essayer de comprendre ce qui s'est passé. Avec sa nouvelle approche « Peer to Peer », la blockchain est aujourd'hui considérée comme une technologie révolutionnaire dans l'intégration des acteurs de la Supply Chain et la sécurité des flux d'informations (Dobrovnik, Herold, Fürst, & Kummer, 2018). Les transactions ou autres opérations réalisées sont vérifiées, validées et stockées dans des blocs de données. Ces blocs sont reliés les uns à la suite des autres par le hachage créant

ainsi une forte dépendance entre ces derniers ce qui assure la fiabilité et l'intégrité des données. Avec la notion de « règles de consensus », la blockchain assure la qualité des données. Ces règles sont définies afin de respecter les protocoles et règlements au moment des transactions (financières ou non financières). Ceci permettra de contourner toutes les erreurs éventuelles et de définir explicitement au sein de sa blockchain :

- ➔ La manière dont les informations sont fournies,
- ➔ Les types et les formats de données acceptés,
- ➔ Le type de contrôle à faire.

Ainsi, force est de constater que la blockchain pourrait améliorer le domaine de la supply chain en termes de réactivité et de bonne gestion des opérations.

Selon (Saha, Kunal, Amin, Vollala, & Dwivedi, 2019) la blockchain constitue une solution efficace pour préserver ces données contre d'éventuelles attaques et assurer aussi les niveaux d'accès à ces informations. Ils affirment que « le partage et le stockage des données médicales avec un cloud basé sur la blockchain peut résoudre de nombreux problèmes liés aux données médicales ».

5. Besoin d'une méthodologie pour piloter et exploiter un projet blockchain

Pour rappel, la chaîne d'approvisionnement est considérée comme une organisation dans laquelle les parties prenantes coopèrent à travers des activités et des services et génèrent un grand volume de données qui posent parfois de nombreux problèmes de gestion notamment le manque de sécurité, l'absence de transparence, un défaut de visibilité des flux d'informations. Depuis son apparition en 2008 pour supporter les transactions liées au bitcoin, même si la blockchain connaît un succès croissant et attire les investisseurs qui cherchent à l'expérimenter dans de nombreux domaines (comme c'est le cas de la supply Chain) afin d'obtenir plus de performances, les expériences ont montré que la mise en place d'un projet blockchain est loin d'être un simple projet traditionnel. Des recherches ont montré que 85% des projets blockchain aux Pays-Bas stagnent dans leur phase de test. Dans leur article, (Al-Mazrouai & Sudevan, 2019) déclarent que "la gestion de projets sur la technologie blockchain sera différente de la gestion d'autres projets, car ces types de projets exigeront une capacité plus importante de changer et beaucoup de préparations pour gérer les imprévus". (Sanka, Irfan, Huang, & Cheung, 2021) ont effectué une enquête pour montrer les différentes causes d'échec des projets blockchain détectées par les professionnels et les acteurs du domaine(cf. figure 2 ci-dessous).

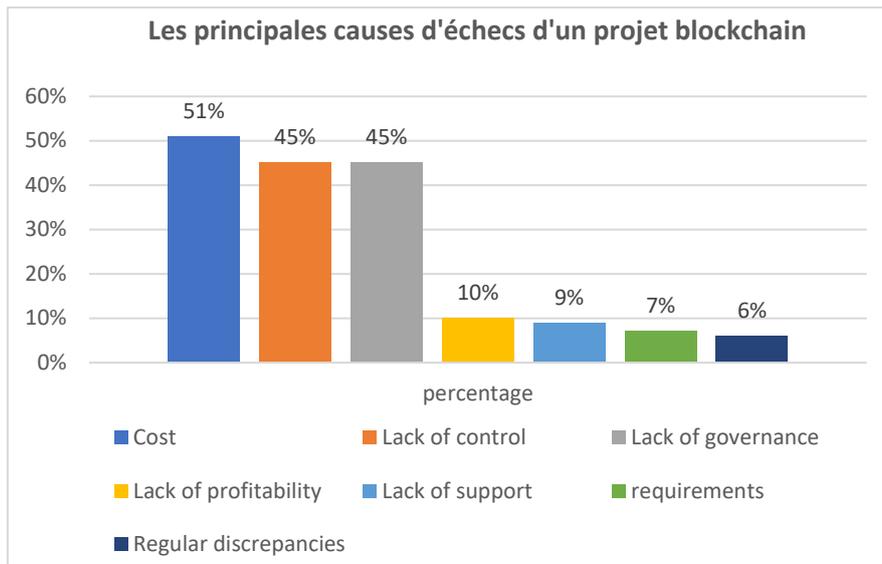


Figure 2: Les principales causes d'échecs d'un projet blockchain

La figure ci-dessus montre que la non maîtrise du coût et le manque de pilotage sont les principaux problèmes lors d'un projet blockchain. (KPMG Technology Industry Innovation, 2019), (Sanka & al, 2021), (Deloitte Insights, 2019) ainsi que de nombreux autres acteurs ont aussi réalisé des enquêtes sur la blockchain et ont révélé plusieurs points bloquants lors des projets blockchain comme le montre la figure2 ci-dessus. De même (Lefevre, 2019) a énuméré les causes d'échecs des projets blockchain tant sur le plan technique que fonctionnel. Plusieurs problèmes ont été constaté en l'occurrence l'immaturation de la technologie, les coûts non maîtrisés, un manque de pilotage ou une mauvaise définition des use case.

Face à cette situation, la mise en place d'un projet blockchain nécessite une démarche (allant de son initialisation jusqu'à sa mise en œuvre), un pilotage de cette démarche allant de la spécification à son exploitation, l'évaluation de sa performance et une aide à la décision pour espérer bénéficier au maximum des avantages que cette technologie peut offrir. Plusieurs efforts ont été consentis dans ce sens à travers des propositions de méthodes de modélisation, d'architectures, de proof of concept, etc. La partie suite de cette thèse se concentra sur ces travaux sur de nombreux domaines et sous différents angles.

6. Conclusion

En conclusion de ce premier chapitre introductif, le fonctionnement de la supply chain a été relaté ainsi que son besoin de s'associer aux nouvelles technologies pour être exploitée de manière optimale. Grâce à l'avancée de la technologie et aux moyens de stockage, la SC cherche de plus en plus à optimiser la gestion de ses processus. À travers des expériences quotidiennes à l'échelle mondiale effectuées par « International Data Corporation » (IDC), les problèmes de gestion manuelle représentaient 21% de perte en matière de productivité organisationnelle. À l'intérieur des entreprises, certains processus engendrent d'importants risques de sécurité et de transparence. À cela s'ajoute aussi les pertes de temps causant ainsi un ralentissement de la productivité des employés. Face à ce problème, des solutions et pratiques ont vu le jour permettant ainsi une bonne gestion des processus et une structuration des informations afin d'éviter au maximum toutes pertes de données. Malgré tous ces progrès, des avancées dans ce sens ne cessent de voir le jour et la Blockchain pourrait être une bonne solution. En plus de l'informatisation de la donnée, une BC permet l'exécution de processus collaboratifs en toute sécurité. Cependant, avec l'avènement de la BC on constate de plus en plus de projets qui n'aboutissent pas du fait de nombreuses raisons énoncées.

A l'issue de cette analyse, découle notre problématique de recherche qui consiste à utiliser la technologie de la blockchain dans la supply chain. Cependant, force est de constater que l'utilisation de la technologie blockchain est loin d'être simple et qu'une méthodologie de pilotage pour couvrir tout le cycle de vie du projet et de l'exploitation serait importante pour tirer parti au maximum de cette technologie. Les prochains chapitres participeront progressivement à la proposition de cette méthodologie pour piloter toutes les phases d'un projet blockchain dans la supply chain, jusqu'à son exploitation et aux déploiements d'outils d'aide à la décision.

Chapitre 2 : Etat de l'art de la technologie blockchain

Table des matières

Chapitre 2 : Etat de l'art de la technologie blockchain	26
1. Introduction.....	27
2. Les travaux connexes.....	29
3. Conclusion	35

1. Introduction

Après le chapitre 1 qui a mis l'accent sur la problématique, nous allons mettre l'accent sur l'état de l'art afin de voir les différents aspects de la technologie blockchain et les différentes méthodes proposées pour définir et implanter cette dernière.

La blockchain est une technologie composée d'un réseau qui partage une seule et unique base de données distribuée. Cette dernière permet à deux ou plusieurs parties d'interagir en termes de transaction sans aucun intermédiaire grâce à la preuve cryptographique utilisée pour contrôler les échanges.

Selon (Pilkington, 2015) "La blockchain est une base de données distribuée qui est basée sur la preuve cryptographique au lieu de la confiance, qui permet à deux parties consentantes d'effectuer une transaction directe entre elles au lieu de recourir à un intermédiaire".

(Arif Perdana, 2021) considère aussi cette technologie comme 'une technologie composée par des blocs de données liés les uns aux autres et qui permet un mode de stockage décentralisé des données grâce à un grand livre distribué et décentralisé entre les différents nœuds (ordinateurs) du réseau'.

Lors de l'exécution d'une transaction sur la blockchain la transaction en question est accompagnée d'un identifiant de l'utilisateur (l'identifiant n'est rien d'autre que son adresse) et d'un autre identifiant qui sera associée à la transaction en question (ce dernier est la clé publique de l'utilisateur). L'identifiant de l'utilisateur permet au réseau blockchain de vérifier les droits et privilèges de l'utilisateur par rapport à la transaction en question. Ceci garantit la sécurité et constitue un moyen de contrôle sur la manipulation des données.

L'identifiant de la transaction est la clé publique de l'utilisateur qui a lancé la transaction. Rappelons que chaque utilisateur de la blockchain contient une paire unique de deux clés distinctes en l'occurrence une clé publique et une autre qui est privée. Lors de la création d'une transaction, le chiffrement constitue une étape primordiale. La transaction en question dans ce cas sera cryptée par la clé privée de l'utilisateur et seule la clé publique de ce même utilisateur peut décrypter le message en question. De ce fait, la transaction est lancée avec un identifiant qui n'est rien d'autre que la clé publique de l'utilisateur. Avec cette clé, les autres nœuds du réseau pourront décrypter le message et s'assurer que le message ou l'opération en question provient bien de tel utilisateur et c'est seulement à partir de ce moment que les nœuds du réseau pourront actualiser leurs données. Puisque chaque utilisateur est le seul à détenir sa clé privée et que les transactions sont cryptées par ces clés privées avant leur publication, la blockchain

assure grâce à cela la traçabilité de toutes les actions effectuées sur les données en question (figure 3).

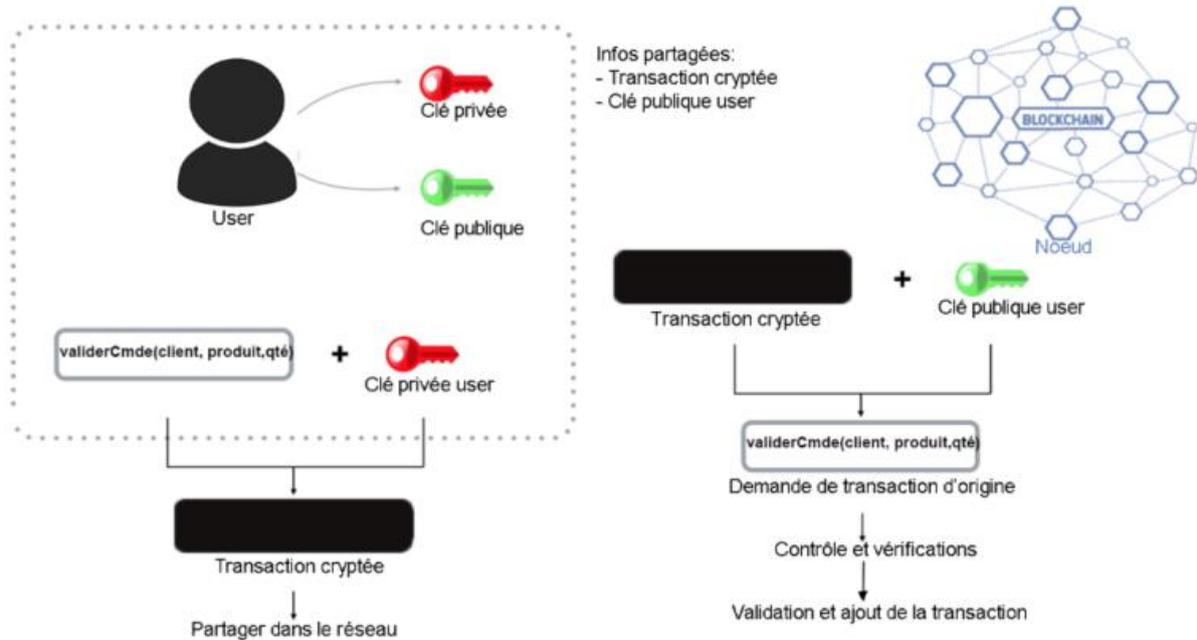


Figure 3: Etapes d'exécution d'une transaction

Depuis son apparition en 2008 pour supporter le bitcoin, la blockchain était uniquement réservée au domaine de la finance afin de sécuriser les transactions financières. Cependant, elle est devenue de plus en plus populaire et attire les investisseurs qui cherchent à l'expérimenter dans de nombreux domaines afin d'en tirer profit. Malgré l'ampleur suscitée, la technologie est encore à ses débuts et son utilisation par le grand public est faible (Yli-Huumo, et al., 2016). Cependant, ses caractéristiques constituent un véritable atout au sein des processus dans de nombreux domaines. On peut en citer la transparence, l'immutabilité, la décentralisation et la traçabilité. Concernant la transparence, tous les membres de la blockchain peuvent consulter les transactions effectuées au sein du réseau ce qui permet de garder l'équilibre informationnel. Le caractère d'immutabilité constitue la force de la blockchain qui maintient la persistance du grand livre et garde les données du réseau inaltérées. La décentralisation a permis de se passer d'une autorité centrale lors des transactions et la traçabilité permet de retracer toutes les opérations réalisées à tous les niveaux.

L'objectif de ce chapitre est de rechercher les différents travaux connexes de méthodes d'implémentation de la blockchain et d'apporter notre analyse afin d'arriver à une méthode de référence que nous souhaitons entre autres définir dans cette thèse.

2. Les travaux connexes

Pour assurer le pilotage d'un projet blockchain plusieurs facteurs rentrent en jeu tant sur le plan fonctionnel qu'organisationnel. L'écrivain (Williams, 2019) estime que l'étape primordiale est de comprendre ce qu'est la blockchain ? Cette partie constitue un élément fondamental vu le nombre de projet blockchain qui stagnent dans leur phase d'expérimentation à cause d'un manque de maîtrise (cf figure 1). La meilleure façon de tirer profit de cette partie c'est d'impliquer directement les acteurs concernés. Cela permettra non seulement de comprendre les avantages de la blockchain mais aussi comprendre comment son adoption pourra simplifier et améliorer les processus déjà en place. Lors du déploiement d'une Blockchain racontée par le DSI du groupe Labeyrie Fine Foods, le directeur des systèmes d'information affirme que « Ce que l'on n'arrivait pas à faire avec les responsables des employés s'est fait très facilement avec les employés eux-mêmes, c'est-à-dire que quand on prend des opérationnels qui sont tous les jours en train de traiter ces sujets-là, très vite, ils comprennent les uns et les autres l'intérêt du métier d'à côté. [...] L'approche top-down qu'on avait tenté au début du projet n'a pas fonctionné et c'est quand on a mis les opérationnels ensemble qu'ils se sont dit : "Mais oui finalement bien sûr que ça nous rend service !" ». En effet, le pilotage d'un projet blockchain dépend de plusieurs facteurs. Pour cela, l'idéal serait de considérer toutes les parties prenantes du début à la fin du projet pour permettre à tout le monde d'être au même niveau d'information sur « le pourquoi » la blockchain aurait une valeur ajoutée dans les processus en place. Cette démarche reste un moyen efficace d'engager les multiples acteurs et de prioriser les efforts en fonction des besoins (Wang, Singgih, Wang, & Rit, 2019). Comme dans tout projet informatique la modélisation devrait faire partie intégrante du projet pour assurer la représentation des fonctionnalités et processus afin de garantir une bonne compréhension des besoins. Dans cette optique, plusieurs recherches et propositions ont vu le jour pour accompagner la conception lors d'un projet blockchain. (Markovska, 2019) estime que l'utilisation de cette technologie reste pertinente en lien avec l'innovation des processus d'entreprise car ils assurent la structuration et la représentation des activités de l'entreprise. En effet, il est essentiel d'identifier le ou les processus existant(s), déceler les problèmes et les enjeux avant de proposer des solutions. Sa contribution a mis l'accent sur la modélisation de solutions basées sur les chaînes de blocs avec la modélisation BPMN.

De même (Recker, Jan, & Indulska, 2009) ont estimé que la modélisation BPMN serait une manière efficace de faire la modélisation de la blockchain car elle « est l'une des techniques de modélisation des processus commerciaux les plus étendues et les plus largement appliquées ».

Même si BPMN est une norme commune de modélisation, (Filipova, 2019) estime que CMMN serait un meilleur choix pour modéliser un processus blockchain car cette approche tout comme la blockchain met l'accent sur la manière dont les données sont ajoutées et comment elles sont partagées entre les différents acteurs. (Jurgelaitis M. , Drungilas, Čeponienė, Vaičiukynas, & Butkienė, 2019) quant à eux ont présenté une idée de méthode de développement de la technologie blockchain, basée sur les principes MDA (Model Driven Architecture). La méthode proposée est utilisée pour différents processus de définition d'éléments communs et d'identification de domaines d'application potentiels. La méthode fournit une approche plus structurée pour le développement d'éléments de blockchain, ce qui pourrait potentiellement raccourcir le temps de développement. (Rocha & Ducasse, 2018), à travers l'avènement des smart contracts (les Smart contracts sont considérés comme des classes faisant office d'accès avec le monde extérieur car elles peuvent être utilisées par d'autres applications clientes en dehors du réseau blockchain), ont proposé des approches de modélisation pour lancer la discussion sur une éventuelle norme de conception entre la blockchain et les BOS (Blockchain Oriented Software) ou les application orientées blockchain.

A côté de l'aspect conception et modélisation, les méthodes de développement ont aussi fait l'objet d'une étude approfondie. Ces méthodes sont aussi l'un des éléments clés pour la bonne gestion et la réussite des projets informatiques. Elle se différencie la plupart du temps dans leur démarche en fonction de la durée d'un projet, de sa complexité, et son périmètre d'application, etc. Avec la blockchain des auteurs se sont aussi intéressés à une meilleure méthode de développement pour bien piloter ses différentes parties. (Al-Mazrouai & Sudevan, 2019) Considèrent que la blockchain est encore considérée comme une nouvelle découverte technologique (elle demeure encore mystérieuse car requière jusque-là d'une bonne maîtrise). Face à cette situation, plusieurs changements peuvent à nouveau s'ajouter pour assurer sa maturité. Les auteurs soutiennent ainsi qu'une méthode agile reste la meilleure pour assurer sa réussite. Avec une technologie nouvelle, le manque de maîtrise est souvent au rendez-vous pendant son utilisation. Pour s'adapter aux changements sans influencer négativement son projet, (Marchesi, Marchesi, & Tonelli, 2018) considèrent qu'une méthode agile serait très efficace pour un projet blockchain. (Gerard, 2017) , lors de la réalisation d'une application de gestion de déchets énergétiques a fait une étude comparative entre SCRUM et KANBAN. Au final il a décidé d'appliquer la méthode agile SCRUM qu'il considère comme plus efficace pour un projet blockchain. « La clé du développement de toute solution de blockchain est de déterminer quels problèmes vous essayez de résoudre et si la blockchain est le moyen de les résoudre » :

(Williams, 2019). Dans son article intitulé « 6 strategies to successfully implement blockchain », l'auteur a énuméré les six critères proposés par PWC pour permettre aux organisations de se décider quant à l'utilisation de la blockchain face un besoin :

- Est-ce que plusieurs parties partagent des données ?
- Est-ce que plusieurs parties mettent à jour les données ?
- Y a-t-il une exigence de vérification ?
- Les intermédiaires ajoutent-ils de la complexité ?
- Les interactions sont-elles sensibles au facteur temps ?
- Les transactions interagissent-elles ?

A l'issue de ces interrogations, si on obtient 66% de réponses favorables cela signifie que la blockchain peut être une bonne solution au problème.

La partie faisabilité de l'application de la blockchain a aussi fait l'objet de plusieurs expérimentations. En guise d'exemple, on peut citer (Hunhevicz, Schraner, & Hall, 2020). Afin d'assurer la circulation et le partage de données de haute qualité entre les acteurs de la construction, les auteurs ont essayé d'appliquer la blockchain dans leur processus. Tout d'abord, les auteurs ont défini les flux d'information et les catégories de données à partager pour assurer la qualité des échanges lors d'un processus. Ensuite un cas d'utilisation a été choisi en guise de prototypage et Ethereum a été utilisé pour mettre en place ce POC (Proof Of Concept). Ce dernier est constitué d'un Smart Contract qui joue un rôle de vérificateur et de contrôle des acteurs par rapport aux informations à fournir.

(Lam, Velthoven, & Meinert, 2020) ont travaillé sur un protocole d'étude de faisabilité pour l'application de la blockchain dans la chaîne d'approvisionnement du secteur de la santé plus précisément les thérapies avancées. Quatre sections clés ont été retenues pour réaliser ce travail :

- Analyse des parties prenantes : Cette partie constitue un point de repère pour la mise en place des spécifications. En effet, ce travail regroupe toutes les parties prenantes de bout en bout afin de déceler tous les goulots d'étranglement en l'occurrence les coûts de réglementations et/ou de surveillance, la gestion actuelle des données, la configuration du réseau, etc.

- Gestion de la plateforme : Concevoir un écosystème et bien délimiter le champ d'application. Un prototype déjà existant a été utilisé pour aboutir à un autre plus personnalisé.
- Migration et intégration : Cette partie consiste à mettre en place la solution imaginée en s'appuyant sur une méthode agile afin d'être plus rétroactif et ouvert aux changements tout au long du processus.
- Evaluation à travers une étude de cas : Le choix d'un cas d'utilisation permet de bien mesurer l'impact et la faisabilité de la solution par rapport aux spécifications de départ et les résultats permettront d'adapter et d'appliquer cette méthodologie dans ce secteur.

(GUIDO, STEFANO, & ROSANO, 2018) soutiennent que « la blockchain est l'une des technologies les plus prometteuses en matière de gestion et d'optimisation de la logistique, grâce à certaines caractéristiques intrinsèques, telles que l'intégrité des données et les opérations décentralisées ». En même temps cette fiabilité des données échangées peut constituer d'avantage un élément de confiance lors des échanges externes (Fournisseurs-entreprise-Clients). La blockchain a aussi apporté une valeur ajoutée par rapport à ce besoin en permettant aux consommateurs d'accéder à toutes ces informations utiles relatives à un produit ou un service. A cela s'ajoute la réduction des intermédiations inutiles entre les acteurs de la supply chain et des retards de paiement (Kamblea, Gunasekaranb, & Sharmaa, 2019), une transparence totale et la traçabilité des informations partagées (Yiannas, 2018). Tous ces avantages influent positivement sur la fiabilité et l'intégrité des indicateurs de performance établis en interne favorisant ainsi des prises de décisions mesurées et une amélioration continue maîtrisée. (Kristjan, Kaare, & Koppel, 2018) ont proposé un modèle basé sur la blockchain pour recueillir des données. Dans leur article les auteurs estiment que les décisions sont prises à travers ces données reçues depuis les opérations internes et externes à tous les niveaux. L'objectif de cette solution est de faire passer ces données par la blockchain pour subir des contrôles et des vérifications avant d'être validées. Dans ce cas de figure toute information est retracée donc toute décision en se basant sur ces données sera justifiée. Plusieurs propositions de solutions sur la traçabilité de la supply chain ont aussi vu le jour. En effet, de nombreux chercheurs se sont penchés sur l'application de la blockchain pour assurer cette traçabilité lors des échanges entre acteurs d'une chaîne d'approvisionnement. (Hasan, AlHadhrami, AlDhaheri, Salah, & Jayaraman, 2019) ont proposé un framework pour la transparence d'une supply chain composée de plusieurs acteurs en l'occurrence le fournisseur d'un fournisseur lequel est le fournisseur d'un autre jusqu'au détaillant du produit final. (Caro, Ali, Vecchio, & Giaffreda, 2018) ont

implémenté une blockchain en utilisant Ethereum pour tester la faisabilité d'une supply chain entre fournisseurs, producteur, distributeur, détaillant et client final.

Dans la table 2 qui suit, nous représentons un ensemble de contributions d'acteurs qui ont utilisé la technologie blockchain.

Table 2: Liste des contributions

Auteurs	Secteur	Propositions
(Azaria, Ekblaw, Vieira, & Lippman, 2016)	Industrie médicale	Système pour superviser les données de soins de santé en utilisant la technologie blockchain
(Dimitrov, 2019)	Industrie médicale	Une compréhension conceptuelle des fondements techniques du potentiel de la technologie blockchain dans le secteur des soins de santé.
(Chen, Xu, Wang, & Yu, A blockchain-based preserving and sharing system for medical data privacy, 2021)	Industrie médicale	Un système de préservation et de partage des données confidentielles médicales basé sur la blockchain
(Zhang, Douglas, Schmidt, White, & Gunther, 2018)	Industrie médicale	Propositions de sept cas d'utilisations basés sur la blockchain dans le domaine médical
(Kristjan, Kaare, & Koppel, 2018)	Supply chain	Modèle de recueil de données basé sur la blockchain
(Surjandari, Harman, Enrico, & Maulida, 2021)	Industrie du Halal	Adoption d'un cadre de blockchain pour la chaîne d'approvisionnement halal
(Dobrovnik, Herold, Fürst, & Kummer, 2018)	Logistique	Identification des avantages potentiels de la blockchain et des scénarios d'application dans l'industrie logistique

(Eluubek, Huaming, Ahmadreza, Wang, & Junlong, 2021)	Industrie agricole	Approche basée sur une conception blockchain pour la création de consortiums dans les systèmes de chaînes d'approvisionnement agricole
(Tian, 2017)	Industrie alimentaire	Un système de traçabilité de la chaîne d'approvisionnement alimentaire basé sur l'analyse des risques et des points de contrôle critiques (HACCP), la blockchain et l'IOT.
(Kamblea, Gunasekaranb, & Sharma, 2019)	Industrie agricole	Modélisation de la traçabilité dans la chaîne d'approvisionnement agricole en utilisant la blockchain
(Marchesi, Marchesi, & Tonelli, 2018)	Modélisation	Modélisation d'un processus de développement d'une blockchain
(Lenarduzzi, Lunesu, Marchesi, & Tonelli, 2028)	Gestion de projet	Applications de la blockchain pour les méthodologies agiles.
(Peronja, Lenac, & Glavinović, 2019)	Industrie maritime	Implémenter une blockchain dans l'industrie maritime
(Mohamed, Taconet, & Lemine, 2019)	Supply chain	La traçabilité dans les chaînes logistiques en utilisant la blockchain.

La table 2 ci-dessus est l'illustration des efforts consentis par les acteurs et chercheurs. On peut constater plusieurs propositions allant de la modélisation de processus de la blockchain aux modèles de traçabilité. L'application de la blockchain avec les méthodologies agiles a aussi fait l'objet de plusieurs recherches et propositions : des modèles de conception, des architectures pour la traçabilité, des méthodes de développement, etc. Il faut noter que ces efforts ont porté sur beaucoup de domaines différents. Au début, la technologie blockchain a donc été dédiée uniquement au domaine des finances avec l'apparition de la blockchain publique liée au Bitcoin

utilisée à l'époque pour assurer les transactions financières entre acteurs. Avec l'apparition des blockchains privées et la possibilité d'assurer des flux financiers et d'information, la blockchain est devenue un sujet de débat dans tous les grands secteurs. Le secteur médical, les industries agricoles, le monde de la supply chain, le domaine maritime et éducatif se sont intéressés à la blockchain grâce aux avantages que cette dernière pourrait leur procurer. Malgré tous ces efforts et propositions on constate encore des challenges à relever avec cette technologie. Pour une analyse objective de tous ces travaux on peut retenir les points suivants :

- Une absence de cadre de développement pour soutenir et accompagner tout le processus de développement d'un projet blockchain.
- Une non maîtrise du processus complet du projet de blockchain Malgré les nombreuses propositions, peu sont les acteurs qui proposent une méthode de développement bien détaillée pour anticiper les goulots d'étranglement et assurer une gestion efficace des risques.
- Une évaluation à travers des indicateurs de performance pour mesurer les résultats obtenus pendant un projet de blockchain.
- Une absence d'outil d'aide à la décision adéquat pour assister et accompagner les prises de décisions.

3. Conclusion

Le secteur de la supply chain est confronté à plusieurs défis. Les interactions entre partenaires et la gestion efficace des volumes de données qui ne cessent d'augmenter requièrent des améliorations sur toute la chaîne de valeur. Comme promis dans presque tous les secteurs, la technologie blockchain promet aussi plusieurs avantages dans ce secteur. Les acteurs dans ce domaine soutiennent que la blockchain peut apporter une transformation numérique et palier aux manquements des systèmes de gestion traditionnels (Yu, Zhang, Zhao, & Zhang, 2018). En d'autres termes, l'utilisation de la blockchain permet à l'entreprise de bien garder ses données en toute sécurité. Ces données issues de diverses opérations internes et externes restent immuables une fois leur enregistrement effectué dans une blockchain. Ces dernières constituent un pilier fondamental au niveau stratégique et serviront d'outil essentiel lors de l'établissement des indicateurs de performances. Plusieurs propositions et expérimentations allant dans ce sens ont vu le jour. Cependant, malgré les efforts consentis en ce sens, plusieurs défis restent encore à affronter. Selon (Nelson, 2018) président de Sweetbridge, seulement 44% des dirigeants de la chaîne d'approvisionnement ont une stratégie pratique pour mettre en œuvre cette transformation. De même, (Carson, Romanelli, Walsh, & Zhumaev, 2018) ont affirmé que

plusieurs industries risquent de perdre le pari de la technologie blockchain à cause d'une non maîtrise lors sa mise en place. Ces goulots d'étranglement sont souvent causés entre autres par une sous-estimation des risques, l'immaturation de la technologie, un manque d'accompagnement, un budget non maîtrisé, comme c'est relaté dans le chapitre précédent. Cependant, une méthode de pilotage permettra de se situer quant à l'adoption de la blockchain face aux besoins exprimés car elle nous permettra d'impliquer stratégiquement tout élément quantitatif et/ou qualitatif en rapport avec le processus de décision. Dans notre prochain chapitre, nous allons nous concentrer dans la proposition de ce cadre générique qui partira de la proposition d'une modélisation du cycle de vie d'un projet blockchain avant de mettre l'accent sur la gestion de chaque phase de cette méthodologie.

Chapitre 3 : Contribution à une méthodologie de développement de la blockchain dans la supply chain

Table des matières

Chapitre 3 : Contribution à une méthodologie de développement de la blockchain dans la supply chain	37
1. Introduction.....	38
2. Modélisation de la méthode de gestion d'un projet de Blockchain	39
3. La gestion des phases.....	42
A. Les risques	43
B. Les méthodes	55
C. Les acteurs.....	56
4. Conclusions.....	56

1. Introduction

Ce chapitre s'inscrit dans le cadre d'un processus d'une contribution au management et à la maîtrise de l'utilisation de la blockchain dans la supply chain. La première étape a été de consulter la littérature et d'avoir une approche empirique en s'entretenant avec des professionnels qui ont eu à gérer des responsabilités dans des projets blockchain pour bien comprendre les enjeux et les causes d'échecs pour la plupart de ces projets.

Dans le chapitre 2 un résumé des différents travaux connexes a été réalisé pour s'informer sur l'état actuel des contributions. A l'issue de cette analyse nous avons constaté que piloter un projet blockchain est loin du pilotage d'un projet traditionnel simple car les risques sont plus élevés et la maturité de la technologie fait toujours débat. De ce fait, notre choix s'est porté sur la définition fine d'**un cadre de gestion générique** d'un projet BC pour la supply chain et cette méthode proposée n'est qu'une partie du processus pour permettre de s'adapter aux changements et de diminuer les risques. Cette dite méthode enlève considérablement le doute, l'incertitude et éliminent les lenteurs qui constituent des goulots d'étranglement et font échouer les projets BC.

Dans ce chapitre nous allons présenter la modélisation de la méthode de gestion d'un projet de blockchain avant de détailler les différentes phases de cette dernière.

2. Modélisation de la méthode de gestion d'un projet de Blockchain

L'objectif de cette contribution est d'une part de définir en détail les différentes étapes de la gestion d'un projet de Blockchain mais aussi et surtout d'utiliser la modélisation pour représenter les éléments nécessaires à chaque étape et les liens entre étape (figure 4). À chaque étape, la liste des intrants nécessaires est présentée. Ces intrants vont permettre d'identifier les risques et les actions à mener par les différents acteurs dans cette étape. Ces opérations sont associées à des coûts qui doivent être budgétisés (les coûts font partie des causes d'échec des projets de blockchain). A la fin de chaque phase, des éléments de sortie sont attendus afin de migrer vers la phase suivante. La méthodologie agile a été choisie dans cette approche pour être découpée sous forme de mini projets permettant une facilité dans la réalisation et une meilleure compréhension des besoins. L'association des différents acteurs concernés (qui est en phase avec la méthodologie agile) permettra d'impliquer toutes les parties prenantes dès le début. Cette approche comprend également un plan de gestion du changement et de gestion de crise afin d'anticiper les problèmes techniques et/ou humains.

Pour une meilleure compréhension de notre méthodologie, l'approche détaillée de chaque étape est réalisée afin de bien situer :

- Les risques associés à la phase qui peuvent être techniques, organisationnels, ou humains.
- Les actions à entreprendre pour mener à bien la phase et éviter ces risques autant que possible. Un plan d'atténuation de certains risques inévitables doit également être établi.
- Les acteurs impliqués dans chaque phase.
- Les coûts associés à la phase.

Par rapport aux projets de systèmes d'information traditionnels, les projets blockchain se situent au niveau de complexité d'une implémentation d'ERP. L'approche que nous proposons ne se limite pas à la gestion d'un projet informatique mais prendra également en compte les changements structurels et organisationnels.

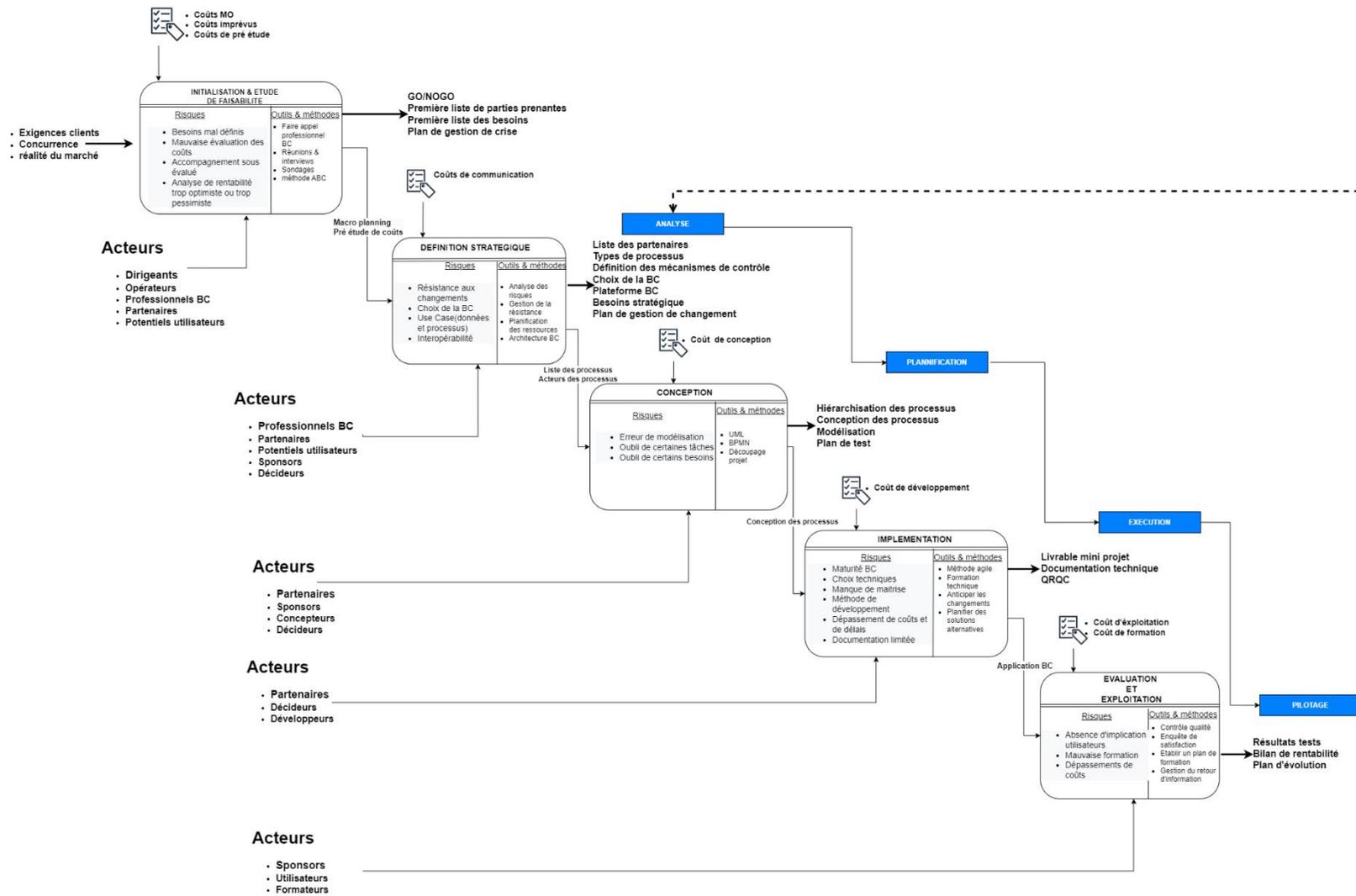


Figure 4: Les étapes principales de la méthodologie

La figure ci-dessus représente le cycle proposé pour rallier l'étude de la faisabilité et la phase d'exploitation. Comme c'est expliqué dans la suite chaque phase est constituée de données d'entrées et de sorties, de risques et des méthodes pour atténuer ces risques, des coûts et d'acteurs associés. A titre d'exemple considérons la première phase « INITIALISATION ET ETUDE DE FAISABILITE » qui a comme données d'entrées :

- L'exigence des clients qui sont aujourd'hui un facteur clé à prendre en compte pour pouvoir exister sur le marché. Cette situation est causée par la multiplication des choix offerts au client et la concurrence.
- La concurrence qui oblige l'entreprise à se hisser pour conserver sa clientèle et gagner d'avantage du terrain sur le marché industriel.
- Les réalités du marché qui changent en fonction des tendances, des besoins clients, et saisons, des contextes, etc.

Les risques associés à cette phase sont :

- Les besoins mal définis qui sont sources d'échecs de projet.
- Mauvaise évaluation des coûts qui risque d'arrêter le projet si ses coûts sont sous évalués.
- Attentes trop élevées

Les méthodes choisies sont :

- Faire appel à un professionnel pour mieux comprendre les enjeux et minimiser les risques.
- Réunions & sondages pour mesurer sa situation, élaborer ses besoins mais surtout les délimiter dans le temps.
- Méthode ABCD que nous avons développée et qui sera présentée dans le chapitre 5, qui est une méthode dérivée de la méthode ABC et a pour objectif de détecter les inducteurs de coûts et de délais associés à chaque phase et de proposer une opportunité de réduction maximale.

Les données de sorties :

- Le GO/NOGO qui est le résultat de l'étude de faisabilité. Ce GO/NOGO a pour but de décider sur la capacité de dérouler un projet ou non selon les moyens à disposition.
- Une première liste des parties prenantes qui sont les éventuels intervenants si jamais le projet est lancé.

- Une première liste de besoins qui regroupe les besoins éprouvés lors de la phase d'analyse. Il faut noter que ces besoins sont susceptibles de changer en fonction du temps et de la faisabilité.
- Un plan de gestion de crise pour rassurer les collaborateurs et fédérer au maximum l'ensemble des parties prenantes.

Les coûts associés sont :

- Coût MO ou coûts de main d'œuvre associés à la réalisation de la phase.
- Coûts imprévus qui sont susceptibles de surgir à n'importe quel moment du projet.
- Coûts de pré étude associés à la préparation et à l'exécution de l'initialisation du projet.

Les acteurs intervenants sont :

- Les dirigeants
- Les professionnels de la BC
- Les partenaires/managers de la Supply Chain
- Les éventuels utilisateurs (DSI)

En tenant compte du contexte et de la complexité de la technologie, on a décidé de mettre en place une démarche d'agilité pour permettre un suivi et une ouverture aux changements à tout moment du projet. En effet, après la phase d'étude et de faisabilité, un dispositif allant de l'analyse jusqu'au pilotage est mis en place permettant ainsi de revenir sur les décisions prises et les objectifs mal évalués. L'évolution permanente de la technologie nécessite aussi une réaction rapide aux changements. Cela est en phase avec cette pratique utilisée qui peut aider à réduire les erreurs, réajuster les décisions et atténuer les problèmes structurels et techniques.

3. La gestion des phases

Les tableaux ci-dessous (tableau 1 jusqu'à tableau 5) présentent chaque phase de la méthode globale proposée pour une meilleure répartition des risques et des coûts, ainsi qu'une bonne répartition des acteurs et des moyens pour mener à bien la phase considérée.

L'organisation de ces tableaux, l'élaboration des modèles reliés, la répartition des actions ainsi que l'identification des risques pour chaque phase a été faite après avoir rassemblé plusieurs sources d'informations grâce à des enquêtes de chercheurs, des entretiens avec des professionnels de la BC, des rapports de projets d'entreprises sur la blockchain, de la littérature, etc.

A. Les risques

➤ Phase1

- **Mauvaise compréhension** qui est source de nombreux problèmes pendant un projet causé souvent par le manque d'information, un déficit de communication, l'utilisation de pratiques inadéquates, etc.
- **Manque d'attention** : Lors d'un projet de grande envergure, la rigueur doit être au rendez-vous pour s'assurer de la bonne tenue des étapes et de l'accomplissement des processus. Le manque d'attention peut être source d'oubli et de la non validation d'étapes importantes.
- **Minimisation de la complexité** qui est l'un des principaux goulots d'étranglements notés dans la technologie blockchain. Une minimisation peut favoriser un investissement limité et un manque d'attention.
- **Attentes trop élevées**. Dans un contexte où l'utilisation d'une nouvelle technologie divise un bon nombre d'acteurs de par sa maturité et sa complexité, mesurer ses attentes reste un bon moyen de se mettre à l'abri. Il faut rappeler que la blockchain n'a pas encore atteint sa maturité complète d'où le besoin de bien délimiter son projet avec des attentes mesurées.
- **Besoins mal formulés** qui sont sources de problèmes en l'occurrence les détournements d'efforts et d'exigences et des corrections qui peuvent retarder le projet.
- **Mauvais choix des indicateurs de contrôle** qui sont définis dans la phase de faisabilité. Il est nécessaire de connaître les composants à mesurer pendant le POC (proof of concept) pour s'assurer de la bonne tenue d'un projet avec la technologie choisie.

Tableau 1: INITIALISATION & ETUDE DE FAISABILITE

Phase1	Comprendre BC	Spécifier les besoins	Construire l'écosystème	Prouver la faisabilité	Etudier la rentabilité
Risques	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise compréhension • Manque d'attention • Minimisation de la complexité 	<ul style="list-style-type: none"> • Attentes trop élevées • Besoins mal formulés 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise délimitation du projet • Partenaires non impliqués 	<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes techniques • Manque de contrôle • Trop de temps consommé • Manque de documentation • Manque de soutien 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais choix des indicateurs de contrôle • Mauvaise évaluation des coûts
Méthodes	<ul style="list-style-type: none"> • Engager un professionnel de la BC • Workshop 	<ul style="list-style-type: none"> • Enquêtes • Réunions 	<ul style="list-style-type: none"> • Trouver un partenaire motivé • Ateliers de travail • Définir les règles du partenariat • Définir les niveaux de décision 	<ul style="list-style-type: none"> • Spécifier le cas d'utilisation • Budgétisation • Modélisation • Développement • Documentation 	<ul style="list-style-type: none"> • Choix des indicateurs de coûts • Choix des indicateurs de temps
Acteurs	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Professionnel BC ➤ Utilisateurs potentiels 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Professionnel BC ➤ Utilisateurs potentiels ➤ Décideurs 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Professionnel BC ➤ Décideurs ➤ Partenaires potentiels 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Développeurs ➤ Partenaires ➤ Décideurs ➤ Professionnel BC 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Les partenaires ➤ Décideurs ➤ Professionnels BC ➤ Utilisateurs potentiels
Coûts	<ul style="list-style-type: none"> • Coût pré-étude 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO 	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts matériels • Coût MO 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût imprévu • Coût MO

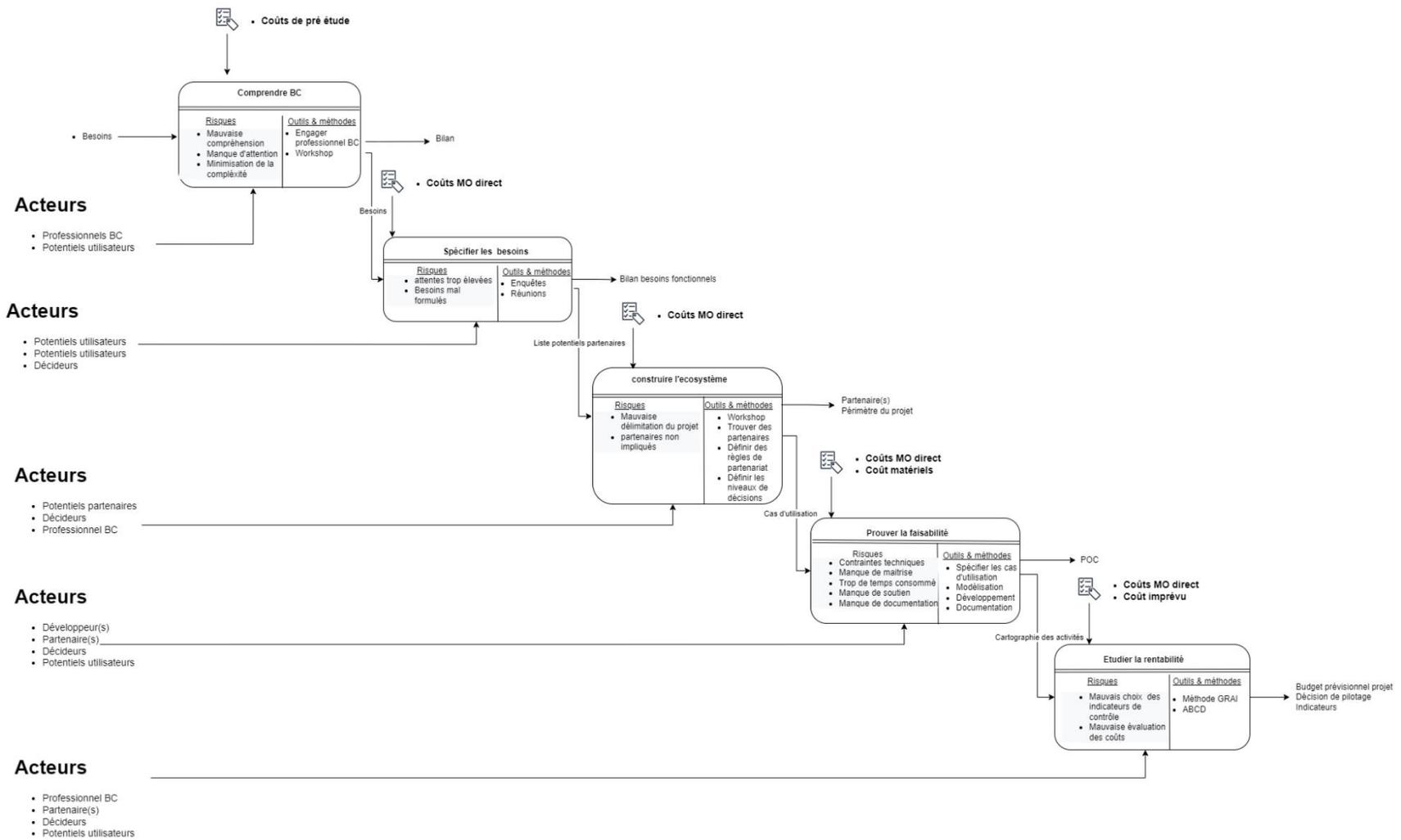


Figure 5: INITIALISATION & ETUDE DE FAISABILITE

Tableau 2: DEFINITION STRATEGIQUE

Phase2	Définir Acteurs & rôles	Définir transaction & Smart contracts	Choisir type de BC	Assurer l'interopérabilité
Risques	<ul style="list-style-type: none"> • La résistance au changement • Mauvaise définition des contrats avec les partenaires • Mauvais choix des professionnels de la BC 	<ul style="list-style-type: none"> • Source de données défectueuse • Mauvaise définition du processus 	<ul style="list-style-type: none"> • Omission de certains critères de sélection 	<ul style="list-style-type: none"> • Problèmes d'interopérabilité • Évolutions imprévues
Méthodes	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place d'une cellule de crise • Actif : Type/Statut/Niveau d'accès • Cas nominaux • Gestion de la résistance • Plan de changement stratégique 	<ul style="list-style-type: none"> • Identification des sources de données • Sélection des transactions • Définition des processus 	<ul style="list-style-type: none"> • Comparer les BC • Confronter les besoins et les types de blockchain 	<ul style="list-style-type: none"> • Mécanismes d'interopérabilité • Confirmation des protocoles de développement
Acteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Professionnel BC • Utilisateurs potentiels • Partenaires 	<ul style="list-style-type: none"> • Professionnel BC • Utilisateurs potentiels • Partenaires • Décideurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Professionnel BC • Partenaires • Décideurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Professionnel BC • Partenaires • Décideurs
Coûts	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO

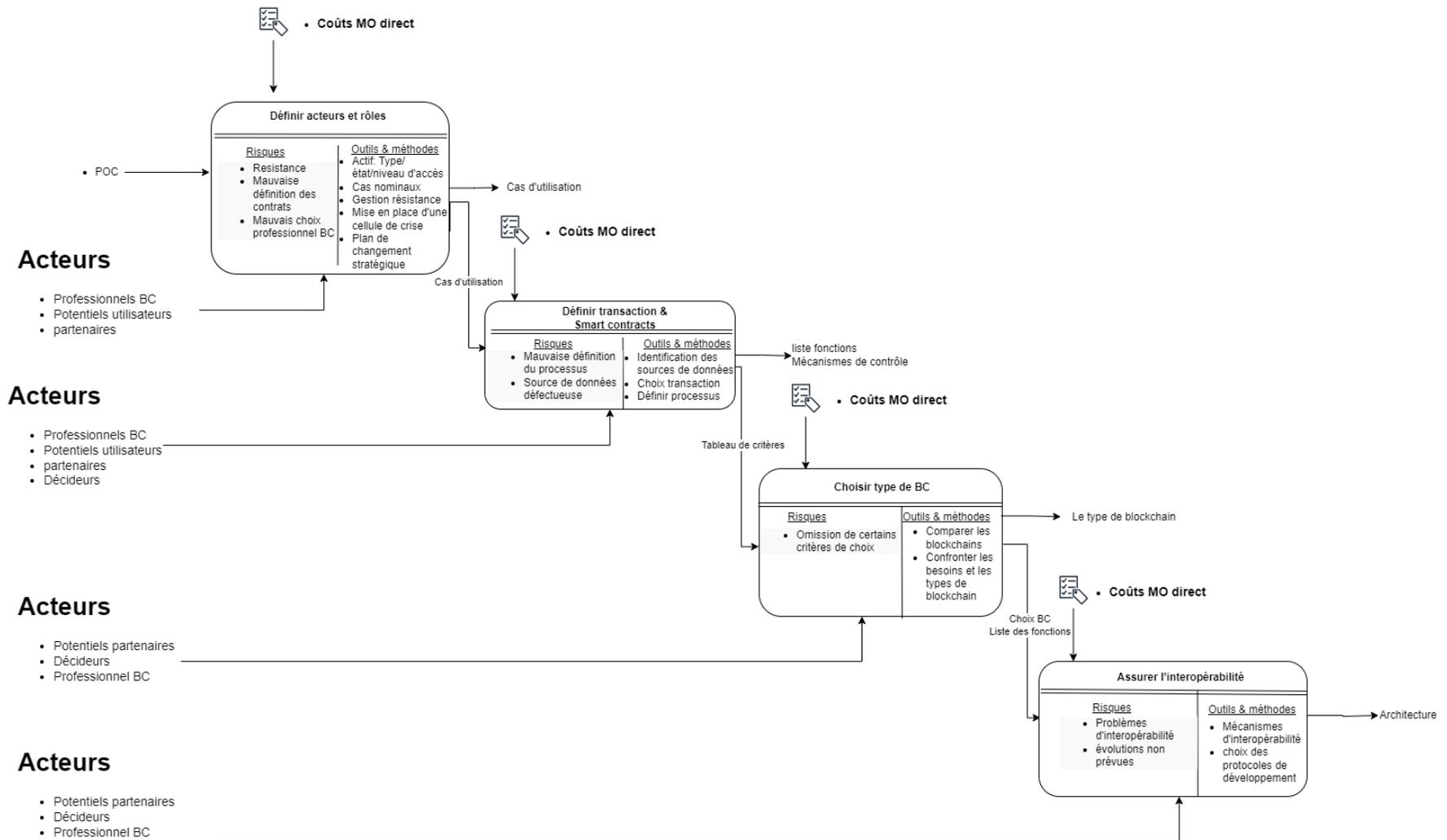


Figure 6: DEFINITION STRATEGIQUE

Tableau 3: CONCEPTION

Phase3	Définir un plan	Identifier les contraintes	Définir un model	Fournir documents
Risques	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise estimation des durées 	<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes sous estimées 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise modélisation 	<ul style="list-style-type: none"> • Responsabilités non situées
Méthodes	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier l'objectif • Dresser la liste des produits à livrer • Définir le planning • Définir le plan de changement fonctionnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier les contraintes possibles • Prévoir des solutions alternatives 	<ul style="list-style-type: none"> • Organigramme • Diagrammes • Cas nominaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Documenter les étapes
Acteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Professionnel BC • Utilisateurs potentiels • Décideurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Professionnel BC • Utilisateurs potentiels • Décideurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisateurs potentiels • Décideurs • Partenaire potentiel • Concepteur 	<ul style="list-style-type: none"> • Partenaires • Décideurs • Professionnels BC • Opérateurs
Coûts	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO

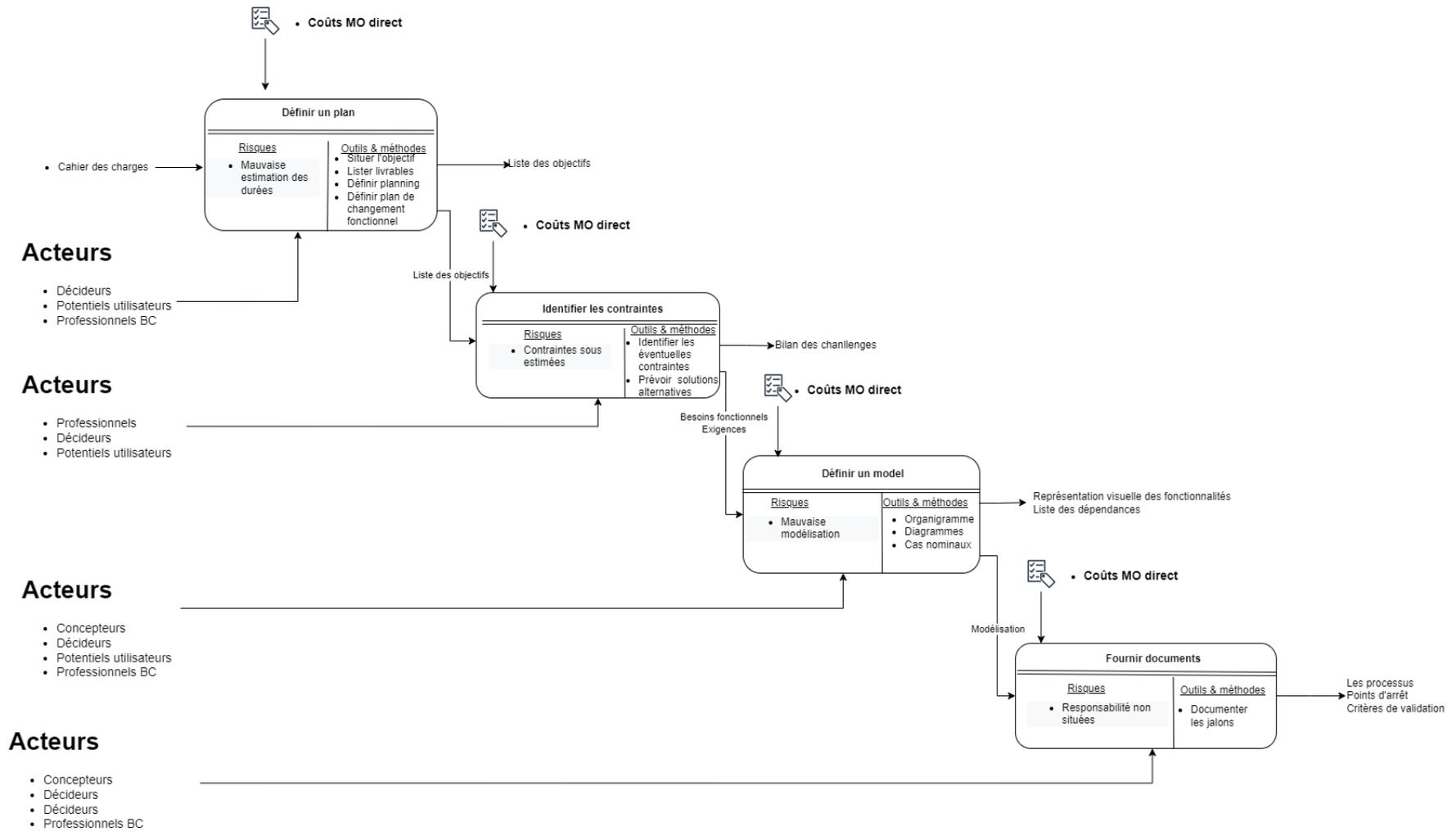


Figure 7: Conception

Tableau 4: IMPLEMENTATION

Phase4	Faire le code	Effectuer les test	Faire le déploiement	Fournir documents
Risques	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais choix techniques • Documentation limitée • Mauvaise méthode de développement 	<ul style="list-style-type: none"> • Résultats incohérents • Dépassement des coûts et des délais 	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie instable • Manque de contrôle • Contraintes techniques 	<ul style="list-style-type: none"> • Responsabilités non situées • Contraintes techniques
Méthodes	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser une méthode agile • Formation technique 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation du plan de test • Définir le plan de changement technique 	<ul style="list-style-type: none"> • Déploiement itératif 	<ul style="list-style-type: none"> • Documenter les étapes • QRQC
Acteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Professionnel BC • Développeurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Professionnel BC • Utilisateurs potentiels • Décideurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Professionnel BC • Décideurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Professionnel BC • Partenaire • Décideurs • Potentiels utilisateurs
Coûts	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO • Coûts d'équipement 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO • Coût technologique 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO •

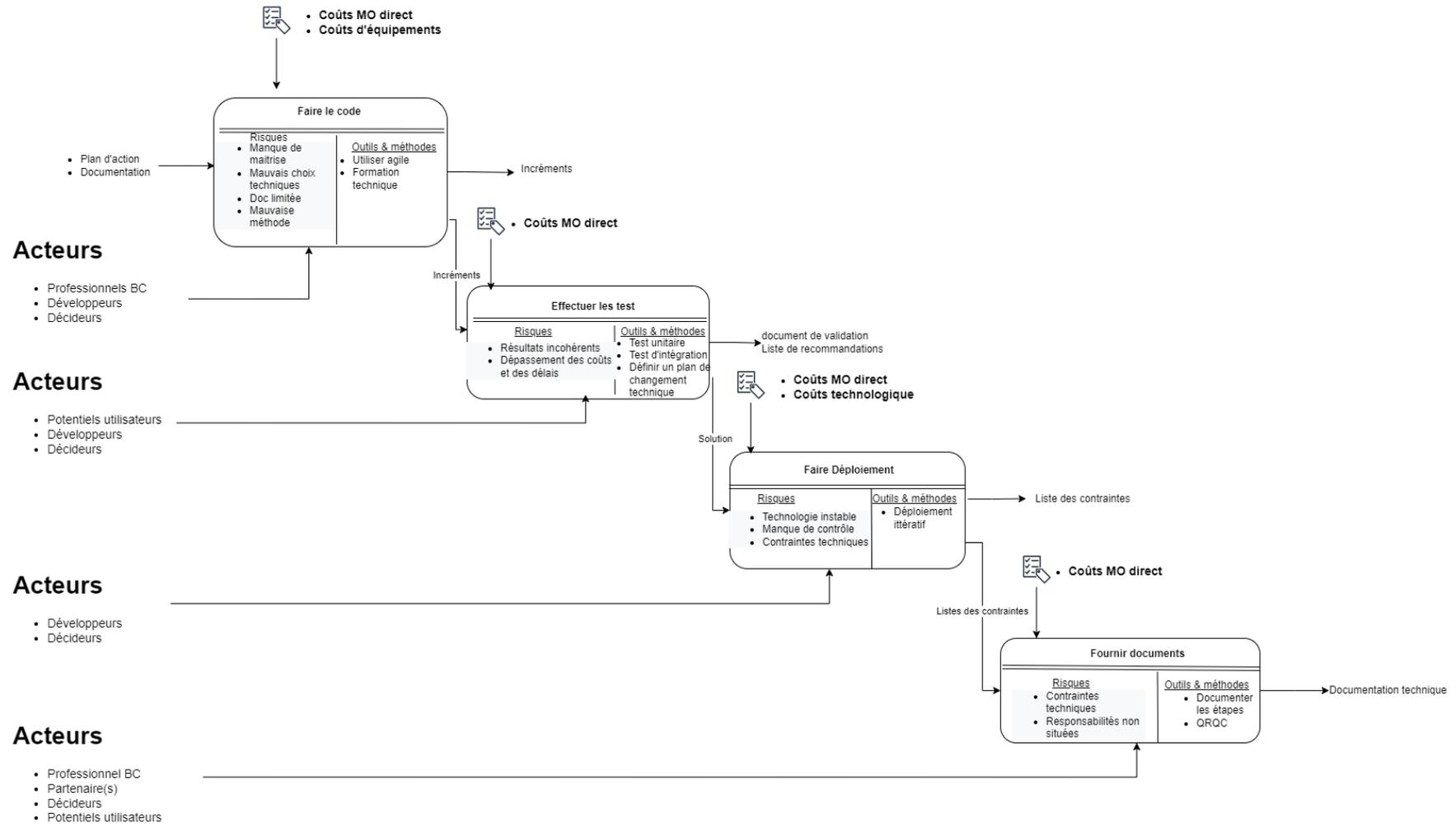


Figure 8: IMPLEMENTATION

Tableau 5: EVALUATION ET EXPLOITATION

Phase5	Faire l'expérimentation	Valider les résultats	Mesurer les impacts	Exploiter
Risques	<ul style="list-style-type: none"> • Résistance au changement • Manque d'implication 	<ul style="list-style-type: none"> • Manque d'implication • Rejet de la solution. • Besoins non satisfaits 	<ul style="list-style-type: none"> • Manque de soutien • Manque d'implication 	<ul style="list-style-type: none"> • Manque de gouvernance • Absence d'implication
Méthodes	<ul style="list-style-type: none"> • Définir les attentes • Cibler le public • Définir la stratégie d'engagement • Définir les résultats attendus • Promouvoir les sponsors 	<ul style="list-style-type: none"> • Exécution du plan de validation 	<ul style="list-style-type: none"> • Interviews • Enquêtes • Implication des sponsors • Indicateurs de performance 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en production • Sessions de formation • Suivi des évolutions
Acteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Professionnel BC • Utilisateurs potentiels • Sponsors 	<ul style="list-style-type: none"> • Professionnel BC • Utilisateurs potentiels • Sponsors • Décideurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Professionnel BC • Utilisateurs potentiels • Commanditaires • Décideurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisateurs • Partenaires
Coûts	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût MO 	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts de fonctionnement • Coût de la formation

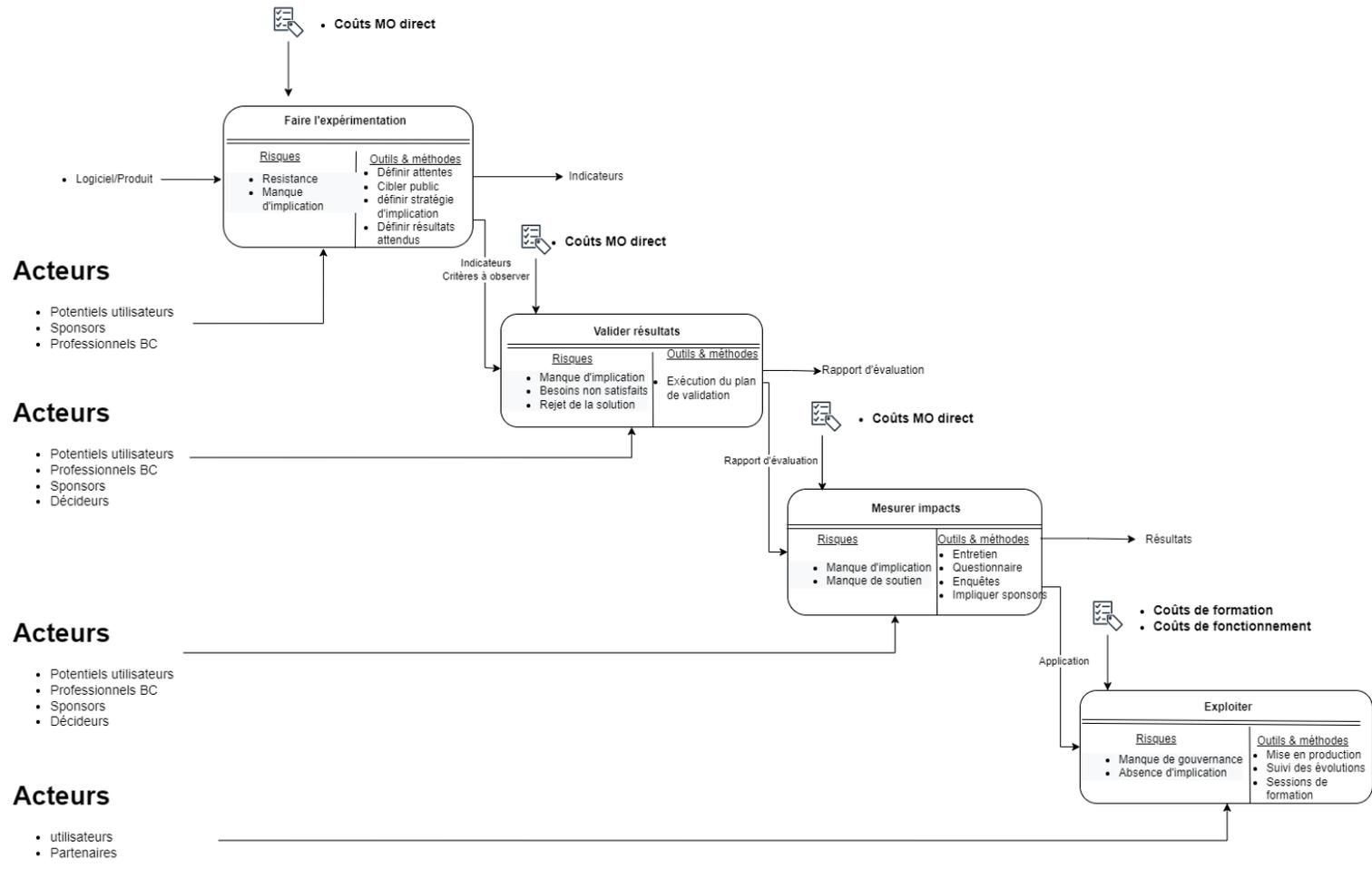


Figure 9: EVALUATION ET EXPLOITATION

- **Mauvaise évaluation des coûts.** Cette notion revient souvent et constitue l'un des risques majeurs dans un projet. En se basant sur la documentation, les problèmes de coût constituent 51% des causes d'échecs pendant un projet blockchain (Sanka, Irfan, Huang, & Cheung, 2021).
- Phase 2
 - **La résistance au changement** qui se manifeste chez un groupe dès lors qu'un changement est annoncé. Cette résistance qui peut être individuelle et parfois collective est liée à la personnalité, l'habitude, l'adaptation, etc.
 - **La mauvaise définition des contrats** avec les partenaires peut engendrer des risques dans l'organisation et la réussite du projet.
 - **Un mauvais choix des professionnels de la BC** en fonction de ses besoins et de ses capacités financières et techniques est aussi source de problèmes. Le choix d'un professionnel doit être réfléchi pour mieux gérer son projet.
 - **Une source de données défectueuse.** La donnée en tant que telle est généralement exposée à différents risques tels que la fraude, la perte, etc. Ceci est souvent lié au manque de traçabilité ou de transparence liées aux processus industriels.
 - **Une mauvaise définition du processus** altère le plus souvent la gestion efficace de la chaîne d'approvisionnement.
 - **L'omission de certains critères de sélection** pendant la phase d'analyse. Cette sélection de critères nous permet de trouver la démarche et le type de blockchain les plus adaptés par rapport au contexte et aux besoins exprimés.
 - **Évolutions imprévues** peuvent altérer la continuité d'une solution informatique.
- Phase 3
 - **Mauvaise estimation des durées** qui a un impact direct sur les livrables. Une sous-estimation de la durée est très coûteuse financièrement et risque de causer des surcoûts dans un projet et une insatisfaction du client.
 - **Contraintes sous estimées** pendant la phase d'analyse. Analyser et mesurer les contraintes à leur juste valeur sont des conditions sine qua none à la réussite d'un projet.
 - **Mauvaise modélisation** qui aboutira à une solution non conforme aux besoins des utilisateurs.

➤ Phase 4

- **Mauvais choix techniques** qui peuvent retarder le projet voire même causer son échec.
- **Documentation limitée.** Commun à toute nouvelle technologie, la documentation de la blockchain est très limitée malgré les nombreuses recherches et propositions. Il n'existe pas de cadre commun ou une règle universelle de pilotage.
- **Mauvaise méthode de développement** qui peut rapidement retarder la durée et même parfois être source d'échec. Une bonne méthode de développement est une condition sine qua none pour la réussite d'un projet.
- **Résultats incohérents** à l'issu des tests.
- **Dépassement des coûts et des délais** qui est le facteur principal des causes d'échecs des projets blockchain. La maîtrise financière est requise pour réussir un projet blockchain.
- **Technologie instable** commun à toute nouvelle technologie. Cette instabilité peut être source de problème et nécessite une suivie permanente.
- **Manque de contrôle**, d'où la difficulté de répondre aux questions relatives aux risques et à leur gestion.
- **Contraintes techniques** qui sont souvent présentes dans ces types de projet.
- **Responsabilités non situées** : sources de conflits et d'échecs.

➤ Phase 5

- **Manque d'implication** qui est un facteur humain très délicat. Ce problème est souvent causé par plusieurs facteurs en l'occurrence une mauvaise délimitation du projet, de mauvais choix, une absence de pilotage, etc. Le manque d'implication est presque un facteur commun à tout projet.
- **Besoins non satisfaits** qui peuvent être liés à plusieurs facteurs en l'occurrence l'échec du projet, la non-conformité entre la solution et les besoins, etc.
- **Rejet de la solution** si la solution ne répond pas aux besoins escomptés.

B. Les méthodes

En face de risques et de besoins à réaliser, s'impose une stratégie de gestion pour bien réussir son projet. Dans cette partie, l'objectif consiste à dresser une liste d'actions pour conduire chaque phase jusqu'à son aboutissement. Ces méthodes seront présentées dans le prochain chapitre.

C. Les acteurs

- Les partenaires sont des entités externes de l'entreprise impliquées dans le projet. Un partenariat est un moyen efficace pour atténuer les charges financières mais aussi gagner en termes d'expertise.
- Les décideurs ou dirigeants qui sont l'un des éléments centraux dans la réussite d'un projet. Ces derniers sont garant des décisions stratégiques et de la supervision du projet. La transformation des besoins clients en exigences afin de répartir les ressources et les tâches relève des compétences des dirigeants tout au long du projet.
- Les professionnels de la BC : ces derniers interviennent afin d'assurer la bonne conduite du projet. Pour rappel les projets blockchains stagnent dans les phases de développement et de tests à cause d'un ensemble de contraintes techniques et organisationnelles. Dans ce cas d'espèce ces professionnels s'assureront de la qualité et de la conformité de la solution technique proposée dans le respect des exigences.
- Les utilisateurs potentiels qui sont impliqués depuis la collecte et l'analyse des besoins. L'implication des clients finaux permettra de livrer une solution fiable qui répondra aux réels besoins.
- Les sponsors en interne et en externe qui peuvent financer le projet et le promouvoir.

4. Conclusions

Dans l'utilisation de toute nouvelle technologie, il y a toujours le besoin de maîtrise des processus de fonctionnement ainsi que la gestion efficace des flux d'informations qui y transitent dans le contexte de la gestion de données sensibles. La blockchain, tant réclamée dans plusieurs secteurs grâce à sa capacité de sécurisation et de traçabilité sur des données est toujours en phase d'expérimentation surtout dans le cadre des processus non financiers. Dans ce contexte, une méthodologie formalisée reste le moyen efficace pour assurer le maximum de certitudes pendant les opérations et au sein des équipes.

Nous avons présenté dans ce chapitre une nouvelle méthodologie de cycle de vie d'un projet blockchain. Cette démarche permettra aux entreprises d'assurer le bon déroulement d'un projet blockchain depuis la phase d'initialisation jusqu'à son exploitation. Comme présenté au chapitre 2, les risques d'échecs d'un projet blockchain sont innombrables suite aux nombres de projets déjà entamés qui n'ont jamais vu le jour. Face à cette situation, deux problématiques s'imposent à nous : Comment identifier les risques à chaque phase ? Et comment les prévenir ?

En nous focalisant sur cette optique, nous sommes parvenus à énumérer les différents risques encourus et un ensemble de méthodes à adopter pour les contenir. Ainsi, chaque phase est

détaillée, les ressources à utiliser sont listées ainsi que l'affectation des rôles aux acteurs concernés. Sans oublier la notion du coût qui est au cœur des débats pendant un projet blockchain, nous avons ainsi identifié les charges financières associées à chaque étape.

Cette proposition est donc une méthodologie constituée d'un cadre de gestion précis et ouvert aux changements pour permettre de réajuster rapidement le projet pour atténuer les risques en cas de mauvaises décisions. Cependant, le pilotage des étapes d'un projet blockchain est très important pour gérer toutes les phases depuis l'initialisation des besoins et assurer qu'elles atteignent bien leurs objectifs.

Chapitre 4 : Le pilotage de la blockchain avec la méthode GRAI

Table des matières

Chapitre 4 : Le pilotage de la blockchain avec la méthode GRAI	58
1. Introduction.....	59
2. Méthode GRAI : définition et fonctionnement	59
3. La Grille GRAI.....	60
A. La fonction << Gérer Initialisation & faisabilité >>	63
B. La fonction << Gérer la définition stratégique >>	66
C. La fonction << Gérer la Conception >>	68
D. La fonction << Gérer le développement >>.....	70
E. La fonction << Gérer l’Evaluation & l’exploitation >>.....	72
4. Conclusion	74

1. Introduction

La plupart des recherches se focalisent sur les apports de la blockchain dans des domaines différents mais peu s'intéressent sur les coûts de mise en œuvre de cette dernière encore moins sur leurs réductions (PricewaterhouseCoopers, 2017), (Kfoury, 2021), (Valeria, Vitaliia, Rostyslav, & Kateryna, 2022). Cependant il est clairement prouvé que le pilotage d'un projet BC est essentiel pour bien faire aboutir toutes les phases du projet de conception et d'implantation mais il est aussi important de piloter son exploitation de manière cohérente à sa conception. L'exploitation de la BC nécessite beaucoup de subtilités et une bonne gouvernance pour éviter des surcoûts et tirer profit de cette dernière. (Sanka, Irfan, Huang, & Cheung, 2021) ont conclu qu'un manque de pilotage peut constituer un goulot d'étranglement qui empêcherait d'atteindre les objectifs dans le long terme. En effet, avec sa qualité de « réseau sans confiance » les règles de pilotage restent un facteur de confiance qui reliera les différents utilisateurs et éventuellement les fournisseurs de services blockchain. Ces bonnes règles de pilotage sont directement traduites dans les démarches et la conception techniques pour au final assurer en plus de la performance, la sécurité, ou la fiabilité. Le travail effectué dans ce chapitre s'inscrit dans ce contexte qui est le pilotage d'un projet blockchain à l'aide de la méthode GRAI. Pour assurer ce pilotage, un tableau récapitulatif des différentes phases du pilotage est dressé avec différents niveaux de décisions selon les règles nécessaires à une bonne coordination des décisions.

2. Méthode GRAI : définition et fonctionnement

La méthode GRAI (Graphes à Résultats et Activités Interreliés) a été initiée par le laboratoire GRAI (Groupe de Recherche en Automatisation Intégrée) au début des années 80 puis son développement a perduré au sein du laboratoire IMS de Bordeaux. Son objectif principal est de concevoir le système de pilotage d'un système industriel produisant des biens ou des services. Doté d'une capacité décisionnelle puissante, la méthode GRAI apporte un réel atout dans l'optimisation de la performance de l'entreprise. Certains auteurs comme (Doumeingts & Ducq, 2001) se sont investis pour apporter plusieurs axes d'améliorations en l'occurrence :

- La recherche d'amélioration de la performance.
- La mise en place d'indicateurs de performances avec la méthode ECOGRAI.
- La définition d'une structure de gestion adéquate à l'entreprise
- La gestion des connaissances
- La modélisation des flux d'informations et décisionnels de l'entreprise
- La visualisation des dysfonctionnements pendant la phase d'analyse

3. La Grille GRAI

L'objectif de cette Grille est de proposer une aide au pilotage avec la proposition d'un ensemble de décisions selon trois plusieurs niveaux de décisions regroupées au sein de trois catégories :

- **Les décisions de nature stratégique**, dans lesquelles l'accent est mis sur les décisions fixant les objectifs globaux de l'organisation. Les tableaux de bord de ce niveau offrent une vision stratégique de l'entreprise et permettent aux acteurs de bien piloter à long voire très long termes. En général les décisions à ce niveau se focalisent sur les processus internes, les résultats financiers et la satisfaction des clients. La durée de l'horizon s'étend souvent sur plusieurs années.
- **Au niveau tactique**, les décisions prises sont à moyen terme et permettent de décider des moyens à mettre en œuvre pour atteindre la stratégie.
- **Au niveau opérationnel**, les décisions sont de court terme. A ce niveau, la gestion des moyens et du fonctionnement est assurée de manière hebdomadaire voire quotidienne. Grâce aux deux niveaux précédents, les grandes décisions et la planification sont déjà définies. Cette façon de faire permet de prendre des décisions opérationnelles en un temps réduit en réponse aux requêtes des clients de manière claire et en cohérence avec les niveaux stratégiques et tactiques.

La grille GRAI de la figure 5 ci-dessous représente une liste de décisions adaptées de l'initialisation d'un projet blockchain jusqu'à son exploitation. Il est important de noter la colonne d'informations externes qui fait partie intégrante de la grille GRAI et qui montre les liens entre le projet de BC et son environnement. Ces informations sont très importantes et sont souvent prises en compte par l'entreprise lors de sa stratégie sur le marché mais aussi dans le fonctionnement interne. On peut citer à titre d'exemple la concurrence, les exigences des clients, les évolutions technologiques, etc.

De la même manière, la colonne information internes à droite de la grille contient les principales informations nécessaires à la prise de décision et provenant du système piloté, c'est à dire du projet de BC. C'est la boucle de retour du pilotage.

Cette grille GRAI ne fait volontairement pas apparaître les liens entre les décisions, que ce soient des cadres de décision ou des liens informationnels pour se concentrer sur les

décisions. Ainsi, ce modèle de référence peut ensuite être personnalisé en fonction de la manière dont le chef de projet souhaite que les décisions soient coordonnées.

Figure 6: Grille GRAI de Blockchain

Etapes	Infos Ext	Gérer Initialisation & faisabilité	Gérer la définition stratégique	Gérer la Conception	Gérer le Développement	Gérer l'Évaluation & l'exploitation	Infos Int
Décision							
Stratégique H=2 ans (horizon du projet) P=1 mois	<ul style="list-style-type: none"> Concurrence Enjeux écologiques 	<ul style="list-style-type: none"> Décider du GO / NOGO Définir le macro planning Définir le type de BC (publique/privée) Identifier les partenaires les plus intéressants Définir première liste partenaires Etablir un plan d'approvisionnement (liste de critères) pour les professionnels BC Anticiper le comportement des futurs utilisateurs (Combalbert, 2018) Définir un plan de prévention des crises (CCIM 2020) Définir le risque économique 	<ul style="list-style-type: none"> Décider du GO / NOGO Définir les règles de conduite du projet Choisir le professionnel BC donnant les meilleures garanties par rapport aux besoins Identifier les investissements (ASLOG.Ch.1.10) Définir les contrats avec les partenaires Intégrer les contraintes techniques et humaines 	<ul style="list-style-type: none"> Définir les exigences Etablir un plan de test Définir la stratégie de développement Définir un plan qualité des livrables Découper le projet (livrables) Classer les processus par priorité Définir le cycle de vie du projet 	<ul style="list-style-type: none"> Investir en ressources matérielles et humaines Créer/Améliorer les compétences internes en vue des futures évolutions Gérer le temps de développement Définir une solution alternative en cas de panne (stocker les transaction si BC en panne) 	<ul style="list-style-type: none"> Définir un plan de collecte d'avis des futurs utilisateurs Définir les Indicateurs de perf. Définir Stratégie d'exploitation Définir Stratégie d'évaluation 	<ul style="list-style-type: none"> Outil traditionnel : problème d'évolution/Besoin d'innovation Migration vers les NTIC Besoin d'optimisation des processus Besoin d'assurer l'interopérabilité avec l'extérieur Anticipation Démarches Qualité
Tactique H=2 mois P=1 semaine	<ul style="list-style-type: none"> Exigences clients Evolution du marché Evolutions technologiques 	<ul style="list-style-type: none"> Définir/ analyser la nature et les sources des crises Sélectionner les partenaires proches ou éloignés Etablir un plan de gestion des crises Planification des activités sous-traitées Equilibrer les ressources à fournir avec les exigences des futurs utilisateurs Définir un plan projet (prévisionnel) Choisir le professionnel BC donnant les meilleures garanties Définir clairement les besoins 	<ul style="list-style-type: none"> Gérer les sources de données Adopter les pratiques de management équipes. (ASLOG.Ch.1.4.9) Mettre en place une cellule de crise (VAN2015/Hafyane2012) Définir un plan de changement tactique Partager les besoins projet avec les différentes parties 	<ul style="list-style-type: none"> Découper le projet Définir un Plan de changement fonctionnel Adopter une méthode de développement Choisir les outils à utiliser Déterminer les priorités 	<ul style="list-style-type: none"> Etablir des formations techniques Définir un cadre de développement projet (un local, ordinateurs, serveurs, etc.) Définir un plan de stockage secondaire des transactions en cas d'indisponibilité de la BC Etablir un plan d'ordonnement des transactions pour un même utilisateur Définir un Plan de changement technique 	<ul style="list-style-type: none"> Définir un plan de formation des utilisateurs Faire des Simulations de tests Gérer les retours des utilisateurs (avis, suggestions) Définir un plan pour l'évolution de la technologie 	<ul style="list-style-type: none"> Avis/suggestions clients
Opérationnel H=2 semaines P= 1 jour		<ul style="list-style-type: none"> Organiser des workshops Définir le POC Etudier la pertinence économique 	<ul style="list-style-type: none"> Etablir un plan d'action Gérer les réticences Convaincre par la pratique (simulation, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> Elaborer la documentation Etablir le bilan des contraintes Fiabiliser les tests 	<ul style="list-style-type: none"> QRQC Documentation 	<ul style="list-style-type: none"> Contrôles (ISO 9001) Gestion des non conformités (ISO9001.10.2) Formation utilisateurs Audit qualité (ISO9001.9.2) 	

pilotage d'un projet de

A. La fonction << Gérer Initialisation & faisabilité>>

➤ Les décisions stratégiques retenues

- **Décider du GO / NOGO** : L'étude d'un projet est une étape importante dans tous secteurs et nécessite un travail sérieux pour éviter tous problèmes liés à sa faisabilité (même si le risque zéro n'existe pas). Comme n'importe quelle nouvelle technologie, la blockchain a fait l'objet de plusieurs expérimentations à travers des théories, POC, ou Normalisations. Cependant, réaliser la faisabilité technique est une chose mais assurer la tenue complète d'un projet et s'assurer de son exploitation est différent et la blockchain n'est pas une exception à la règle. En effet la notion du coût élevé de cette technologie a causé l'échec de plusieurs projets si on se réfère à la documentation existante (Sanka, Irfan, Huang, & Cheung, 2021). Face à cette situation, une aide à la décision devient une nécessité pour permettre de s'auto évaluer afin de mesurer sa capacité de tenir un projet blockchain. Pour décider de lancer ou pas un projet de BC, de nombreuses informations doivent être collectées et analysées avant de prendre la décision.
- **Définir le macro planning** : Tout projet a besoin d'organisation et de pilotage. Cette planification reste une étape importante car permet de représenter les grandes étapes d'un projet.
- **Définir le type de blockchain** : Les solutions blockchain diffèrent selon leur mode de fonctionnement. Il est très important de prendre le temps d'examiner le genre de technologie (BC publique ou BC privée) à choisir pour bien réussir son projet.
- **Identifier les partenaires les plus intéressants** : Il est important de cibler des partenaires afin d'envisager de futures collaborations. Ces partenaires peuvent être des fournisseurs, des experts, etc. Le partenariat doit leur permettre de s'accorder sur des règles établies dans un système bien défini. Cependant il faut noter qu'il n'y a pas de bon ou de mauvais partenaire : certains sont adaptés et d'autres ne le sont pas selon les types et les complexités des projets. Sur ce plan, il est nettement important de s'assurer de la capacité et de l'adaptation de ses partenaires pour un projet blockchain. Cependant, la blockchain souffre énormément d'incompréhensions et il est donc nécessaire d'enlever ce flou qui peut s'installer depuis le départ.

- **Définir première liste des partenaires :** Cette partie est très importante et mérite autant de temps et d'attentions pour pouvoir collaborer avec des partenaires. Le budget d'un projet blockchain est conséquent et entretenir une collaboration pourrait garantir l'amortissement des charges financières, et une valeur ajoutée en termes de savoir-faire.
 - **Etablir un plan d'approvisionnement pour les professionnels de la BC :** ceci permet à l'entreprise de sélectionner une liste de prestataires. Avec l'état de maturité de la blockchain et ses contraintes techniques constatées, le choix d'un professionnel permet de contourner ces problèmes en assurant la réalisation des parties les plus techniques.
 - **Anticiper le comportement des futurs utilisateurs :** Cette technique consiste à prévoir tout au long du projet d'éventuelles crises. Face à cette situation, un ensemble de moyens seront déployés pour analyser et améliorer les processus.
 - **Définir un plan de prévention des crises :** Il est important de noter que « prévoir » veut dire « anticiper » d'où la nécessité de mettre en place des stratégies de gestion de crises (avec des scénarios et contextes différents) pour faire face à tout type d'incidents imprévus.
 - **Définir le risque économique :** L'entreprise, par rapport à ses prévisions établies doit mesurer le degré d'incertitude du projet. Ce risque n'est pas négligeable car peut avoir un impact sur le résultat final. Autrement dit la mesure de ce risque influe sur les efforts et les différentes voies de contournement pour bien gérer le projet afin de mieux se protéger.
- Les décisions tactiques retenues
- **Définir/ analyser la nature et les sources des crises :** Il est nécessaire d'anticiper les éventuelles crises en les répertoriant par nature et/ou par source. Les résultats de ce travail doivent être suivis par l'évaluation des risques et la mise en œuvre de mesures de prévention ou de protection de ces crises.
 - **Sélectionner les partenaires proches ou éloignés :** pour permettre de définir un plan bien spécifique d'échanges et d'interactions. Cette décision a pour objectif de rencontrer l'ensemble des partenaires avant le début du projet afin de mesurer leurs motivations.
 - **Etablir un plan de gestion des crises :** Grâce à la l'analyse sur la nature des crises, toutes les parties de risques de crises restent identifiées. A partir de cela,

des ressources humaines et matérielles seront déployées pour anticiper et gérer toute forme de risque impactant directement sur le projet.

- **Planification des activités sous-traitées** : pour éviter tout risque lié aux contraintes techniques, la sous-traitance permet de déléguer les tâches les plus techniques à un professionnel en la matière. A ce niveau, il est important de miser sur des prestataires réactifs et capables de s'adapter rapidement.
 - **Equilibrer les ressources à fournir avec les exigences des futurs utilisateurs**: La finalité de toute solution technologique reste son utilisation par les utilisateurs ciblés. Pour ce faire, il faut s'ouvrir aux changements afin de s'adapter à leurs exigences.
 - **Définir un plan projet (prévisionnel)** : Le projet doit être structuré, les responsabilités désignées et les jalons fixés. Ce plan nous donne une idée sur la durée du projet et le niveau de responsabilité des différents intervenants.
 - **Choisir le professionnel BC donnant les meilleures garanties** : Ce choix peut reposer sur plusieurs critères en l'occurrence les obligations de résultats, l'aspect financier, la durée, le suivi, la proximité géographique, etc.
 - **Définir clairement les besoins** : la définition des besoins consiste à énumérer toutes les attentes et exigences des futurs utilisateurs. A partir de cela, la structure du projet peut être définie ainsi que les priorités. Cet exercice met tout le monde au même niveau d'information et facilite la communication entre les parties prenantes et assure le consensus final. Dans tout projet, l'incertitude est au rendez-vous mais la logique voudrait qu'elle ne dépasse un certain niveau. Avec cette démarche, le partenaire pourrait avoir une idée de la valeur ajoutée que peut apporter le projet en question.
- Les décisions opérationnelles retenues
- **Organiser des workshops** : Pour faciliter la communication et la collaboration sur les idées et les décisions. Au cours de ces ateliers, plusieurs idées peuvent émerger ainsi que plusieurs axes de réflexions. Durant ces rencontres plusieurs questions doivent être évacuées en l'occurrence la différence entre bitcoin et la BC. Le bitcoin est une cryptomonnaie alors que la blockchain est une technologie. « La technologie de la transparence souffre d'un paradoxe : dépeinte comme obscure alors qu'elle est censée être claire. La blockchain reste largement incomprise au-delà des débats d'experts » (Della Chiesa, Hialt, & Tequi, 2018, p. 10). Cette confusion en défaveur de la blockchain doit être le

premier élément à éviter. Ceci permettrait de reconsidérer cette techno à sa juste valeur en l'occurrence ses avantages et ses défis à relever. Cette compréhension face à un décideur ou un potentiel partenaire constitue un élément central dans cet exercice.

- **Définir le POC** : Un « POC » est l'acronyme anglais signifiant « proof of concept » qui est utilisé durant les projets pour démontrer la faisabilité d'un besoin. A l'issue de cette activité, l'entreprise peut se fixer sur plusieurs questionnements quant à la décision de continuer le projet ou de l'arrêter.
- **Etudier la pertinence économique** : pour lister tous les avantages économiques que l'entreprise gagnera sur le projet. Cette étude est réalisée en amont de tout projet et se base sur les résultats d'analyses qui sont à disposition d'où la nécessité d'être rigoureux sur toutes les phases d'études et d'analyses.

B. La fonction << Gérer la définition stratégique>>

➤ Les décisions stratégiques retenues

- **Décider du GO / NOGO** : A l'issue de l'analyse de faisabilité, l'ultime décision de s'engager au projet s'impose. En même temps l'entreprise a la possibilité de se réadapter et de s'ouvrir à un certain nombre de réajustements en fonctions des contraintes identifiées pendant la phase d'analyse.
- **Définir les règles de conduite du projet** : L'entreprise produit un document établissant les différentes règles de conduite. Celles-ci doivent être pensées et contextualisées par rapport à la situation du moment. En plus, il est important d'identifier les risques encourus en cas de leur non-respect afin d'éviter toute forme de litige.
- **Choisir le professionnel BC donnant les meilleures garanties par rapport aux besoins** : Nous constatons un intérêt capital de l'approvisionnement des meilleures solutions au niveau décisionnel. Il permet à l'entreprise d'avoir un large choix avec la possibilité de s'associer avec le professionnel le plus adapté à ses besoins.
- **Identifier les investissements** : L'investissement est stratégique et favorise les flux financiers et non financiers. Il est indispensable de les cartographier les avantages et les inconvénients avant de se lancer.
- **Définir un contrat avec les partenaires** : les contrats de partenariat permettent de définir les contours de la collaboration et les niveaux de responsabilité des

différentes parties prenantes. Ce document acte une alliance en termes de ressources diverses pour réussir un projet.

- **Intégrer les contraintes techniques et humaines.** Les différentes phases d'analyse permettent d'identifier les principales contraintes tant sur le plan humain que technique. Les intégrer dans le projet permet de se préparer à des solutions de contournement.

➤ Les décisions tactiques retenues

- **Gérer les sources de données :** l'origine et la nature des informations restent une préoccupation majeure et peuvent rendre inefficace la fonction d'une blockchain. Même si après validation des données la sécurité des données est assurée, si la source, de base, n'est pas fiable les blocs de données ne le seront pas car l'information de base n'est pas bonne. Une stratégie définie en partie sur des prévisions fausses entrainera forcément des réajustements ou des résultats insatisfaisants dans une entreprise même si ces informations proviennent directement de la blockchain.
- **Adopter les pratiques de management en équipes :** L'évolution d'une équipe repose sur le management de cette dernière. En plus du profilage en fonction des compétences dont on a besoin au sein de l'équipe, le chef d'équipe est tenu à accompagner toutes les phases et s'assurer du bon fonctionnement de son groupe.
- **Mettre en place une cellule de crise.** En cas de conflit, il faut un responsable pour trancher. En temps de crise, cette cellule de crise, composée de plusieurs profils, est tenue de manager la situation afin de surmonter les difficultés rencontrées et de définir les moyens à mettre en œuvre pour limiter voire juguler la crise.
- **Définir un plan de changement tactique.** Si on expérimente une nouvelle technologie, il est recommandé de s'être préparé à toutes éventualités. Avec le plan de changement tactique, l'entreprise met en place une nouvelle tactique afin de mettre en place de nouveaux moyens pour accompagner l'équipe projet aux changements du client.
- **Partager les besoins projet avec les différentes parties.** Au cours du projet, l'information doit circuler. Les retentions d'informations peuvent être sources

de conflits et/ou d'incohérences entre les parties. S'informer en permanence les uns des autres facilite le partage de connaissances et une collaboration pérenne.

➤ Les décisions opérationnelles retenues

- **Etablir un plan d'actions** : La mise en place d'une cellule de crise permet d'établir les actions nécessaires pour dépasser et éviter à nouveau les mêmes crises. Pendant la gestion de la crise, il est primordial de s'attaquer à la source du problème afin d'y remédier définitivement.
- **Gérer les réticences**. Face à tout changement, la réticence est souvent au rendez-vous. Faire sortir les futurs utilisateurs de leur zone de confort en les incitant à changer de comportement ou d'utiliser de nouvelles solutions demeure difficile. Il est nécessaire d'assurer et de convaincre ces derniers pour gagner leur confiance en leur montrant des succès stories et en les formant aux nouveaux outils.
- **Convaincre par la pratique (simulation, etc.)** pour conforter l'utilisateur rapidement à l'exercice. L'avantage premier de ces « travaux pratiques » est l'implication de l'utilisateur et la démonstration que la BC lui assure un service meilleur.

C. La fonction << Gérer la Conception >>

➤ Les décisions stratégiques retenues

- **Définir les exigences**. Après la récolte de tous les besoins, il est impératif de les transformer en besoins fonctionnels. Ceci doit nous permettre de bien définir les offres et services que le produit final a à offrir et pour quels processus.
- **Etablir un plan de test**. Ce plan décrit de manière explicite l'objectif de chaque test et la finalité attendue. Le plus souvent l'objectif visé dans ces tests reste le respect des normes, la qualité des services proposés, et la concordance entre les livrables et les besoins de départ. Ce plan résume les caractéristiques à tester ainsi que l'environnement dans lequel ces tests sont effectués.
- **Définir la stratégie de développement** : Il est nécessaire de passer des spécifications fonctionnelles à celles techniques.
- **Définir un plan qualité des livrables** : L'objectif est de vérifier que les livrables respectent le contenu prévu, qu'ils sont bien documentés et bien rédigés

et qu'ils peuvent être utilisés par les personnes prévues, tant d'un point de vue forme (vocabulaire) que d'un point de vue fond.

- **Découper le projet (livrables)** : Plus le projet est large plus les problèmes risquent de surgir à tout moment. Le découpage du projet permet de mieux maîtriser l'avancement de celui-ci et de travailler sur des tâches faciles à appréhender en termes d'objectifs, de ressources, de date de début et de fin, de durée et de coût. En effet, les équipes s'attaquent ainsi à un certain nombre de tâches bien définies permettant ainsi une progression efficace dans les livrables.
- **Classer les processus par priorité** : La maîtrise est fondamentale dans un projet pour espérer sa réussite. La priorisation des processus ou des livrables dépend de l'urgence de certaines fonctions attendues et/ou d'autres aspects opérationnels et techniques mais reste un élément essentiel pour optimiser le projet en termes de temps et d'efficacité.

➤ Les décisions tactiques retenues

- **Définir le cycle de vie du projet** : L'objectif est ici de définir les différentes étapes du cycle de vie du projet sur la base de la méthode définie dans le chapitre précédent.
- **Définir un Plan de changement fonctionnel** : L'ouverture aux changements reste le meilleur moyen de réajustement en temps de projet. Au fur et à mesure de l'évolution du projet, les besoins peuvent aussi évoluer ce qui peut influencer directement sur les fonctionnalités d'où l'importance d'un plan de changement fonctionnel pour atténuer les risques.
- **Adopter une méthode de développement** : pour mieux assurer l'organisation ainsi que la planification et l'affectation des tâches, il est nécessaire de choisir une méthodologie en fonction de son adaptabilité au projet.
- **Choisir les outils à utiliser**. L'avantage est la minimisation de la perte de temps. Ce choix permettra aux collaborateurs de se familiariser avec ces derniers en fonction des tâches et équipes.
- **Déterminer les priorités** pour mieux optimiser son temps et son organisation. Cette priorisation peut se baser sur le critère de « temps d'exécution » ou même « d'effort en termes de coût », ou « du nombre de personnels requis ». L'impact sur le résultat final est aussi souvent utilisé comme critère de priorisation car il constitue le plus souvent une source de motivation.

- Les décisions opérationnelles retenues
 - **Elaborer la documentation** pour assurer la sécurité et le partage d'information avec qui de droit afin d'éviter tous types de pertes. Cette documentation fait partie des normes de transparence et d'évolutivité.
 - **Etablir le bilan des contraintes** sous deux angles : D'abord considérer les contraintes anticipées au départ, et évaluer l'efficacité des méthodes utilisées pour les contourner. Ensuite faire le bilan des contraintes non établies au départ afin de les inclure dans les éventuelles causes à risque. Dans les deux cas, il est important de faire le bilan des impacts sur le projet de tous ces problèmes.
 - **Fiabiliser les tests : Cette fiabilisation est nécessaire** pour s'assurer du bon fonctionnement de tous les services. Cette fiabilisation évite tous problèmes inattendus (ce qui peut être couteux et source de réticence).

D. La fonction <<Gérer le développement>>

- Les décisions stratégiques retenues
 - **Investir en ressources matérielles et humaines** à travers des formations, l'acquisition de nouveaux équipements de dernière génération, **etc.**
 - **Créer/améliorer les compétences internes en vue des futures évolutions** techniques. Cela permet la mise à jour des compétences sur les progrès technologiques. En effet, cet exercice a d'autant d'importance pendant le projet qu'après afin d'assurer l'acquisition de compétences et une compétitivité sur le marché.
 - **Gérer le temps de réponse** pour atténuer au maximum l'attente de l'utilisateur. La blockchain est réputée avoir un temps de latence assez long à cause de son mécanisme cryptographique.
 - **Définir une solution alternative en cas de panne.** Il est important de prévoir un moyen de réception des requêtes utilisateurs en cas d'inactivité de la blockchain. Souvent appelé plan de continuité d'activité, l'objectif dans ce contexte consistera à trouver une solution qui gardera en mémoire toutes les transactions émises pendant que la BC est en panne et les enverra à celle-ci une fois son fonctionnement rétabli.

➤ Les décisions tactiques retenues

- **Etablir des formations techniques** pour motiver davantage les acteurs internes participant au projet. Ces formations sont des sources d'engagement car elles offrent de nouvelles compétences techniques à moyen terme.
- **Définir un cadre de développement projet.** Ce cadre est important pour créer l'ambiance idéale de collaboration entre les parties prenantes. Ce cadre, nécessitant souvent un investissement matériel mettra toute l'équipe projet dans les conditions nécessaires pour mener à bien les différentes phases.
- **Définir un plan de stockage secondaire des transactions en cas d'indisponibilité de la BC :** par le biais d'une base de données, on pourra stocker toutes les transactions. Sous la forme d'une requête REST chaque transaction comportera toutes les infos nécessaires pour sa validation au sein de la blockchain en l'occurrence l'identifiant de l'émetteur, l'opération à effectuer, etc.
- **Etablir un plan d'ordonnancement des transactions pour un même utilisateur :** la perception de l'utilisateur est importante. La blockchain est réputée pour avoir un temps réponse un peu long en fonction du nombre de transactions, des vérifications ainsi que la charge de travail requis. Cependant, il est important d'assurer la gestion des transactions avec une politique bien définie (celle du FIFO par exemple).
- **Définir un Plan de changement technique.** Avec l'utilisation de la méthode agile lors d'un projet, le changement est souvent au rendez-vous tant sur le plan organisationnel que technique. Ce plan de changement technique évaluera l'impact d'un éventuel changement de technologie et la manière de procéder. En effet, ce document résumera les raisons du changement, sa portée, l'équipe concernée et les responsabilités de chaque acteur. Il est aussi important d'assurer la communication afin de convaincre toute l'équipe.

➤ Les décisions opérationnelles retenues

- **QRQC (Quick Response Quality Control) :** permettant une structuration et un management au quotidien. Cette démarche permet une résolution quotidienne des problèmes rencontrés et une autonomie de toutes les parties prenantes du projet. L'idée consiste à documenter et à divulguer à tous les acteurs impliqués les démarches utilisées pour résoudre les problèmes qui surgissent en cours du

projet. Ces problèmes, qui ne sont pas été décrits ou anticipés au départ, nécessitent des solutions curatives.

- **Documentation** : pour le contrôle qualité, la documentation technique reste un élément central. Grâce à cette traçabilité, la documentation facilite aussi les futures évolutions du projet.

E. La fonction << Gérer l'Évaluation & l'exploitation >>

➤ Les décisions stratégiques retenues

- **Définir les indicateurs de performance** pour quantifier les résultats de manière factuelle. La pertinence des démarches adoptées ne peut être justifiée que si les études et besoins d'améliorations ont été définis au départ. Autrement dit, il est nécessaire de lister les points à améliorer pour pouvoir mesurer les résultats obtenus afin d'en juger sa pertinence.
- **Définir la stratégie d'exploitation** pour anticiper les évolutions et les risques afin d'exploiter la BC de manière optimale.
- **Définir Stratégie d'évaluation** en mettant en place un ensemble d'outils et de méthodes pour juger de la concordance entre les besoins utilisateurs et les résultats finaux. Cette stratégie regroupe les points phares à évaluer, à des moments bien définis du projet avec des méthodes définies au départ.

➤ Les décisions tactiques retenues

- **Définir un plan de formation des utilisateurs** pour établir la liste des formations à mener. L'objectif est de dresser des actions qui permettraient aux futurs utilisateurs de bénéficier d'accompagnements et de supports.
- **Faire des Simulations** pour s'assurer de la conformité des services proposés. Cet exercice permettra de tester, avec des moyens conformes, la concordance du résultat final et des spécifications de départ. A l'issue de cette simulation, plusieurs décisions peuvent en découler notamment le rejet, l'acceptation ou l'amélioration de la BC.
- **Gérer les retours des utilisateurs.** La partie la plus importante après la réalisation de son projet est son utilisation par ses clients. Grâce à une stratégie d'évaluation à travers des questionnaires, réunions, ... plusieurs erreurs pourront être corrigées.

- **Définir un plan pour l'évolution de la technologie.** Naturellement, le monde technologique évolue et les langages se renouvellent à travers des versions toujours améliorées. Les débuts de la blockchain se limitaient au domaine de la finance à travers les transactions financières. Au fil du temps, elle s'est ouverte à d'autres domaines grâce à sa nouvelle version avec les Smart Contracts. Réputée d'être immature jusque-là en tant que nouvelle technologie, prévoir un plan pour ses futures évolutions devient légitime pour pouvoir assurer les transitions.

- Les décisions opérationnelles retenues
 - **Contrôles (ISO 9001).** Cette norme s'inscrit dans la logique de conformité entre les besoins et le résultat final. Selon cette dernière, toute entité doit définir à des moments précis un ensemble de vérifications afin de s'assurer de la concordance entre le cahier des charges et les résultats obtenus.
 - **Gestion des non conformités (ISO9001.10.2).** Pour un projet donné, le risque zéro n'existe pas. Lors d'un projet Blockchain, les tests sont importants car ils permettent de déceler tous ces types de problèmes. En cohérence avec le chapitre 10.2 de l'ISO 9001 une démarche écrite doit lister les types de tests à réaliser ainsi que les responsabilités.
 - **Formation utilisateurs.** Cette formation confrontera directement l'utilisateur et la blockchain implantée. L'idée principale consiste à familiariser ce dernier à découvrir tous les services qui lui sont dédiés et à maîtriser les protocoles de son utilisation. Ces formations peuvent être sous différents formats en l'occurrence le e-learning, MOOC, en présentiel, SPOC, etc.
 - **Audit qualité (ISO9001.9.2).** Améliorer les processus internes n'est jamais de trop. Avec le temps, on a tendance à constater un délaissement des bonnes pratiques et des règles. L'audit qualité s'assure du respect de la réglementation interne et de la bonne information à tous les niveaux pour éviter toute déconnexion.

4. Conclusion

Dans un contexte de mondialisation et de partage d'information, la SC est amenée à assurer la gestion d'une multitude de processus à la fois internes et externes. Dans ce contexte, les flux informationnels augmentent et l'entreprise est confrontée aux besoins de gestion de ces informations qui ont une valeur stratégique et économique.

Comme depuis son émergence la technologie blockchain a conquis de nombreux secteurs par sa capacité à répondre à de nombreux défis. A côté de cet enthousiasme, la réalité a montré qu'il y a encore beaucoup de chemin à parcourir pour implanter et exploiter au mieux le potentiel de cette technologie. En étant optimiste et en se basant sur des projets réussis, nous pouvons défendre l'idée que cette technologie pourrait, comme toute nouvelle technologie, contribuer aux défis actuels avec l'amélioration de sa maturité. C'est dans cette optique qu'une méthodologie de développement a été proposée dans le chapitre précédent pour représenter toutes les phases accompagnées des risques et acteurs associés. Mais pour un fonctionnement abouti, il est nécessaire que chaque phase soit correctement pilotée. Pour accompagner le pilotage de cette méthodologie, on s'est appuyé de la méthode GRAI en proposant une grille de référence des décisions de pilotage pour chaque phase et à chaque niveau décisionnel : Stratégique, tactique et opérationnel. Cependant, nous insistons sur le fait que ce modèle de référence n'impose pas de retenir absolument toutes les décisions proposées mais constitue un guide pour les décisions à mettre en œuvre.

Ce chapitre vise à montrer la nécessité d'adopter une méthode de pilotage pour exploiter la technologie blockchain. Pour s'évaluer par rapport aux différentes propositions relatives dans ce chapitre, l'utilisation d'indicateurs de performance serait un bon outil. Cet exercice nous permettra de bien mesurer l'impact des actions entreprises mais aussi d'ajuster les points présentant un résultat défavorable. En plus de ces indicateurs de performances, des outils d'aide à la décision seraient des outils très efficaces pour s'encadrer lors des prises de décisions. C'est ce que nous proposons dans le prochain chapitre.

Chapitre 5 : Evaluation de la performance et déploiement d'outils d'aide à la décision

Table des matières

Chapitre 5 : Evaluation de la performance et déploiement d'outils d'aide à la décision	75
1. Introduction.....	77
2. Les indicateurs de coûts et de délai	77
A. Choix des indicateurs	78
B. Conclusion	79
3. La méthode ABCD.....	82
A. Introduction.....	82
B. Les principaux inducteurs de risque.....	82
C. Les opportunités de réduction	86
D. Conclusion	89
4. Déploiement d'outils d'aides à la décision.....	91
A. Aide à la décision « GO/NOGO » basée sur le critère financier	91
B. Introduction.....	91
C. Travaux initiaux	91
D. Solution proposée	93
E. Application.....	98
F. Conclusion	99
5. Aide à la décision « Blockchain privée vs Blockchain publique ».....	100
A. Introduction.....	100
B. Travaux initiaux	100
C. MODULE D'AIDE À LA DÉCISION POUR LE CHOIX D'UNE BLOCKCHAIN PRIVÉE OU PUBLIQUE 102	
D. Application.....	111
E. Conclusion	116
6. Gestion Risques	116
A. Introduction.....	116
B. Modélisation.....	117
C. La gestion des coûts	120
D. La gestion des délais.....	121
E. Application.....	121

F. Conclusion	133
7. Conclusion	135

1. Introduction

Dans les deux précédents chapitres nous nous étions focalisés sur la démarche de projet et la modélisation décisionnelle. Le pilotage en tant que tel s'est focalisé sur l'accompagnement de cette démarche et une répartition des décisions à court, moyen et long terme. L'objectif de ce chapitre est de continuer sur cette logique de suivi et de pilotage. Ce travail mettra l'accent en premier sur une évaluation des décisions sur lesquelles on s'est appuyé dans la grille GRAI à travers des indicateurs de performances de coûts et de délais. Ces indicateurs ou KPI ont été pensés et sélectionnés en cohérence avec notre démarche afin d'évaluer objectivement sa pertinence. Deuxièmement une nouvelle méthode ABCD sera introduite. L'objectif de cette méthode sera d'identifier spécifiquement les inducteurs ou risques de coûts et de délais et les possibilités de réduction à chaque étape. La dernière partie de ce chapitre sera consacrée au développement d'outils d'aide à la décision pour deux décisions de la Grille GRAI présentée précédemment.

2. Les indicateurs de coûts et de délai

« Un Indicateur de performance est une donnée quantifiée, qui mesure l'efficacité ou l'efficience de tout ou partie d'un processus ou d'un système, par rapport à une norme, un plan ou un objectif déterminé et accepté, dans le cadre d'une stratégie d'entreprise » (CLIVILLE 2004).

L'utilisation d'indicateurs de performance reste un moyen efficace d'évaluer l'efficacité des décisions prises lors de la gestion d'un projet. De plus, ces indicateurs offrent une vision précise et synthétique qui permet aux décideurs d'avoir une indication claire du succès ou de l'échec. Après les décisions prises dans la grille GRAI dans le chapitre 4, l'objectif de cette section est de proposer une liste d'indicateurs de performance pour chaque phase de la méthodologie proposée (de l'initialisation à l'exploitation). Avec l'évolution du marché et les multiples risques liés à la concurrence et aux exigences des clients, la performance n'est plus basée uniquement sur le critère financier. On voit de plus en plus des modèles de mesure de la performance qui prennent en compte d'autres aspects non financiers internes et externes comme décrit par (Kaplan & Norton, 2001) où les acteurs se basent sur la mise en relation des objectifs et des stratégies de l'entreprise pour calculer les indicateurs de performance. Dans ce document, la notion de coûts et de délais a été mise en avant pour proposer une série d'indicateurs de performance qui permettraient de mesurer correctement les résultats des décisions relatives au projet de BC. La maîtrise des coûts et des délais est une condition sine qua non de la réussite d'un projet blockchain car il a été révélé dans plusieurs enquêtes que ces derniers constituent un véritable goulot d'étranglement (Sanka, Irfan, Huang, & Cheung, 2021).

L'évaluation de la performance évolue et ses définitions sont variées. Selon les contextes et le temps plusieurs formulations ont été proposées en fonction de l'angle considéré. Selon (A.BOURGUIGNON, 1997) « la performance désigne la réalisation des objectifs organisationnels, quelles que soient la nature et la variété de ces objectifs. Cette réalisation peut se comprendre au sens strict (résultat, aboutissement) ou au sens large du processus qui mène au résultat (action). La performance est multidimensionnelle, à l'image des buts organisationnels ; elle est subjective et dépend des référents choisis ». L'AFNOR la considère comme « une donnée quantifiée, qui mesure l'efficacité ou l'efficience de tout ou partie d'un processus ou d'un système, par rapport à une norme, un plan ou un objectif déterminé et accepté, dans le cadre d'une stratégie d'entreprise ».

Dans un contexte traditionnel de BC les indicateurs de performance se limitaient souvent aux aspects financiers avec la quantification des coûts de projet et des coûts d'exploitation. Plus largement maintenant dans le contexte de la SC et des travaux menés depuis les années 80 par R. Kaplan et D. Norton, d'autres critères d'évaluation sont obligatoires à prendre en compte sous la pression des clients. En effet, la notion du coût ne suffit plus pour s'évaluer. Par exemple (Fatma Lehyani, 2016) évoque le critère de l'agilité comme partie intégrante dans l'évaluation de la performance. (Berrah, 2002) a mis l'accent sur la flexibilité, les compétences, les délais, ou l'impact écologique, et actuellement la notion du temps est une condition primordiale pour satisfaire sa clientèle.

A. Choix des indicateurs

En matière d'évaluation de la performance multicritères, l'indicateur de performance constitue maintenant une solution incontournable. Quel que soit la situation à mesurer l'objectif qui est derrière et de pouvoir évaluer les résultats obtenus par rapport aux besoins établis au départ. La consolidation et la synthèse de toutes ces informations permettent de maintenir et d'améliorer la ligne directrice suivie ou dans le cas contraire d'effectuer une réévaluation des objectifs tout en réajustement les méthodes et moyens mises en œuvre. Tels sont les propos de (Berrah, 2002) « On ne mesure pas pour mesurer, mais pour vérifier (évaluer). Cette vérification n'est pas non plus une fin en soi mais seulement une aide à la réaction, c'est-à-dire le pilotage ».

Cependant, il faut noter que le choix de l'indicateur de performance dépend exclusivement des moyens d'action liés à la politique stratégique choisie et des objectifs à atteindre. En résumé, on peut noter qu'il n'existe pas une norme universelle pour choisir ses indicateurs de performance même si (RAVELOMANANTSOA, DUCQ, & VALLESPER, 2019) ont identifié

plus de trente-cinq méthodes dédiées à la définition et à l'implantation des systèmes d'indicateurs de performance. Dans notre cas d'études, nous nous sommes focalisés sur les indicateurs de coût et de délais qui concerneront les décisions de pilotage du projet et de l'exploitation de la BC. Ce choix retenu est le résultat d'une recherche de littérature qui a montré une préoccupation urgente de maîtrise des coûts et des délais lors d'un projet blockchain. Le tableau 7 ci-dessous présente la liste proposée des indicateurs.

B. Conclusion

Les indicateurs de performances ou KPI sont souvent utilisés pour évaluer la performance ou vérifier l'atteinte d'un objectif. Cette pratique est tout le temps utilisée par les entreprises pour s'évaluer, s'améliorer et même changer de stratégie en cas d'écart énorme entre les résultats obtenus et les objectifs. Dans le chapitre précédent, l'objectif était de proposer une méthode de contrôle pour exploiter la technologie blockchain. Cette méthode regroupait plusieurs niveaux de décisions bien réparties en fonction de la pertinence mais aussi de la nature de la décision. Pour évaluer la pertinence de cette dite méthode, on a décidé de choisir un ensemble d'indicateurs de performance pour évaluer et observer les résultats qui découleront de cette dernière. Dans chaque partie de notre méthode de pilotage proposée dans le chapitre 3, on a proposé une liste d'indicateurs de coûts et de délais pour accompagner la phase.

Tableau 7: Indicateurs de coût et de délais

Activités	Indicateurs de performance	
	Coût	Délais
Initialisation & faisabilité	<ul style="list-style-type: none"> • Coût environnemental • Coût énergétique • Budget de prévention des crises • Budget investi en R&D 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de négociation • Délais moyen de réponse/partenaire sollicité • Temps de gestion d'une crise
Définition stratégique	<ul style="list-style-type: none"> • Coût stratégique de communication • Budget de relance en cas d'échecs • Coût de prestation 	<ul style="list-style-type: none"> • Délais estimatif projet
Conception	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de prototypage • Coût de RH • Coût de matériel • Coût de sous-traitante 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de traitement d'une requête • Délai moyen de réponse/requête
Développement	<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'achat matériel • Coût de formation technique 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de livraison des Sprint • Nombre d'heures de formation technique
Evaluation & exploitation	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de formation • Coût d'utilisation • Taux de Rendement sur capital investi • Coût de maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps d'évaluation • Temps de traitement des retours (avis, suggestions, etc.) • Temps de formation (prise en main)

		<ul style="list-style-type: none">• Délais d'exploitation• Temps de maintenabilité• Délais d'utilisation quotidienne
--	--	--

3. La méthode ABCD

A. Introduction

Cette partie explore les possibilités de réduire les risques liés aux coûts et aux délais de la méthode. Basée sur la méthode ABC, qui permet l'analyse des coûts par activité (Fauconnier, 2023), notre contribution consiste à ajouter la notion de délais, d'où la méthode ABCD. Pour chaque phase, les facteurs de risque sont rapportés (coûts et délais) et leurs plans de gestion sont proposés. Pour rappel, les coûts et les délais associés aux projets blockchain ont constitué un véritable goulot d'étranglement. Ces problèmes sont causés, entre autres, par un manque de contrôle, une mauvaise méthode de gestion, un budget non géré, des cas d'utilisation peu clairs, etc. La méthode ABCD met l'accent sur ces risques potentiels à chaque phase de la méthode et sur les possibilités de les réduire, ce qui permet d'anticiper ces problèmes et de gérer les coûts et les retards associés (voir tableau 6 ci-dessous). En résumé, pour évaluer l'efficacité des décisions de la grille GRAI, il est essentiel de disposer d'indicateurs de mesure. Ces indicateurs sont un point de départ suffisant pour mesurer la performance et proposer des axes d'amélioration, car ces derniers jouent essentiellement un rôle de vérification qui constitue le point d'entrée pour le pilotage.

B. Les principaux inducteurs de risque

- **Inducteur de coût de prestation.** Dans le chapitre 4 nous avons insisté sur le choix des prestataires ou sur le professionnel BC donnant les meilleures garanties par rapport aux besoins. Ce coût peut rapidement déborder si les conditions et les règles de bases ne sont pas fixés au moment du choix d'une part et pendant les phases d'exécutions.
- **Inducteur de coût des partenaires.** L'absence d'implication ou l'irrespect des règles de ces derniers peuvent engendrer des coûts supplémentaires.
- **Inducteur de coût de services non demandés ou non prévus.** Pendant la phase d'analyse, il est primordial de dresser toutes actions et/ou charges.
- **Total heure de prestation** relatif aussi au professionnel BC. L'idéal serait d'écourter au maximum la durée de prestation pour économiser et orienter son budget dans d'autres axes.
- **Inducteur de coût global de projet** à fixer en prenant en compte, après analyse, tout aspect relatif à toute les parties prenantes. Le dépassement du budget est souvent multifactoriel et nécessite une démarche collective pour le surmonter.

Tableau 8: Méthode ABCD

Activités	Inducteurs de risque		Opportunités de réduction des risques	
	Coût	Délais	Coût	Délais
Initialisation & faisabilité	<ul style="list-style-type: none"> • Inducteur de coût de prestation • Inducteur de coût des partenaires • Inducteur de coût de services non demandés 	<ul style="list-style-type: none"> • Inducteur des heures de prestation 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en concurrence des prestataires • Définition de contrat juridique • Prendre en compte que les besoins nécessaires 	<ul style="list-style-type: none"> • Bien choisir son prestataire • Proposer de gérer les points maitrisés
Définition stratégique	<ul style="list-style-type: none"> • Inducteur de coût global de projet • Inducteur de coût d'incertitude 	<ul style="list-style-type: none"> • Inducteur de la durée globale projet • Inducteur de temps supplémentaire • Délais entre conception et développement 	<ul style="list-style-type: none"> • Définir un budget détaillé • Surveiller de près les surcoûts • Prévoir un plan de gestion en cas de dépassement du budget • Eliminer au maximum les surcharges 	<ul style="list-style-type: none"> • Définir un plan directeur de projet • Définir les risques potentiels • Définir un plan de gestion des risques • Se référer sur des solutions déjà existantes • Mesurer régulièrement le taux d'avancement
Conception	<ul style="list-style-type: none"> • Inducteur de coût de conception 	<ul style="list-style-type: none"> • Inducteur de la durée de conception 	<ul style="list-style-type: none"> • Se référer sur le cahier des charges 	<ul style="list-style-type: none"> • Exiger un cahier des charges claire et précis • Rendre compte régulièrement

			<ul style="list-style-type: none"> • Faire une modélisation précise 	<ul style="list-style-type: none"> • Privilégier l'agilité
Développement	<ul style="list-style-type: none"> • Inducteur de coût de développement • Inducteur de coût d'autres logiciels 	<ul style="list-style-type: none"> • Heure de formation technique • Temps de développement • Inducteur de temps perdu lié à la non maîtrise 	<ul style="list-style-type: none"> • Négocier le transfert de technologie • Evaluer les besoins de formation • Gérer en interne les parties maîtrisées du projet 	<ul style="list-style-type: none"> • Retenir les dates au plus tard pour les livrables • Suivre régulièrement l'avancée des sprints (compte rendu, réunions, etc) • Faire le rapport qualité-prix des prestataires • Mesurer les compétences requises à chaque phase
Evaluation & exploitation	<ul style="list-style-type: none"> • Inducteur de coût de rentabilité • Inducteur coût de la maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> • Délais de prise en main 	<ul style="list-style-type: none"> • Assurer la maintenance en interne des aspects maîtrisés 	<ul style="list-style-type: none"> • Proposer une formation • Laisser un temps d'adaptation aux utilisateurs de la solution

- **Indice du coût d'incertitude** car, plus l'incertitude projet augmente plus le risque d'échec et de non atteinte des objectifs est élevé. L'incertitude constitue un facteur majeur qui peut mettre à mal l'atteinte des objectifs.
- **Durée globale projet** qui est déterminant pour réussir son projet. De mauvaises prévisions peuvent affecter cette durée qui a un impact direct sur l'aboutissement du projet si des mesures préventives n'ont pas été prises.
- **Indice de temps supplémentaire** quand le projet n'est pas bouclé à échéance. Ce temps supplémentaire peut mener le projet à l'échec si les ressources financières supplémentaires ne sont pas présentes.
- **Délais entre conception et développement** qui peut être conséquent si la durée du projet n'est pas correctement planifiée. Pendant la phase d'analyse, il est important de recueillir tous les besoins et de décider de leur faisabilité avant d'enchaîner avec la conception.
- **Indice du coût d'autres logiciels** qui peut être conséquent si un suivi n'est pas assuré. Les activités et dépenses qui entourent le projet sont souvent très consommatrices de ressources.
- **Heure de formation technique** qui est très importante dans la prise en main d'une nouvelle solution technologique. Cependant, les activités demandent un encadrement rigoureux pour exécuter le plus rapidement cette phase.
- **Temps de développement** qui peut allonger la durée initiale du projet si ce temps est dépassé. Ce dépassement peut être favorisé par :
 - Une mauvaise évaluation de la complexité. Sous-estimer les difficultés d'un projet constitue un risque énorme pendant le processus de développement.
 - Manque de ressources humaines. Si le personnel est insuffisant pour effectuer et suivre l'avancement des processus, la surcharge devient un facteur handicapant.
 - Un manque de communication qui entraîne du retard et une déconnection totale entre les parties prenantes.
- **Indice de temps perdu lié à la non maîtrise de la technologie.** Le temps est actuellement un indicateur important et doit être réduit au maximum pendant la réalisation des tâches. Présenter les livrables dans les délais impartis est une clé de réussite dans la réalisation d'un projet.

- **Durée de conception.** Comme le temps de développement, celui de la conception peut aussi peut causer un surplus de temps si l'expression des besoins n'est pas claire. Il faut noter qu'une bonne conception dépend de la clarté des exigences et spécifications et que la communication durant toute cette phase est nécessaire pour une conception efficace.
- **Indice du coût de rentabilité** peut être un facteur bloquant si l'analyse des coûts et les prévisions de rentabilité sont biaisées.
- **Indice coût de la maintenance** : le coût de maintenance est souvent négligé dans un projet mais si les maintenances sont fréquentes en exploitation, le client peut être pénalisé.
- **Délais de prise en main** qui peut être long si la formation des utilisateurs n'est pas assurée correctement. En plus de cela un manque de documentation ou de manuel bien structuré expliquant en détail le fonctionnement de la solution peut être un facteur augmentant ce délai.

C. Les opportunités de réduction

- **Mise en concurrence des prestataires** pour bénéficier au maximum des propositions les plus efficaces et rentables. De surcroît, cette pratique permettrait aux prestataires d'offrir leurs services avec une meilleure qualité et un engagement sincère.
- **Définition de contrat juridique avec les prestataires et partenaires.** La mise en place de contrats définit les engagements et délimite les responsabilités de chaque partie. Ceci reste un moyen efficace de situer les responsabilités en cas de problème.
- **Prendre en compte que les besoins nécessaires.** Dans les objectifs du projet, il est important de spécifier les attentes et objectifs de chaque partie pour obtenir un objectif global du projet et les résultats à atteindre. Ceci permettrait de bien mesurer son budget et assurer tout dépassement dans le temps avec des délais bien définis.
- **Bien choisir son prestataire** pour atténuer au maximum tout type risque. Le choix d'un prestataire doit se décider sur des bases très claires afin d'arriver à une décision réfléchie et sûre.
- **Proposer de gérer les points maîtrisés.** A l'intérieur de l'entreprise, il est possible d'affecter un certain nombre de responsabilités aux employés s'ils sont assez qualifiés pour exécuter certaines tâches. Cette technique permet de d'impliquer son personnel et de profiter au maximum de son potentiel en interne.

- **Définir un budget détaillé** pour comprendre les coûts prévus de chaque ressource nécessaire pour réaliser chaque activité. Ce détail permettrait en cas de dépassement d'établir les surcoûts et de prévoir un plan de réduction.
- **Surveiller de près les surcoûts** pour agir rapidement sur une revalorisation des ressources. Les surcoûts sont souvent liés à une mauvaise approche (ou évaluation) globale du projet.
- **Prévoir un plan de gestion en cas de dépassement du budget.** Le meilleur moyen est de prévoir une réserve financière pour surmonter les problèmes liés aux surcoûts, imprévus, etc. Le dépassement du budget initial est devenu aujourd'hui presque une norme lors des projets au sein des entreprises d'où l'importance de l'anticiper pour éviter tout blocage ou de prévoir des actions de réduction des coûts des activités restantes.
- **Éliminer au maximum les surcharges.** Plus les charges augmentent plus le budget s'accroît.
- **Définir un plan directeur de projet** comme dans les projets traditionnels pour attribuer les tâches et bien suivre le projet. Ce plan est établi dès la phase d'analyse et constitue un élément clé pour la réussite d'un projet en tant que tel car il donne une vue globale, détaillée et partagée du projet et une coordination entre les différentes parties prenantes.
- **Définir les risques potentiels.** Ces risques sont bien détaillés dans le chapitre 3. Cette activité sera accompagnée d'un plan de gestion de risques pour contourner ou atténuer les problèmes.
- **Définir un plan de gestion des risques** pour gérer et documenter les problèmes rencontrés durant tout le projet.
- **Se référer à des solutions déjà existantes** est un moyen efficace pour minimiser les risques. C'est la méthode des analogies.
- **Mesurer régulièrement le taux d'avancement** pour s'assurer du respect des délais. Durant cette phase, une vérification de la consommation des ressources financières s'impose pour contrôler les objectifs et les dépenses.
- **Se référer au cahier des charges** pour assurer une cohérence totale entre les besoins à modéliser et la solution à développer. Le cahier des charges est un pilier fondamental dans un projet informatique : il regroupe l'ensemble des spécificités exprimées par toutes les parties prenantes et constitue la porte d'entrée du projet vers le résultat final et une base solide du calcul des coûts et délais du projet.
- **Faire une modélisation précise** en se référant aux besoins retenus. Une modélisation claire permettra à l'équipe de développement de bien comprendre l'enchaînement des processus et les acteurs impliqués dans chaque activité.

- **Exiger un cahier des charges clair** et précis pour éviter tout malentendu. L'un des principes fondamentaux du cahier des charges reste la clarté des besoins utilisateurs (tacites ou pas) et objectifs du projet pour assurer une compréhension commune des attentes de chaque partie prenante.
- **Rendre compte régulièrement** pour mettre toutes les parties concernées au même niveau d'information. L'absence de communication peut dérouter les membres de l'équipe projet ce qui peut amener un trou de communication, l'exécution d'une même activité par plusieurs acteurs, la désynchronisation, etc.
- **Privilégier l'agilité** pour permettre un retour en arrière en cas de problèmes. L'agilité offre la possibilité de rectifier, au fur et à mesure pendant le projet en fonctions des risques, des changements de besoins, des choix techniques, etc. Cette méthodologie de développement itérative et incrémentale est au cœur des meilleures pratiques de l'analyse et de la conception d'application. Au fur et à mesure que le projet avance, le livrable répond de plus en plus aux besoins de départ (cf Figure ci-dessous).

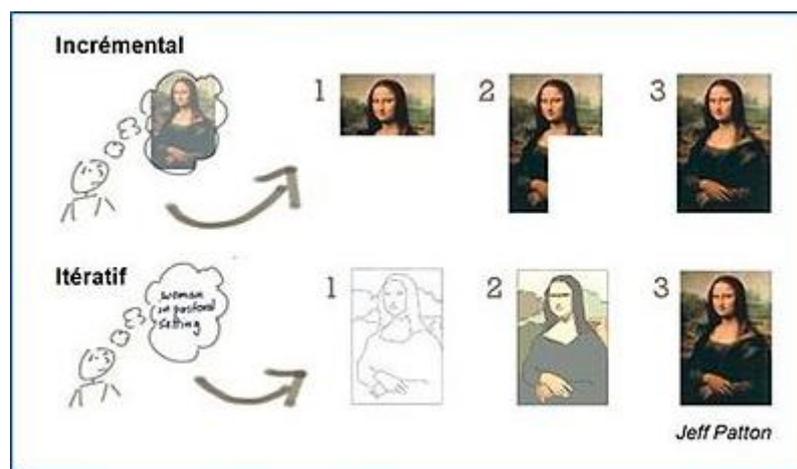


Figure 10: Méthode itérative et incrémentale

- **Négocier le transfert de technologie** pour permettre à ses employés d'assimiler plus rapidement la technologie, d'assurer la suivie et la maintenance. Ce transfert de technologie peut apporter aux bénéficiaires la découverte de nouvelles pratiques et techniques de développement ce qui peut apporter un surplus dans l'efficacité et dans d'autres projets en interne.
- **Evaluer les besoins en formation.** Il est primordial de répertorier les objectifs et de dresser un plan de formation en fonction des profils. Cette pratique permet de proposer un plan de formation tout en incluant les parties les plus importantes mais aussi consacrer beaucoup plus de temps dans les parties les plus complexes.

- **Proposer une formation structurée.** Il est important de structurer la formation et d'opter pour une approche exponentielle. Cette approche commence par les points les plus faciles à comprendre et de progresser dans la complexité au fur et à mesure dans le temps.
- **Laisser un temps d'adaptation** pour permettre la familiarisation et l'assimilation aux futurs utilisateurs. Ce temps permettrait à chaque utilisateur de s'appropriier la solution et d'utiliser les différentes fonctionnalités efficacement.
- **Retenir les dates au plus tard pour les livrables pour mettre des marges sur des livrables.** Ceci est un moyen efficace de maîtriser son budget. Ce calendrier est aussi un moyen efficace de gérer le temps grâce aux échéanciers qui sont des indicateurs de mesure du dépassement des délais. En plus de cela les dépendances entre secteur et collaborateurs sont mieux maîtrisées à l'aide d'un calendrier bien coordonné qui obéit à la planification. Avec cette pratique, les points bloquants sont vite décelés dans l'optique de dresser un plan de réajustement au plus tôt pour assurer le respect des délais.
- **Suivre régulièrement l'avancée des sprints** pour garder un œil sur l'avancée des tâches et sur l'état actuel du projet. Ce suivi a plusieurs avantages dans la mesure où une réorganisation peut s'imposer en fonction des changements et de la réorganisation des priorités. Le fait de suivre le développement en temps réel apporte une maîtrise et une vue d'ensemble de toutes les parties et offre la facilité de déceler certains points bloquants.
- **Faire le rapport qualité-prix des prestataires** pour prendre en compte le coût mais aussi évaluer les prestataires en termes de qualité de service et du personnel. Cette pratique nous donne aussi une idée des compétences des prestataires dans le domaine en question et sur sa réputation à travers des retours d'expériences, de certifications, etc.
- **Mesurer les compétences requises à chaque phase** en définissant de manière claire toutes les ressources nécessaires pour réaliser chaque phase. Pour se faire il faut détailler les compétences techniques et transversales de la phase, identifier les ressources techniques et transversales à sa disposition et s'approprier des ressources manquantes à travers des formations internes, des recrutements, des appels à des prestataires, etc.

D. Conclusion

Le management d'un projet comporte d'énormes risques techniques et fonctionnels. Durant tout le processus de développement, un suivi permanent s'impose pour contourner et atténuer les problèmes rencontrés. Parmi ces problèmes, certains ont été prévus pendant la phase d'étude de faisabilité et d'autres surgissent au cours de projet. Dans les projets blockchain, la notion du coût et de délai revient souvent dans la liste des causes d'échecs. L'origine de ces causes mérite

une analyse approfondie et des solutions pérennes. En se basant sur la documentation, une sous-estimation et une complexité technique sont en partie à l'origine de cette situation. Dans cette proposition nous avons décidé de reprendre l'ensemble des phases de notre méthodologie de développement et d'associer un ensemble d'inducteurs de coûts et de délais afin de détecter pour chaque phase du projet les risques financiers et temporels associés à cette partie. Une fois les problèmes identifiés, une proposition de réduction de ces risques est faite pour mieux gérer ces situations. Cette méthode est une prolongation de la méthode ABC qui s'intéresse aux coûts associés aux activités pendant un projet. En plus de l'aspect financier, la notion de délai est prise en compte d'où la méthode ABCD.

4. Déploiement d'outils d'aides à la décision

A. Aide à la décision « GO/NOGO » basée sur le critère financier

B. Introduction

L'étude d'un projet est une étape importante dans tous secteurs et nécessite un travail sérieux pour éviter tous problèmes liés à sa faisabilité (même si le risque zéro n'existe pas). Comme toute nouvelle technologie, la blockchain a fait l'objet de nombreux travaux à travers des théories, de nombreuses expérimentations, POC, Normalisations, etc. Cependant, réaliser la faisabilité technique est une chose mais assurer la tenue complète d'un projet et assurer son exploitation en est une autre et la blockchain n'est pas une exception à la règle. En effet la notion du coût élevé de cette technologie a causé l'échec de plusieurs projets si on se réfère à (Sanka & al, 2021). Face à cette situation, une aide à la décision devient une actualité qui doit permettre à n'importe quelle structure de se mesurer par rapport à ses moyens sa capacité ou non d'assurer la tenue d'un projet blockchain adaptée à ses besoins. Dans cette section, nous allons proposer une solution en proposant un modèle d'aide à la décision basé sur une formule de calcul du coût technique de la blockchain en tenant en compte de la technologie et de son infrastructure.

C. Travaux initiaux

Nous avons vu dans le premier chapitre de cette thèse que la blockchain apportait plusieurs réponses face aux challenges de la SC mais que néanmoins peu sont les projets qui ont abouti à causes de différents aussi structurel que fonctionnels.

Dans la plupart des projets en échec avec la blockchain, la notion du coût est au cœur des préoccupations. (Kamilaris, Fonts, & Prenafeta-Boldó, 2019) ont fait une étude pour recenser le nombre de projets blockchain et les secteurs ciblés. A l'issue de ce travail, le résultat a révélé que la plupart de ces projets étaient abandonnés en cours. Face à ce défis plusieurs efforts ont été consentis. Dans cette même optique (Jurgelaitis M. , Drungilas, Čeponienė, Vaičiukynas, & Butkienė, 2019) ont recommandé avec des spécifications techniques et précises un modèle d'équipement qui doit faire office de nœud dans un réseau blockchain pour bien réussir l'exécution des transactions. Les bonnes pratiques aussi se sont invitées dans la blockchain avec des propositions de pilotage de projet pour mieux assurer sa gestion. En guise d'exemple, (Vijayakumar, Neelananarayanan, Rao, & Light, 2019) , (Wall R. , 2018), (Ibba, Pinna, Lunesu, Marchesi, & Tonelli, Initial Coin Offerings and Agile Practices, 2018) soutiennent que les concepts et manifestes agiles sont les meilleures pratiques à l'heure actuelle pour assurer un développement et une gestion de qualité. En même temps (Wall R. , 2018) a calculé le budget

de son projet blockchain en se basant sur les ressources matérielles et logicielles, ses ressources humaines et les autres coûts de gestion en cas d'urgence. (Marchesi, Marchesi, & Tonelli, 2018) quant à eux ont tenté de proposer un processus de développement logiciel pour recueillir les besoins, analyser, concevoir, développer, tester et déployer des applications Blockchain.

Tableau 9: Récapitulatif de contributions

Auteurs	Propositions	Observations
Mantas Jurgelaitis& al. 2019	Gestion processus interne avec blockchain	Accès sur la gestion des processus et pas sur les ressources.
(Marchesi, Marchesi, & Tonelli, 2018)	Logiciel : analyser, concevoir, développer projet blockchain	Manque de chiffre : coût du projet inconnu.
(Wall R. , 2018)	Gestion de projet et établissement budget pour la gestion d'un projet blockchain	Trop de risques en se basant sur les principaux problèmes de la technologie BC. Risque des problèmes techniques. Coûts d'exploitation manquants
(Wall & Malm, 2016)	Définition spécifications techniques pour un nœud blockchain	Trop limitatif : cette contribution ne nous permet pas de définir le coût

Le tableau ci-dessus récapitule certaines contributions de recherches pour un meilleur pilotage et maîtrise de la blockchain. Pour la plupart on constate des propositions de méthodologie, des méthodes d'utilisation dans les processus, ou des méthodes de gestion globale. Cependant établir le budget d'une technologie ne doit pas se limiter au montant durant le développement du projet mais il faut aussi prendre en compte son exploitation dans le temps. Les aspects paradigme et méthodes de développement aussi sont des facteurs à intégrer pour mieux maîtriser son projet mais une décision en amont est surtout très importante et qui est : Dois-je faire le projet (GO) ou pas (NOGO)?

Cette question, aussi simple qu'elle puisse paraître nous plonge dans une démarche spécifique de mesurer les contraintes tant sur le plan fonctionnel, organisationnel, environnemental, financier, etc.

Nous pouvons constater que justifier la pertinence d'utiliser la technologie blockchain en travaillant sur la corrélation entre sa capacité financière et le budget requis pour assurer son exploitation est primordial pour converger sur une décision.

D. Solution proposée

Cette solution permet déterminer le budget exact qu'il faut pour assurer l'implémentation d'une blockchain. En se basant sur (IMB, 2023), la composition d'un réseau blockchain comprend principalement deux parties :

- Un cluster qui contient la plateforme blockchain
- L'infrastructure composée des différentes composants nécessaires pour effectuer les opérations.

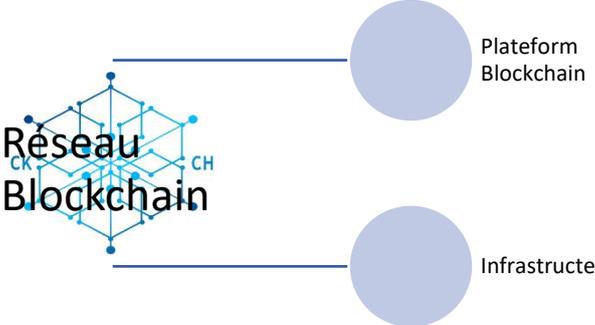


Figure 11: composition d'un réseau blockchain

Dans cette partie on va calculer le budget avec l'allocation minimale des composants en termes de besoin de stockage, d'allocation RAM et de processeur. Le tableau ci-dessous nous donne une idée de ces allocations pour chaque composant.

Tableau 10: Allocation des ressources par nœud dans la blockchain (*)

Composant	CPU	Mémoire RAM(GB)	Stockage (GB)
Hyperledger Fabric	0.7	2.8	200
CA	0.1	0.2	20
Nœud d'ordonnancement	0.35	0.7	100
Opérateur	0.1	0.2	0
Console	1.2	2.4	10

*<https://cloud.ibm.com/docs/blockchain?topic=blockchain-ibp-saas-pricing#ibp-saas-pricing-default> (accessed Feb. 06, 2023).

La plateforme blockchain Hyperledger Fabric est choisie dans ce calcul pour plusieurs raisons :

- Elle est considérée comme la blockchain la plus mature (Yang, 2020), (Androulaki, Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains, 2018). Des efforts ont été déployés pour répondre aux exigences techniques afin d'atteindre une maturité dans la technologie utilisée. Hyperledger constitue un cadre modulaire pour les plateformes blockchains. Elle est conçue sur une base de développement d'applications et de solutions industrielles. Hyperledger offre un réseau autorisé où chaque utilisateur est identifié dans le réseau ce qui offre une confiance accrue. En plus de cela, la plateforme offre la possibilité d'assurer des transactions à travers des canaux privés ce qui permet de ne partager que les informations nécessaires avec chaque partie concernée.
- Elle est compatible avec plusieurs langages de programmation (Yang, 2020). Ceci offre la possibilité de déployer un projet avec le langage de programmation de son choix.
- Chaque nœud a sa propre identité et les transactions sont ordonnancées (Cachin, 2016), (Androulaki, Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains, 2018).

Notre démarche est composée de quatre parties :

1. Le besoin : GO/NOGO. Pour éviter des risques inutiles, il est nécessaire d'évaluer les possibilités d'utiliser une technologie blockchain en commençant par mesurer son budget.
2. Les entrées : les informations à notre disposition en fonction des besoins pour pouvoir calculer les coûts d'exploitations.
3. L'algorithme/calculs : les coûts totaux des différents services
4. Le résultat qui nous donne une idée du budget nécessaire pour assurer l'exploitation de cette technologie.

Avant d'aller plus loin : éclaircissons certains termes ou composants.

- Homologue : élément du réseau qui héberge les registres et les Smart contracts
- CA : L'autorité de certification est utilisée pour sécuriser les opérations dématérialisées.
- Nœud d'ordonnancement : Son rôle est d'assurer la collection et l'ordonnancement des transactions dans le réseau blockchain.

Le tableau ci-dessous récapitule les calculs en fonctions des données d'entrées. Ces données d'entrée sont :

- Le nombre de parties (structures hétérogènes) (NP) qui représente les organisations externes qui partageront la solution avec l'entreprise. En dehors de l'organisation et des processus internes, l'entreprise peut envisager une solution blockchain dans les processus externes avec d'autres entités. Il peut s'agir des fournisseurs (Dans une démarche de transparence et de sécurité, la BC peut intervenir entre l'entreprise et ses fournisseurs), de clients (pour garantir la traçabilité de toute la chaîne de production d'un produit : ce qui garantit la confiance des consommateurs).
- Fréquence d'utilisation (FU). Cette donnée peut varier en fonction du besoin et du contexte dans lesquels une solution est utilisée. La fréquence d'utilisation désigne le nombre total d'heures passées dans l'utilisation d'un logiciel. Dans notre contexte, la fréquence d'utilisation est l'un des éléments essentiels dans le calcul du coût de revient de la solution blockchain.
- Nombre d'utilisateur (NU) qui représente l'ensemble des membres constitutifs du réseau blockchain. Cette donnée est très importante car elle permet de savoir le nombre de nœuds qui seront impliqués dans les transactions lors des processus.
- Nombre de communications privées (NCP) qui est une spécificité de la blockchain permettant d'assurer des interactions entre acteurs bien distincts dans un réseau blockchain. Cette notion consiste à établir un canal privé dans le réseau blockchain entre deux ou plusieurs parties selon les niveaux de responsabilité, la sensibilité des informations, etc.
- Mode de validation des transactions. Le mode de validation peut différer en fonction des types de blockchain. Il faut noter qu'au début de la blockchain la validation d'une transaction était permis à tout participant du réseau blockchain (même si 51% du réseau suffisait pour confirmer la validité d'une transaction). Ceci s'explique par le fait que les premières blockchains étaient toutes publiques et qu'un contrôle rude de nœuds d'horizon différents fut nécessaire pour garder la transparence dans les opérations. A l'apparition des blockchain privées, le contrôle et la validation d'une transaction ont été revus et restreints à un nœud bien défini : le nœud de tri(NT).
- Charge de travail (CHT) qui est importante à définir pour connaître la quantité d'IOPS à retenir pour les transactions. IOPS est une unité de mesure et représente le nombre total d'opérations d'entrées/sorties par seconde. Dans notre contexte on classe la charge de travail selon trois niveaux :
 - Faible s'il y a peu d'opérations qui sont effectuées ou si toutes les opérations sont planifiées sur plusieurs heures pendant la journée.

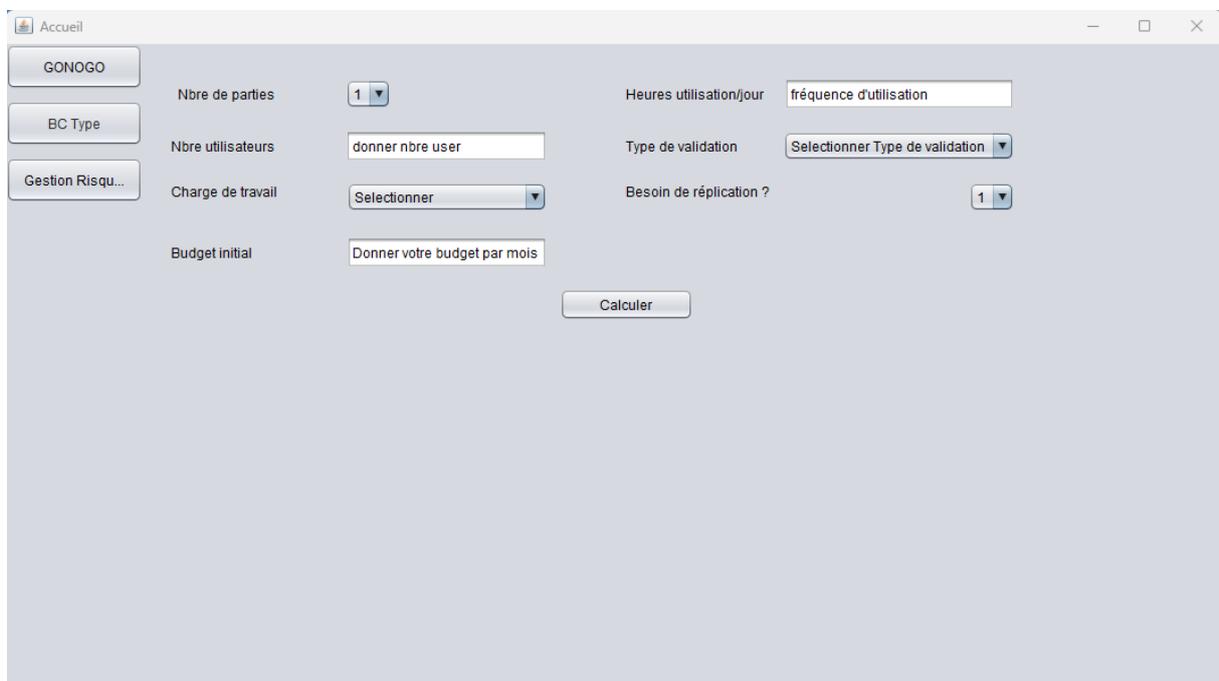
- Normale qui est un peu plus importante que la précédente. Dans ce cas de figure des transactions s'effectuent entre plusieurs acteurs à n'importe quel moment.
- Élevée quand il y a de nombreuses opérations à gérer en même temps.
- Besoin de réplication pour assurer la résilience de la blockchain et assurer le relais en cas de panne. Ce concept consiste à cloner la solution de sorte à assurer sa continuité en cas de problème avec la solution principale.
- Budget alloué (BA): cette constante est indispensable dans notre démarche et permet de décider de la solution blockchain tout en prenant en compte les contraintes financières de l'entreprise. La comparaison du budget requis et le budget alloué nous donnera une idée sur les possibilités et/ou la pertinence d'utiliser la solution en fonction des besoins exprimés.

Tableau 11: Définition du GO/NOGO

Décision	Infos en entrée	Algorithme/formule	Résultat
<p>GO / NO GO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Description des besoins <ul style="list-style-type: none"> ○ Nbre de parties (structures hétérogènes) (NP) ○ Fréquence d'utilisation (FU) ○ Nbre user (NU) • Nombre de communication privée (NCP) • Type de validation transactions(checklist) <ul style="list-style-type: none"> ○ Noeud de trie (NT) • Données à manipuler <ul style="list-style-type: none"> ○ Charge de travail (CHT) : ckecklist <ul style="list-style-type: none"> ○ Faible : 2 IOPS ○ Normal : 4 IOPS ○ Élevé : 10 IOPS • Besoin de réplication ? <ul style="list-style-type: none"> ○ Si oui : combien de réplication ? • Budget alloué ? (BA) 	<div style="background-color: #008000; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p>Service de tri= $NT*(0.35\text{vcpu}, 0.7\text{go RAM}, 100\text{ go stockage})$</p> <p>CA= $NP*(0.1\text{vcpu}, 0.2\text{ go RAM}, 20\text{go stockage})$</p> <p>Homologue=$NU*(0.7\text{ vcpu}, 2\text{go RAM}, 200\text{ go stockage})$</p> </div> <div style="background-color: #add8e6; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p>Total RAM= $(NT*0.7)+(NP*0.2)+(NU*2)$</p> <p>Total VCPU= $(NT*0.35\text{vcpu}) +(NP*0.1\text{vcpu}) +(NU*0.7\text{ vcpu})$</p> <p>Total storage= $(NT*100)+(NU*20)+(NU*200)$</p> </div> <div style="background-color: #008000; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p>Prix Blockchain plateforme(BP)= Total VCPU*0.29</p> <p>Prix IKS = $\text{Max}(\text{Total VCPU}/4, \text{Total RAM}/16)*0.29*\text{nombre de réplication}$</p> </div> <div style="background-color: #add8e6; padding: 5px;"> <p>Prix total/h= prix BP + prix iks+ prixstorage</p> <p>Prix total/mois= Prix total/h * FU*30</p> </div>	<p>Comparer (BA; Prix total)</p>

E. Application

Cette partie illustre la partie « développement » de notre solution proposée ci-dessus. On peut voir tous les inputs (données d'entrées) dont la solution a besoin pour calculer le budget requis. Pour rappel nous avons le nombre de parties ou de structures hétérogènes, le nombre d'utilisateurs, le nombre d'heures d'utilisation par jour, le nombre de réplifications, la charge de travail et le budget ou la capacité financière. Toutes ces données réunies nous permettent d'allouer des ressources techniques en termes de capacité de stockage, de puissance de calcul et de mémoire RAM. La figure ci-après montre l'interface permettant à l'utilisateur de renseigner les constantes.



The screenshot shows a web application interface titled "Accueil". On the left, there are three buttons: "GONOGO", "BC Type", and "Gestion Risqu...". The main area contains several input fields and dropdown menus:

- "Nbre de parties": A dropdown menu with the value "1".
- "Nbre utilisateurs": A text input field containing "donner nbre user".
- "Charge de travail": A dropdown menu with the value "Selectionner".
- "Budget initial": A text input field containing "Donner votre budget par mois".
- "Heures utilisation/jour": A text input field containing "fréquence d'utilisation".
- "Type de validation": A dropdown menu with the value "Selectionner Type de validation".
- "Besoin de réplication ?": A dropdown menu with the value "1".

At the bottom center, there is a "Calculer" button.

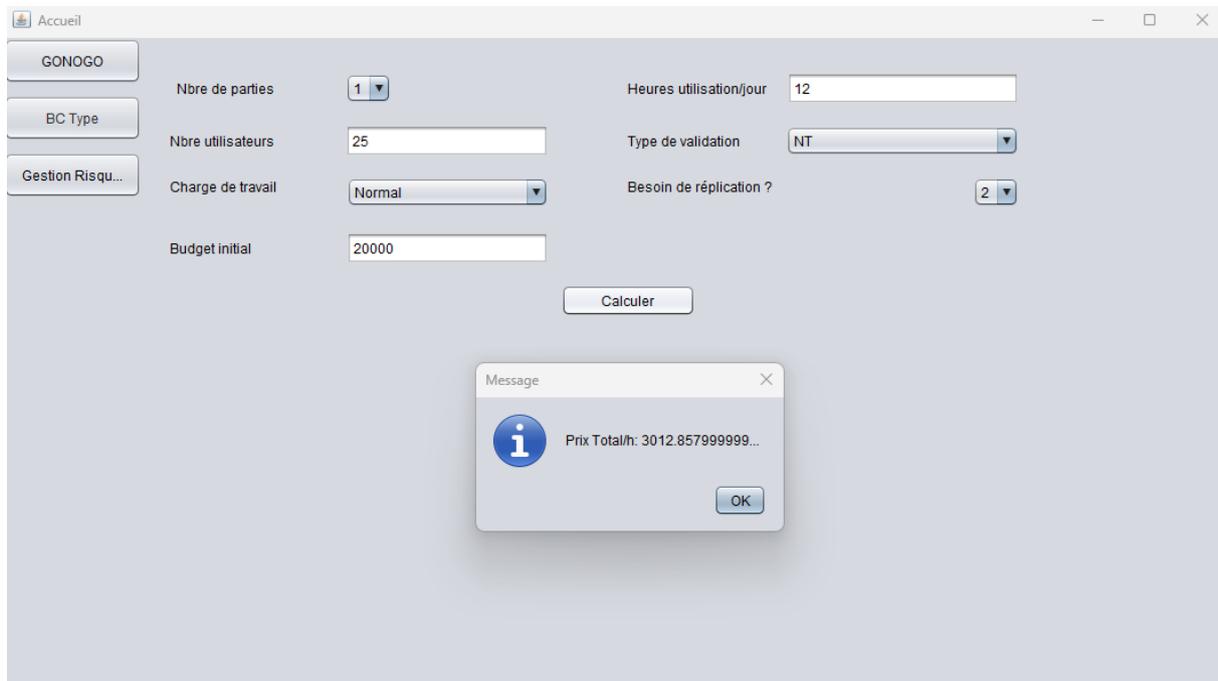
Figure 12: Page d'accueil

Après le recueil des données d'entrées, le résultat final est calculé et nous donne une appréciation de la possibilité d'utiliser une solution blockchain ou non en fonction des besoins. En guise d'exemple, nous avons choisis des données d'entrées pour calculer un budget requis par heure. Comme données nous avons :

- NP → 1
- NU → 25
- FU → 12
- REPLICATION → 2
- CHT → Normal

Après calcul on obtient 3012/h ce qui nous amène à 36 144/jour si on prend en compte la fréquence d'utilisation(12H).

Figure 13: Résultats des calculs



Cette solution proposée reste un moyen efficace de définir ses besoins et objectifs, de définir les fonctionnalités requises afin de calculer la charge financière de son besoin.

F. Conclusion

Les blockchains sont de plus en plus expérimentées dans plusieurs domaines. La détermination et le contrôle du budget dans ce type de projet devraient permettre de mieux anticiper certains goulets d'étranglement. Dans cette partie, on propose une méthode pour réaliser son budget dans le cadre de l'exploitation d'une solution blockchain. Nous nous sommes basés sur la plateforme Hyperledger Fabric pour identifier les composants stricts et nécessaires (avec leurs exigences minimales en termes de ressources) pour mettre en œuvre une solution blockchain. Cette solution reste avantageuse dans la mesure où ça permettrait de mesurer financièrement les projets avant de donner le GO ou le NOGO dans le projet. En effet, pour remédier aux nombreuses difficultés liées aux coûts pendant ces types de projet à risque, il est important de bien mesurer l'équilibre entre les besoins et le budget requis. Dans cette dynamique, l'aide à la décision ou le GO/NOGO est présenté dans cette partie en guise d'accompagnement dans la démarche d'un projet blockchain.

5. Aide à la décision « Blockchain privée vs Blockchain publique »

A. Introduction

Comme nous l'avons décrit précédemment, avec sa nouvelle approche "Peer to Peer", la blockchain est désormais considérée comme une technologie révolutionnaire dans l'intégration des acteurs de la chaîne d'approvisionnement et la sécurité des flux d'informations. Les transactions et autres opérations sont vérifiées, validées et stockées dans des blocs de données. Ces blocs sont reliés les uns aux autres par hachage, créant ainsi une forte dépendance entre eux, ce qui garantit la fiabilité et l'intégrité des informations. Avec la notion de "règles de consensus", la blockchain assure la qualité des données. Ces règles sont définies afin de respecter les protocoles et les réglementations lors des transactions (financières ou non). Cela permet d'éviter toute erreur éventuelle et de définir explicitement, au sein de sa blockchain, les flux d'informations, les types de données traitées, les formats acceptés, etc. L'objectif de cette partie est de proposer à travers la méthode Fuzzy (floue) la possibilité de choisir entre une blockchain publique ou une blockchain privée quelle que soit la chaîne d'approvisionnement. Nous nous concentrerons dans un premier temps sur l'état de l'art des différents travaux dans cette direction. Puis la partie suivante va présenter notre contribution permettant de mieux comprendre le contexte et la dernière partie présentera l'application développée pour tester nos formules.

B. Travaux initiaux

Les solutions blockchain diffèrent dans leur mode de fonctionnement. Il est très important de prendre le temps de réfléchir au type de technologie à choisir pour que le projet soit couronné de succès. Certaines blockchains sont publiques et d'autres sont privées. Les blockchains publiques sont libres d'accès. Tout le monde peut rejoindre le réseau, devenir un utilisateur. Dans ces blockchains, aucune autorisation n'est requise pour qu'un nœud participe au mécanisme de validation des blocs (Sanka & al, 2021), (Kamilaris, Fonts, & Prenafeta-Boldó, 2019), (Jurgelaitis, Drungilas, & Čeponienė, 2019). En revanche, les blockchains privées sont plus restrictives et requièrent une autorisation pour participer au réseau. La blockchain privée est moins exposée aux attaques extérieures car elle est un réseau privé et dispose de moyens d'identifier chaque participant au réseau et de contrôler les niveaux d'accès et d'autorité. D'un point de vue technique, la performance d'une solution technologique est mesurée par son débit, c'est-à-dire sa capacité à exécuter des tâches dans le temps. Parallèlement au débit, la latence est également une unité de mesure de la performance. Dans la blockchain, la latence détermine le temps nécessaire à un utilisateur pour obtenir la confirmation d'une transaction sans avoir la

possibilité de la modifier à nouveau ou de la retirer du réseau. Il faut noter que ces deux facteurs sont très importants car le défi technologique rime aujourd'hui avec un service de qualité avec une latence de plus en plus réduite. La différence de performance entre les blockchains publiques et privées a été démontrée par (wall & Gustaf, 2016) et (Vijayakumar, Neelananarayanan, Rao, & Light, 2019). Cette performance est en partie liée à l'algorithme de consensus utilisé. Dans la plupart des blockchains publiques, l'intégrité des transactions repose essentiellement sur le principe de la cryptographie asymétrique (proof of work) afin de garantir la validité des blocs de données et d'assurer le consensus des membres du réseau avant d'ajouter un bloc à la chaîne existante. Ce principe est appelé "Proof of Work (POW)" qui consiste pour un nœud (mineur) à calculer le Hash (identifiant unique du bloc) du bloc à ajouter à partir du bloc précédent comme expliqué par (Ribera, 2018).

$$f(\mathbf{B}, \mathbf{IM}, \text{hash}(n)^{-1}, \text{random}) < \mathbf{C}$$

B= Block à miner

IM= Identification du mineur

$\text{hash}(n)^{-1} = \text{hash du block précédent}$

C = Complexité fixée

Ce calcul est fait autant de fois que nécessaire jusqu'à ce que la fonction soit vérifiée. Cette méthode de vérification nécessite une puissance de calcul élevée et consomme en retour beaucoup d'énergie vu la compétition des nœuds du réseau à ajouter en premier un bloc afin d'en toucher la récompense associée (Wall & Malm, 2016), (Ribera, 2018), (Ibba, Pinna, Lunesu, Marchesi, & Tonelli, 2018), (Marchesi, Marchesi, & Tonelli, 2018). A côté du POW, il existe entre autres le Proof Of Stake (POS) utilisé par la blockchain privée et qui consomme beaucoup moins d'énergie car il définit directement un nœud pour miner le bloc en question (Wall & Malm, 2016), (Vijayakumar, Neelananarayanan, Rao, & Light, 2019). Le tableau ci-dessous récapitule quelques différences entre les deux types de blockchains. Il faut noter que certaines de ces valeurs sont approximatives, car soumises à variation, en fonction de la topologie et de la configuration du réseau blockchain ainsi que des caractéristiques techniques des nœuds (CPU, mémoire vive ...). De ce fait nous avons représenté la performance sous forme d'intervalle de valeurs compte tenu de ces variations. Le tableau 12 ci-dessous récapitule les différences en termes de contrôle et d'accès entre les deux blockchains.

Tableau 12: Blockchain publique vs blockchain privée

	Contrôle		Efficience en énergie	Performance		Sécurité	Attaques	Algorithme utilisé
	Accès	Niveau d'accès		Débit(tr/s)	Latence (s)			
Blockchain publique	Ouvert	Même niveau	Non	[3.8 ; 15]	[180 ; 3600]	+ sécurisé	+ exposé aux attaques	POW
Blockchain privée	Contrôlé	Niveau différent	Oui	[500 ; 1000]	< 1	- sécurisé	- exposé aux attaques	POS

Le tableau ci-dessus montre que la blockchain publique est accessible au public et tous les participants de son réseau sont au même niveau d'information contrairement à la blockchain privée où l'accès est restreint (avec certains utilisateurs qui ont plus de privilèges que d'autres). Ces deux modes d'accès diffèrent dans le fait que la BC publique est plus exposée aux attaques mais elle demeure plus sécurisée grâce à l'algorithme de consensus utilisé (POW). La BC privée quant à elle est plus rapide et l'attente est moins long pendant une opération.

Finalement la différence entre les blockchains sont factuelles et leur utilisation dépend du type de besoin et du contexte dans lequel on se trouve. Dans le monde industriel, la notion de performance est de plus en plus un besoin permanent à cause de plusieurs facteurs internes mais aussi externes. Cette performance peut varier d'une organisation à une autre en fonction des objectifs fixés et les critères qu'on veut mettre en avant dans le temps. Face à cette situation, l'utilisation d'une blockchain (qui est considéré aujourd'hui comme un atout dans le secteur de la supply chain) doit faire l'objet d'une définition sur mesure en fonction de ses aspects qu'on veut plus mettre en avant d'où le sens de notre contribution. En d'autres termes, on a jugé pertinent de définir grâce à la méthode FUZZY la quelle entre les deux blockchains on doit utiliser en fonction de l'importance des critères qu'on définira.

C. MODULE D'AIDE À LA DÉCISION POUR LE CHOIX D'UNE BLOCKCHAIN PRIVÉE OU PUBLIQUE

Cette contribution vise à déterminer laquelle des deux blockchains (publique ou privée) choisir en fonction de la réalité, du besoin et des différents goulots d'étranglement pendant les opérations. La méthode Fuzzy a été utilisée dans notre approche avec trois étapes principales :

- La définition des éléments du système à étudier par ordre d'importance et l'évaluation de la matrice.
- Définition du poids de chaque élément par rapport au choix envisagé
- L'analyse des résultats

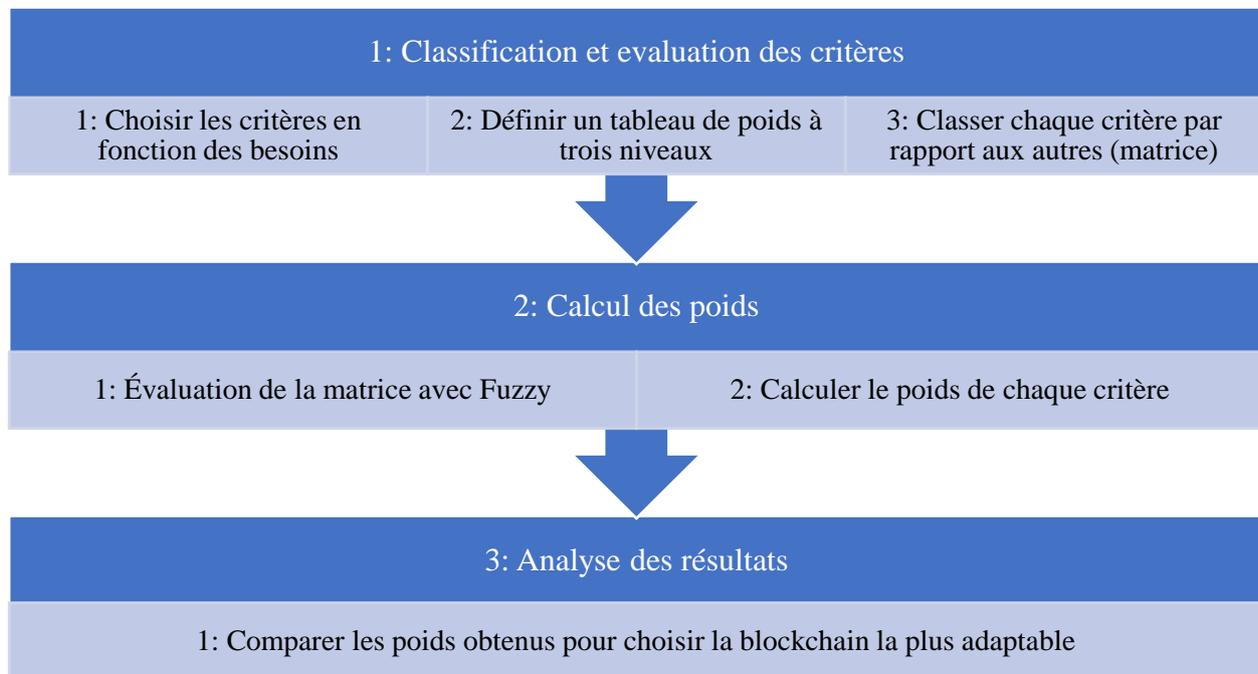


Figure 14: Méthode de sélection entre blockchain publique et privée

Pour une supply chain donnée et selon les challenges on a retenu cette classification ci-dessous des critères par ordre d'importance en guise d'exemple (mais selon chaque liste de besoins cette classification peut varier). En plus selon chaque secteur de la supply chain cette liste peut raccourcir ou s'élargir pour prendre en rigueur tous critères.

- **Haute sécurité (HS)** qui est une notion importante comme c'est relaté dans le chapitre 1. Parmi les défis majeurs dont sont confrontés les entreprises, plusieurs d'entre eux résultent de problèmes de sécurité des données.
- **Accessibilité aux données à tous (ADT)** qui peut être contrôler en fonction des niveaux de responsabilités et du profil. Cette visibilité est très importante dans la transparence et le suivi des opérations. Autrement dit cette notion met l'accent sur l'accès total à la bonne information à tout moment à toute partie prenante impliqué dans un processus.
- **Ecriture sans autorisation (ESA) qui** est souvent relatif en fonction des privilèges. Cependant, il est nécessaire de garantir l'enregistrement des informations afin que ces dernières puissent être réutilisée dans d'autres processus de manière optimale.

- **Canal privé (CP)** pour garantir des échanges privés qu'entre deux ou des parties concernées. Cela permettra d'impliquer que les utilisateurs concernés dans une ou des opérations.
- **Lecture sans autorisation (LSA)** qui est indispensable dans certains contextes. Cependant, il est nécessaire de classer les informations en fonction de leur sensibilité pour contrôler et gérer leur accès pour plus de sécurité.
- **Identification des nœuds (IN)** pour comprendre et situé les responsabilités en cas de problèmes. Ce contrôle est un moyen d'assurer la traçabilité dans les opérations.
- **Participation pour tous à la validation (PVT).** Dans la blockchain, la validation d'une transaction peut se faire sur des formes différentes : soit par tous ou la majorité des membres du réseaux soit par un seul utilisateur désigné. En fonction du type de blockchain choisi, la méthode de validation doit assurer les contrôles avant validation des opérations.
- **Haute performance latence (HPL)** qui peut affecter rapidement la performance d'une supply chain si les temps d'attentes des opérations sont longs. Un temps de latence nul offre une réponse rapide et favorise plus de réactivité et d'efficacité.
- **Haute performance débit (HPD)** qui est étroitement lié avec la latence. Au sein des opérations : plus le débit est élevé plus le temps de latence est réduit d'où l'importance de le maintenir haut pour assurer la qualité de service.

a. Classification des critères et évaluation de la matrice

Dans le tableau ci-dessous on a retenu trois degrés d'importance (1,3 et 9) avec chacun son trinôme associé comme le préconise Fuzzy(voir tableau ci-dessous).

Tableau 13: Pondération des critères

Niveau d'importance	Expression verbale	Fuzzy Triangulaire			Fuzzy Triangulaire réciproque		
		1	3	9	1	3	9
1	Même importance	1	1	1	1	1	1
3	Plus importance	1	3	5	1/5	1/3	1
9	Extrêmement plus importance	7	9	9	1/9	1/9	1/7

Après la pondération de critères, l'étape suivante consiste à représenter la matrice des critères en fonction du poids de chaque critère.

Tableau 14: Evaluation de la matrice avec les critères choisis

	LSA	ESA	IN	ADT	CP	HPL	HPD	HS	PVT
LSA	1	1/9	3	1/9	1/3	3	3	1/9	3
ESA	9	1	9	1/3	9	9	9	1/9	9
IN	1/3	1/9	1	1/3	1/3	3	3	1/9	3
ADT	9	3	3	1	3	3	3	1/9	3
CP	3	1/9	3	1/3	1	3	3	1/9	3
HPL	1/3	1/9	1/3	1/3	1/3	1	3	1/9	1/3
HPD	1/3	1/9	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1/9	1/3
HS	9	9	9	9	9	9	9	1	9
PVT	1/3	1/9	1/3	1/3	1/3	3	3	1/9	1

Le tableau 14 représente la classification des critères dans la matrice. Pour le comprendre, nous prendrons l'exemple du critère HS. Dans la classification ci-dessus, le critère HS a été considéré comme le plus important par rapport aux autres. De ce fait, HS prend la valeur 9 (qui correspond à : "extrême importance" cf. tableau 13) dans l'ensemble du tableau dans les autres critères pour marquer son poids. La valeur "1" matérialise la comparaison d'un critère avec lui-même. Il est important de noter que cette classification peut changer à tout moment et dépend des objectifs fixés et des résultats que chaque organisation veut mettre en avant. Après la matrice de ces critères, le tableau 15 ci-dessous représente l'évaluation de la matrice de Fuzzy.

b. Calculs des poids moyens

Le tableau ci-dessous est une reproduction du tableau 14 appliqué à la méthode floue. Pour bien comprendre le tableau, il faut considérer le tableau 13, qui représente les triangles fuzzy de chaque niveau d'importance (Ex : 1 correspond à 1 1 et 3 à 1 3 5). En appliquant le tableau 14 à notre matrice, nous obtenons le tableau 15 qui nous permettra de calculer le poids exact de chaque critère grâce à :

- La moyenne géométrique (\tilde{r}_i) utilisée pour obtenir d'un critère en fonction des autres. $\tilde{r}_i = (\prod_{j=1}^n \tilde{a}_{ij})^{1/n}, i=1, 2, \dots, n$
- Le poids (\tilde{w}_i) du critère obtenu grâce à la moyenne géométrique de ce dernier. $\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \tilde{r}_3 \dots \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} = (lw_i, mw_i, uw_i)$
- Les poids normalisée (N_i). $N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i}$
- La moyenne des poids (W_{ci}). $W_{ci} = \frac{lw_i + mw_i + uw_i}{3}$

Tableau 15: Évaluation de la matrice avec des valeurs FUZZY

	LSA			ESA			IN			ADT			CP			HPL			HPD			HS			PVT					
LSA	1	1	1	1/9	1/9	1/7	1	3	5	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1	1	3	5	1	3	5	1/9	1/9	1/7	1	3	5			
ESA	7	9	9	1	1	1	7	9	9	1/5	1/3	1	7	9	9	7	9	9	7	9	9	1/9	1/9	1/7	7	9	9			
IN	1/5	1/3	1	1/9	1/9	1/7	1	1	1	1/5	1/3	1	1/5	1/3	1	1	3	5	1	3	5	1/9	1/9	1/7	1	3	5			
ADT	7	9	9	1	3	5	1	3	5	1	1	1	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1/9	1/9	1/7	1	3	5			
CP	1	3	5	1/9	1/9	1/7	1	3	5	1/5	1/3	1	1	1	1	1	3	5	1	3	5	1/9	1/9	1/7	1	3	5			
HPL	1/5	1/3	1	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1	1/5	1/3	1	1/5	1/3	1	1	1	1	1	3	5	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1			
HPD	1/5	1/3	1	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1	1/5	1/3	1	1/5	1/3	1	1/5	1/3	1	1	1	1	1	1	1	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1
HS	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	7	9	9	1	1	1	7	9	9			
PVT	1/5	1/3	1	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1	1/5	1/3	1	1/5	1/3	1	1	3	5	1	3	5	1/9	1/9	1/7	1	1	1			

Tableau 16: Poids des critères

	Moyenne géométrique Fuzzy \tilde{r}_i			Poids \tilde{w}_i			Poids normalisé N_i			Poids moyen W_{ci}
LSA	0,40	0,69	1,07	0,020447972	0,044474888	0,096791855	0,036403291	0,044474888	0,054368632	0,04508227
ESA	2,40	3,00	3,49	0,121927826	0,192431665	0,315607063	0,217066716	0,192431665	0,177278598	0,195592326
IN	0,36	0,61	1,11	0,018253684	0,039364197	0,10047899	0,032496825	0,039364197	0,05643972	0,042766914
ADT	0,97	2,08	3,01	0,049461497	0,133424664	0,272265108	0,088055738	0,133424664	0,152933132	0,124804511
CP	0,51	1,00	1,59	0,026102205	0,064143888	0,143681855	0,046469457	0,064143888	0,080707059	0,063773468
HPL	0,25	0,38	0,78	0,012765089	0,02415725	0,070266544	0,022725543	0,02415725	0,039469187	0,028783993

HPD	0,21	0,30	0,65	0,010674819	0,018924332	0,05876047	0,019004258	0,018924 332	0,033006149	0,023644913
HS	5,64	7,05	7,05	0,286808933	0,452241951	0,638411037	0,510602668	0,452241 951	0,358599749	0,440481456
PVT	0,30	0,48	0,93	0,015264662	0,030837165	0,084025659	0,027175503	0,030837 165	0,047197774	0,035070148

Le tableau 16 nous permet d'avoir le poids moyen de chaque critère (Wci). Ces poids seront utilisés dans la dernière étape de notre démarche pour vérifier quelle blockchain est plus apte à répondre aux besoins par rapport aux critères définis au départ et en fonction des résultats obtenus. La dernière étape avant d'analyser nos résultats est de répéter le même processus de l'étape B (calculs pour obtenir le poids moyen) pour chaque critère(c) et de donner son importance en termes de blockchain publique et privée.

L'étape suivante de cette procédure consiste à comparer les deux blockchains en tenant en compte la liste de nos critères définis au départ. Autrement dit chaque type de blockchain met en avant ou privilégie des critères techniques aux dépens d'autres (cf Tableau 12). En guise d'exemple prenons la notion de sécurité et comparons les deux blockchains en fonction de cette dernière. Dans la blockchain publique, l'accès est ouvert ce qui amène un nombre important d'utilisateurs dans ce type de réseaux. Dans ce contexte, on peut vite comprendre que la vérification d'une opération ou d'une transaction est réalisée par un nombre conséquent d'utilisateurs (minimum 51% du réseau) avant son ajout dans un bloc de données ce qui accroît la sécurité du réseau. Contrairement à la blockchain privée qui est un réseau fermé dont l'accès est contrôlé, la validation d'une transaction est effectuée par un nombre réduit comparé à la blockchain publique. Dans ce contexte on peut affirmer que la sécurité est beaucoup plus importante dans la blockchain publique que dans la blockchain privée. A l'opposé prenons la vulnérabilité aux attaques. Avec la blockchain privée, l'accès est restreint et chaque utilisateur peut être identifié contrairement à la blockchain publique. De ce fait, utiliser une blockchain privée protégerait plus les entreprises contre les attaques.

Tableau 17: Classification des blockchains en fonction des critères

		Publique	Privée
LSA	Public	1	3
ESA	Public	1	3
IN	Public	1	1/9
ADT	Public	1	3
CP	Public	1	1/9
HPL	Public	1	1/9
HPD	Public	1	1/9
HS	Public	1	1/9
PVT	Public	1	1

Le tableau ci-dessus représente le poids des critères dans chacune des deux blockchains publique et privée. Cela permettra d'obtenir, pour chaque critère, quelle est la blockchain la plus appropriée à utiliser. Pour ce faire, nous nous basons toujours sur le tableau 12 qui contient les différences entre les deux blockchains. IN ou identification des nœuds(utilisateurs) est assuré que par la blockchain privée (d'où la blockchain publique recevra 1/9 face à celle privée pour marquer son infériorité face à ce critère).

Tableau 18 : Comparaison des deux blockchains en fonction du critère « HS »

HS	public	private
public	1	1/9
private	9	1

Tableau 19 : Calcul des poids en fonction du critère « HS »

HS	public			private			fuzzy geometric mean value			weight			normalized weight			average weight
public	1	1	1	1/9	1/9	1/7	0,333	0,333333333	0,377964473	0,099	0,1	0,11189	0,112	0,1	0,112	0,107927462
private	7	9	9	1	1	1	2,646	3	3	0,783	0,89	0,88811	0,888	0,9	0,888	0,892072538

Pour calculer les pondérations, l'approche est la même pour tous les critères, nous allons simplement représenter les calculs de deux critères et mettre le résultat des autres. Nous avons choisi le critère "Haute sécurité" en raison de son importance dans la gestion de l'information pour la chaîne d'approvisionnement. Le deuxième critère est l'ADT (accès aux données par tous les utilisateurs).

D'après le tableau 12, on comprend rapidement que plus la blockchain est exposée, plus elle est vulnérable aux attaques. Dans le contexte des deux blockchains, nous voyons clairement que la blockchain privée est plus fermée car elle n'est accessible qu'aux acteurs qui ont le droit de l'utiliser. Dans ce cas, le critère choisi correspond plus à l'utilisation de la blockchain privée que publique, d'où le choix de nos valeurs.

La blockchain publique étant ouverte à tout utilisateur présent dans le réseau, elle permet un accès à l'information sans filtre. Par conséquent, le critère ADT est davantage garanti dans la blockchain publique que dans la blockchain privée. Dans ce cas, ces critères donnent l'avantage à la blockchain publique d'où la représentation ci-dessous.

Tableau 20: Comparaison des deux blockchains en fonction du critère « ADT »

ADT	public	private
public	1	3
private	1/3	1

Tableau 21: Calcul des poids en fonction du critère « ADT »

ADT	public			private			fuzzy geometric mean value			weight			normalized weight			average weight
public	1	1	1	1	3	5	1	1,732050808	2,236067977	0,309	0,75	1,54508	0,691	0,75	0,691	0,710655337
private	0,2	1/3	1	1	1	1	0,447	0,577350269	1	0,138	0,25	0,69098	0,309	0,25	0,309	0,289344663

c. Analyse des résultats

Cette partie est l'analyse ou l'interprétation des résultats obtenus. Pour obtenir le résultat final, elle cumule le produit du poids de chaque critère et du poids de la blockchain comme indiqué dans la formule "Résultats". Par rapport à notre choix de critères et à leur classification, nous voyons clairement que la blockchain privée est beaucoup plus avantageuse dans ce contexte.

Tableau 22: Tableau des résultats

	Poids moyens W_{Ci}	Publique: W_{A1}	Privée W_{A2}
LSA	0,045082	0,672	0,328
ESA	0,195592	0,7107	0,2893
IN	0,042767	0,1079	0,8921
ADT	0,124805	0,7107	0,2893
CP	0,063773	0,1079	0,8921
HPL	0,028784	0,1079	0,8921
HPD	0,023645	0,1079	0,8921
HS	0,440481	0,11	0,89
PVT	0,03507	0,5	0,5
Résultats		0,3411	0,6589

$$Resultats = \sum_{i=1}^n (WC_i)$$

A partir des critères que nous avons retenus, nous pouvons constater que l'utilisation d'une blockchain privée reste la meilleure solution si l'on se limite à ces éléments techniques et à leur ordre d'importance. Il faut noter que le choix de ces critères est indicatif et nous a permis de développer une approche scientifique du choix d'une blockchain pour un projet, mais d'autres aspects importants pourraient être ajoutés à la liste, tels que la transparence, la traçabilité, l'efficacité énergétique, etc. Ainsi, la généricité de la méthode FUZZY utilisée dans cette contribution peut couvrir un projet beaucoup plus large qui prendra en plus de l'aspect technique les dimensions économiques et environnementales.

D. Application

Dans cette partie nous présentons le développement de l'application du choix présenté ci-dessus. L'application permet de faire tous les calculs et de tester les résultats obtenus par rapport aux résultats obtenus dans la théorie.

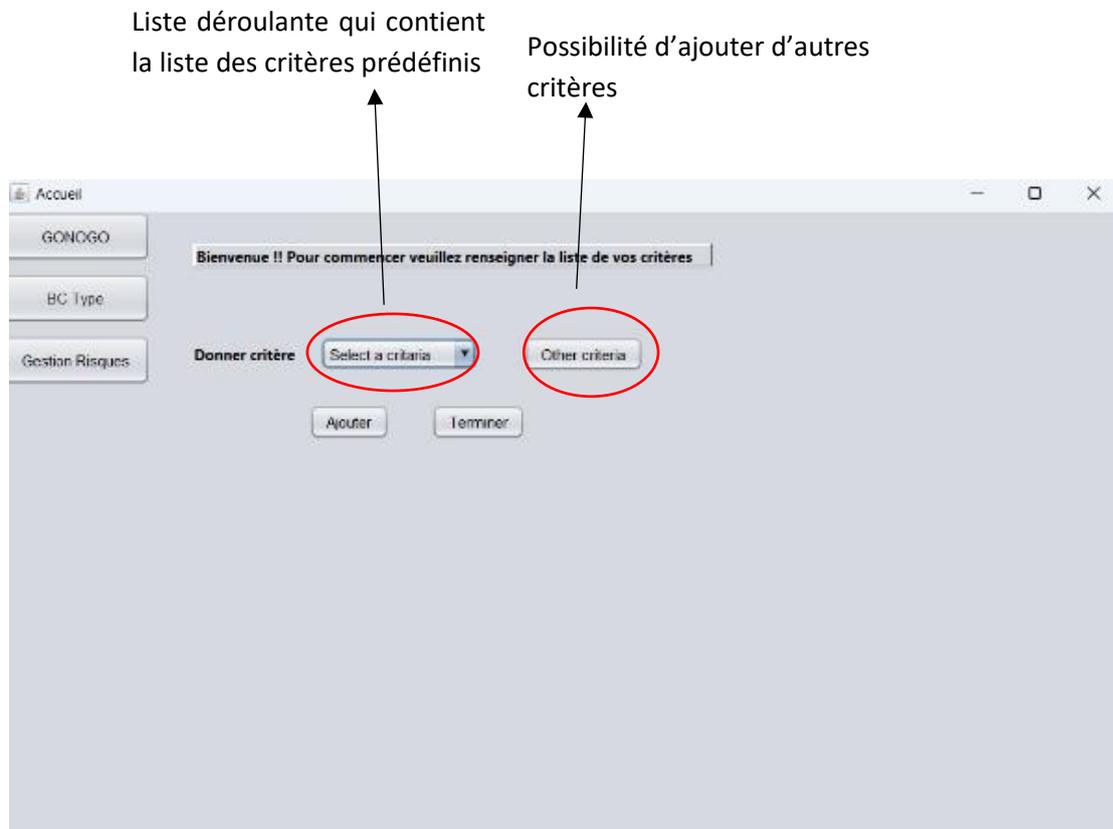


Figure 15: Page d'accueil

Voici la page d'accueil de notre application. Nous avons décidé de représenter la liste des critères définis dans la partie 3. Cependant, pour assurer la genericité de l'application. En d'autres termes, en plus des critères déjà définis, l'utilisateur a la possibilité d'ajouter d'autres critères s'ils ne figurent pas dans la liste.

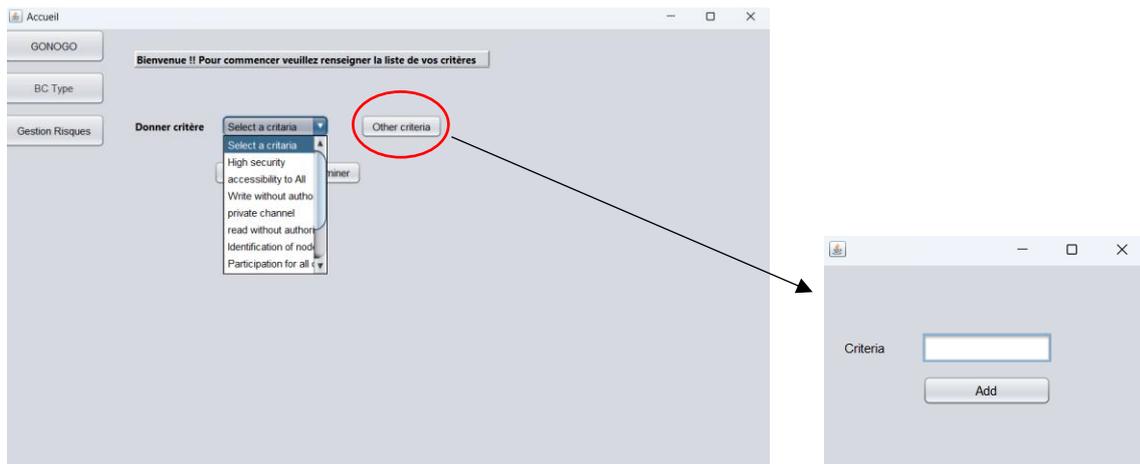


Figure 16: Ajout d'un nouveau critère

Nous avons décidé de rendre l'application aussi générique que possible. En plus des critères prédéfinis (qui sont les critères définis dans la section 3), l'utilisateur peut ajouter d'autres critères en fonction de ses besoins, comme le montre la figure ci-dessous.

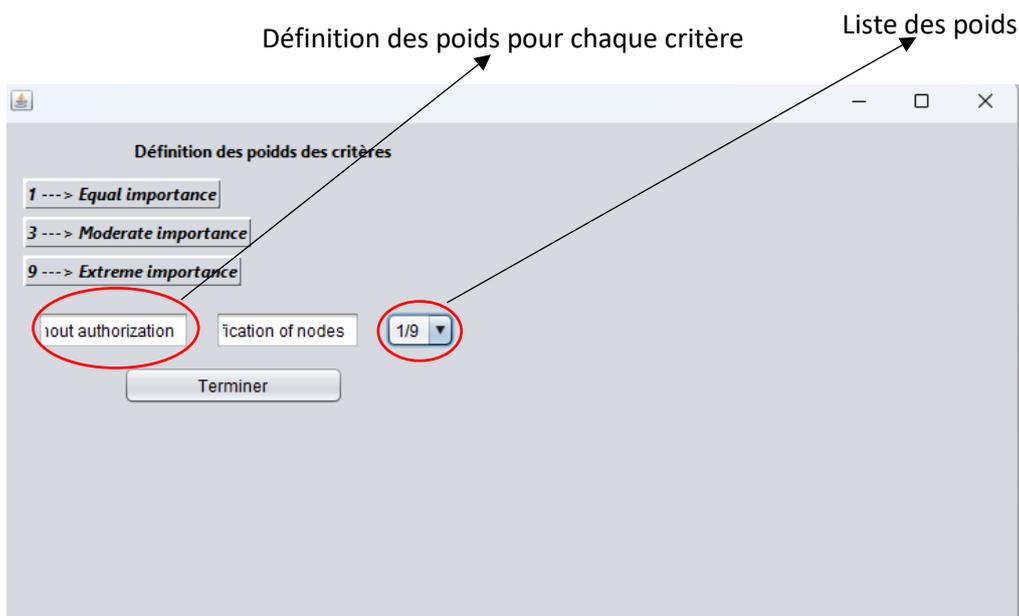


Figure 17: Définition du poids des critères

Après avoir défini la liste des critères, vient le moment de définir le poids de chacun d'entre eux par rapport aux autres afin de permettre à ces derniers de bien se classer par rapport aux choix de l'utilisateur mais aussi d'établir la matrice Fuzzy. A tour de rôle, la définition du poids de chaque critère sera effectuée dans cette partie en fonction de son importance par rapport aux autres comme le montre la figure ci-dessous.

Puisque nous avons décidé d'utiliser les mêmes critères et leurs poids de la partie contribution pour tester la fiabilité de notre application, la figure ci-dessous représente notre matrice de critères définis en fonction de leur poids. Puisque nous avons utilisé les mêmes données pour confirmer nos résultats de la partie 3/A. Par exemple, le critère "LSA" a les mêmes poids que ceux définis dans le tableau 14. Le critère "HS" domine également tous les autres critères, d'où sa valeur de 9 (qui signifie qu'il est plus important que les autres dans ce cas) par rapport aux autres.

	read without ...	Write without ...	Identification ...	accessibility t...	private chan...	Haute perfor...	Haute perf...	High ...	Partici...
read without authorization	1.0	0.1	3.0	0.1	0.3	3.0	3.0	0.1	3.0
Write without authorization	9.0	1.0	9.0	0.3	9.0	9.0	9.0	0.1	9.0
Identification of nodes	0.3	0.1	1.0	0.3	0.3	3.0	3.0	0.1	3.0
accessibility to All	9.0	3.0	3.0	1.0	3.0	3.0	3.0	0.1	3.0
private channel	3.0	0.1	3.0	0.3	1.0	3.0	3.0	0.1	3.0
Haute performance latency	0.3	0.1	0.3	0.3	0.3	1.0	3.0	0.1	0.3
Haute performance throughput	0.3	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	1.0	0.1	0.3
High security	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	1.0	9.0
Participation for all on validation	0.3	0.1	0.3	0.3	0.3	3.0	3.0	0.1	1.0

Figure 18: Evaluation de la matrice avec les critères choisis

Les deux figures ci-dessous représentent l'évaluation de la matrice en FUZZY, Moyenne géométrique floue, Poids et Poids moyen. Cela correspond aux tableaux 15 et 16. Pour le critère "HS" ou Haute sécurité, les résultats sont présentés (cf. figure 20) :

$\tilde{r}_{HS} = 5.6; 7; 7$, $N_{HS} = 0.51; 0.46; 0.36$, $W_{HS} = 0.45$
De la même manière, pour les critères "PVT", nous avons :

$\tilde{r}_{HS} = 0.3; 0.4; 0.9$, $N_{HS} = 0.02; 0.03; 0.04$, $W_{HS} = 0.03$
En comparant les résultats avec les tableaux 15 et 16, il est clair que nos calculs correspondent (cf figure ci-dessous).

	read wit...	Write w...	Identific...	accessi...	private ...	Haute p...	Haute p...	High se...
read wit...	1	0.111	0.14	0.111	0.14	0.111	0.14	0.111
Write w...	0.2	1	0.111	0.14	0.111	0.14	0.111	0.14
Identific...	0.2	0.333	1	0.111	0.14	0.2	0.333	1
accessi...	0.2	0.333	0.111	1	0.14	0.2	0.333	1
private ...	0.2	0.333	0.111	0.14	1	0.2	0.333	1
Haute p...	0.2	0.333	0.111	0.14	0.2	1	0.111	0.14
Haute p...	0.2	0.333	0.111	0.14	0.2	0.333	1	0.111
High se...	0.2	0.333	0.111	0.14	0.2	0.333	0.111	1
Particip...	0.2	0.333	0.111	0.14	0.2	0.333	0.111	0.14

Liste des critères

Figure 19: Évaluation de la matrice avec des valeurs FUZZY

	Particip...	Fuzzy ...	Weight	Normali...	Averag...				
1	3	5	0.4	0.6	1.0	0.03738...	0.0402...	0.05206...	0.043
7	9	9	2.3	2.9	3.4	0.2149...	0.19463...	0.1770...	0.195
1	3	5	0.3	0.6	1.1	0.0280...	0.04026...	0.0572...	0.041
1	3	5	0.9	2.0	3.0	0.0841...	0.13422...	0.1562...	0.124
1	3	5	0.5	0.9	1.5	0.0467...	0.06040...	0.0781...	0.061
0.2	0.333	1	0.2	0.3	0.7	0.0186...	0.02013...	0.0364...	0.025
0.2	0.333	1	0.2	0.2	0.6	0.0186...	0.01342...	0.0312...	0.021
7	9	9	5.6	7.0	7.0	0.5233...	0.46979...	0.3645...	0.452
1	1	1	0.3	0.4	0.9	0.0280...	0.02684...	0.0468...	0.033

Figure 20: Poids des critères

Ces résultats peuvent être vérifiés dans les tableaux 15 et 16. Comme autre exemple, prenons le critère "IN" ou critère d'identification du nœud (troisième ligne dans la liste des critères), qui consiste à identifier chaque participant au réseau blockchain, occupe la troisième position dans notre tableau. Nous pouvons constater que nous avons également les mêmes résultats.

$$\tilde{r}_{IN} = 0.3; 0.6; 1.1, N_{IN} = 0.03; 0.04; 0.05, W_{IN} = 0.041$$

L'étape suivante a été de définir pour chaque critère son poids en termes de blockchain publique et privée avant de calculer le résultat final (voir figure 21 ci-dessous).

Cette partie représente l'ensemble des poids des critères dans chacune des deux blockchains publique et privée. Pour rappel, pour chaque critère, nous définirons quelle blockchain est la plus appropriée à utiliser. Notre but étant de tester la validation de nos calculs en utilisant les mêmes valeurs que dans notre approche, nous avons utilisé les mêmes valeurs du tableau 17. Pour ce faire, nous nous basons toujours sur le tableau 12 qui contient les différences entre les deux blockchains.



Figure 21: Classification des blockchains en fonction des critères

Nous pouvons effectivement confirmer le résultat ("Totals") obtenu 0,3 pour la blockchain publique et 0,6 pour la blockchain privée ce qui montre la fiabilité de notre application. En comparant les résultats avec le tableau de la partie C, nous constatons que nous avons les mêmes résultats. Pour le critère "HS" nous avons :

"HS" nous avons:

$$W_{ci} = 0.45 \quad W_{A1} = 0.1 \quad W_{A2} = 0.8$$

"HPD" nous avons:

$$W_{ci} = 0.021 \quad W_{A1} = 0.1 \quad W_{A2} = 0.8$$

Liste des critères

Poids des critères

	Weight	Public	Private
read without auth...	0.043	0.6	0.3
Write without auth...	0.195	0.6	0.3
Identification of n...	0.041	0.1	0.8
accessibility to All	0.124	0.6	0.3
private channel	0.061	0.1	0.8
Haute performan...	0.025	0.1	0.8
Haute performan...	0.021	0.1	0.8
High security	0.452	0.1	0.8
Participation for a...	0.033	0.5	0.5
Totals		0.3	0.6

W_{A1} W_{A2}

Figure 22: Tableau des résultats

Pour le critère "PVT" (**Participation pour tous à la validation**) : Puisqu'une vérification est nécessaire avant qu'une transaction puisse être validée dans la blockchain (publique et privée), ce critère a le même poids dans les deux blockchains. Nous avons les données suivantes :

$$W_{ci} = \begin{matrix} W_{A1}=0.5 \\ W_{A2} \\ = 0.5 \end{matrix}$$

E. Conclusion

La technologie Blockchain attire tous les secteurs et le domaine de la chaîne d'approvisionnement ne fait pas exception. Les avantages offerts par cette technologie poussent de plus en plus d'acteurs à en expérimenter ses différentes facettes. Cependant, le lancement d'un projet de blockchain nécessite beaucoup de préparation afin de le mener à bien et d'éviter les risques éventuels : Décider du type de blockchain à utiliser pour votre projet en fait partie. Ce choix est essentiel en fonction des attentes et des exigences de départ. L'approche présentée permet de sélectionner un ensemble de critères susceptibles d'appartenir à une chaîne d'approvisionnement et d'en déduire le type de blockchain le mieux adapté. La méthode Fuzzy qui va dans ce sens a été utilisée dans cette approche. L'avantage de cette contribution est que l'approche choisie nous permettrait de choisir notre type de blockchain à utiliser dans n'importe quel projet donné pour n'importe quelle chaîne d'approvisionnement. En effet, nous pouvons ajouter autant de critères que nous voulons, ce qui rend cette proposition très intéressante et générique. La dernière partie présente l'application qui a été développée pour soutenir l'utilisation de la méthode et pour démontrer la fiabilité de nos calculs. Les résultats ont montré que nos calculs sont efficaces et que cette approche reste une méthode rapide et sûre. Outre les aspects techniques et fondamentaux, nous pourrions inclure d'autres aspects tels que le volet environnemental, l'aspect économique, la durabilité, etc afin d'étendre le périmètre autant que possible pour plus de fiabilité.

6. Gestion Risques

A. Introduction

Comme dans tout projet, une étude préalable d'ordre technique et organisationnelle est requise pour situer les points ou axes touchés et identifier les risques. Ces risques, considérés comme tout éléments susceptibles d'interférer avec la bonne conduite du projet, constituent l'élément commun à tout projet à des différences près. Ils peuvent se caractériser par le non-respect des délais, le dépassement des coûts, des fonctionnalités ne répondant pas aux besoins, etc. Dans les projets blockchains, ce risque de risque s'est amplifié suite à de nombreux aspects liés à la technologie notamment le manque de maîtrise, l'immaturation de la technologie, l'absence de méthodologie, etc (Sanka & al, 2021). Dans la partie 4, nous avons mis l'accent sur le pilotage

de la blockchain en représentant différents niveaux de décision grâce à la méthode GRAI pour anticiper ou minimiser les risques détecter lors de la mise en place d'un projet blockchain. Dans cette logique, le but de cette section mettra l'accent sur le développement d'un outil de gestion de risque afin de représenter certains éléments de la méthode ABCD dans le chapitre 4. Dans notre démarche, nous nous sommes intéressés aux types de risques auxquels on est souvent confronté : les coûts et les délais. Les types de risques sont les mêmes qui sont représentés dans ABCD en plus des opportunités de réduction.

B. Modélisation

a. Diagramme de cas d'utilisation

Ce diagramme est utilisé pour illustrer les échanges entre les utilisateurs et les fonctions du système. Sans rentrer dans le détail technique ce diagramme montre les actions qu'un utilisateur du système peut faire et l'ensemble des conditions à respecter (Lucidchart, 2023).

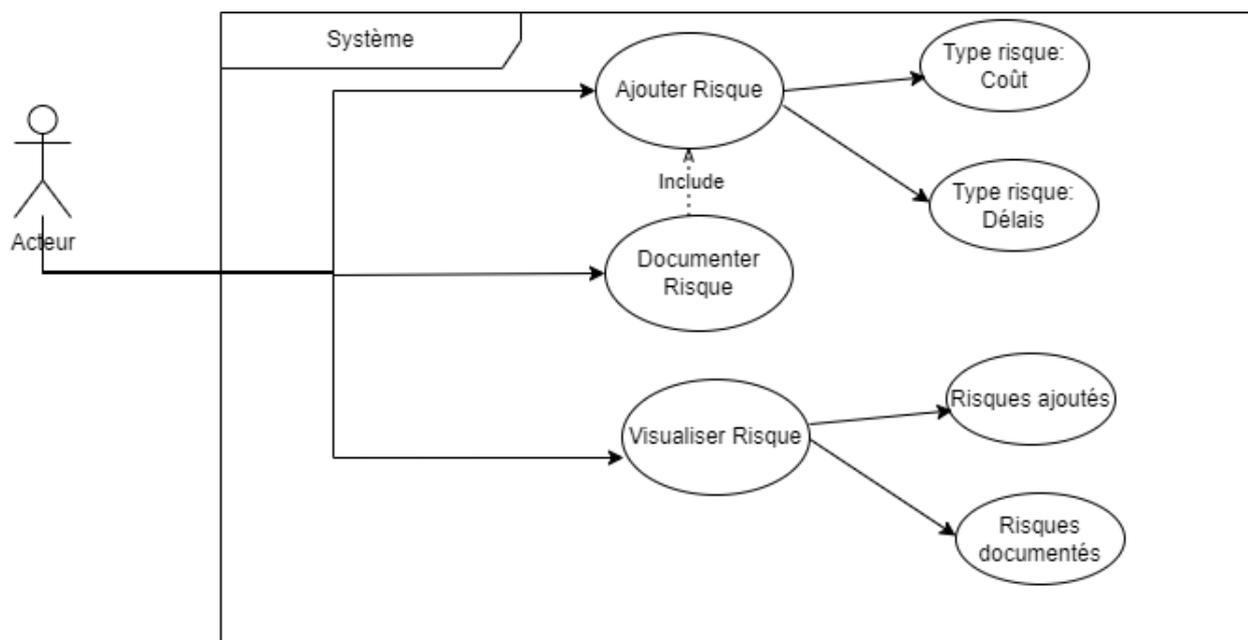


Figure 23: Diagramme de cas d'utilisation

Dans notre cas d'utilisation, l'utilisateur peut interagir avec trois fonctionnalités principales : Ajouter l'impact du risque, assurer sa documentation et Visualiser risque. Les risques peuvent être de type coût ou de type délais et pour documenter un risque il faut obligatoirement qu'il se trouve déjà dans le système. Pour le cas de visualisation des risques, l'utilisateur a la possibilité de consulter tous les risques ajoutés dans le système ou seulement les risques déjà documentés.

b. Diagramme de séquence du cas Ajouter risque

Le diagramme de séquence est utilisé pour représenter le détail de chaque cas d'utilisation en mettant en exergue toutes les séquences ou scénarios possible entre l'utilisateur et le système pour une fonctionnalité donnée.

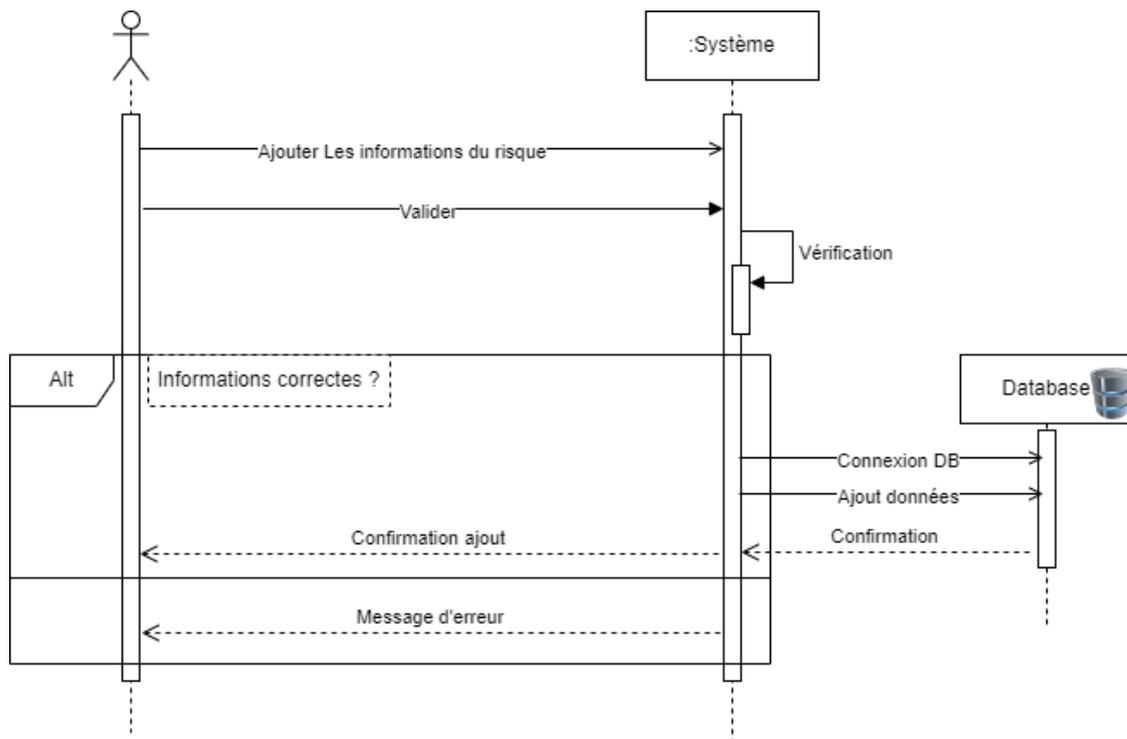


Figure 24: Diagramme de séquence du cas ajouter risque

Le diagramme de la figure 24 montre que pour ajouter un risque l'acteur renseigne toutes les informations liées au risque (nom risque, type, probabilité, etc) et valide la saisie. Après validation, le système va procéder à une vérification de la saisie. Si les informations sont correctes le système se connecte à la base de données et ajoute les données dans une table relationnelle. Après avoir reçu la confirmation de l'ajout, le système envoie une confirmation à l'utilisateur. Dans le cas où la saisie est incorrecte, le système envoie un message d'erreur directement à l'utilisateur.

c. Diagramme de séquence Documenter risque

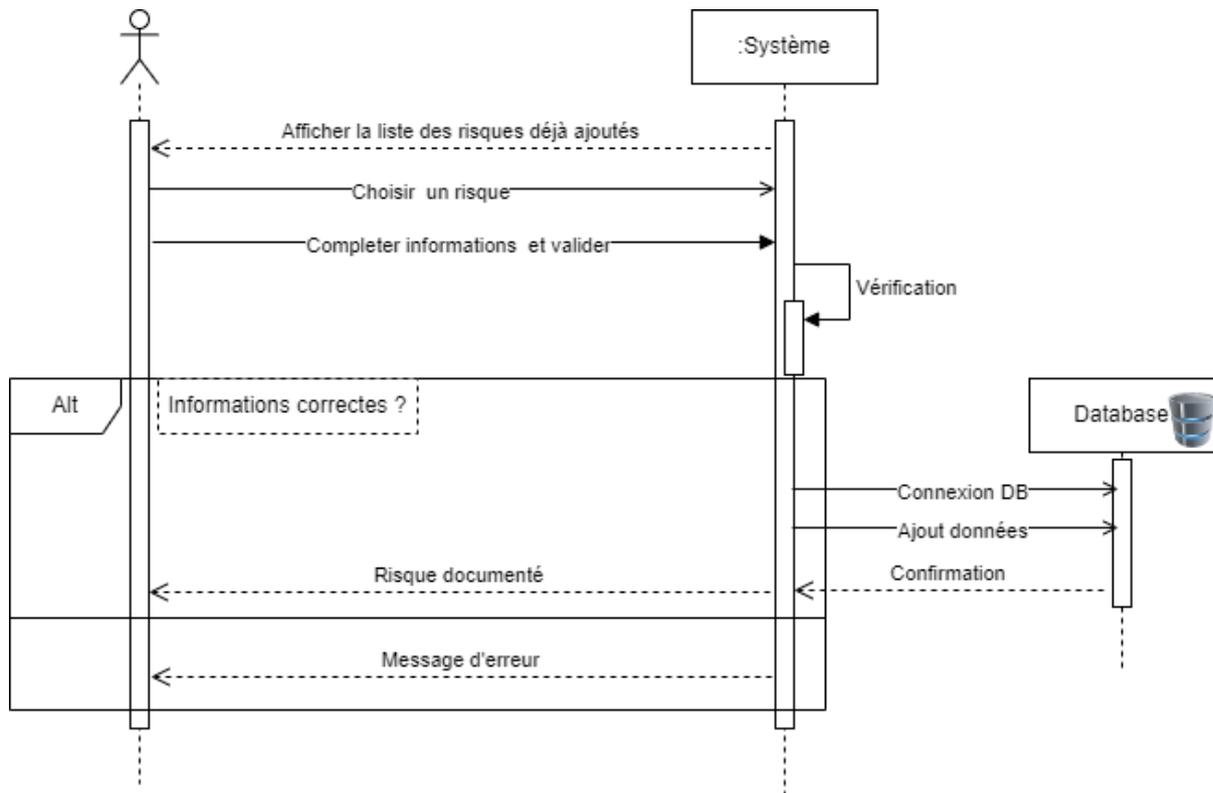


Figure 25: Diagramme de séquence documenter risque

Dans le cadre de la documentation d'un risque (figure 25), le système affiche tous les risques ajoutés par l'utilisateur une fois que ce dernier a cliqué sur la fonctionnalité. Il faut rappeler que la documentation d'un risque est possible que si le risque en question a été ajouté au préalable. Dans cette liste affichée par le système, l'utilisateur peut en choisir un et compléter les données d'entrées pour la documentation en l'occurrence le niveau de gravité du risque, les résultats obtenus après sa gestion, etc. Après saisie, l'utilisateur valide ces informations ce qui déclenche une vérification par le système. Si la saisie est correcte, les données sont stockées dans la base de données et dans le cas contraire le système envoie un message d'erreur à l'utilisateur.

d. Diagramme de séquence consultation risques

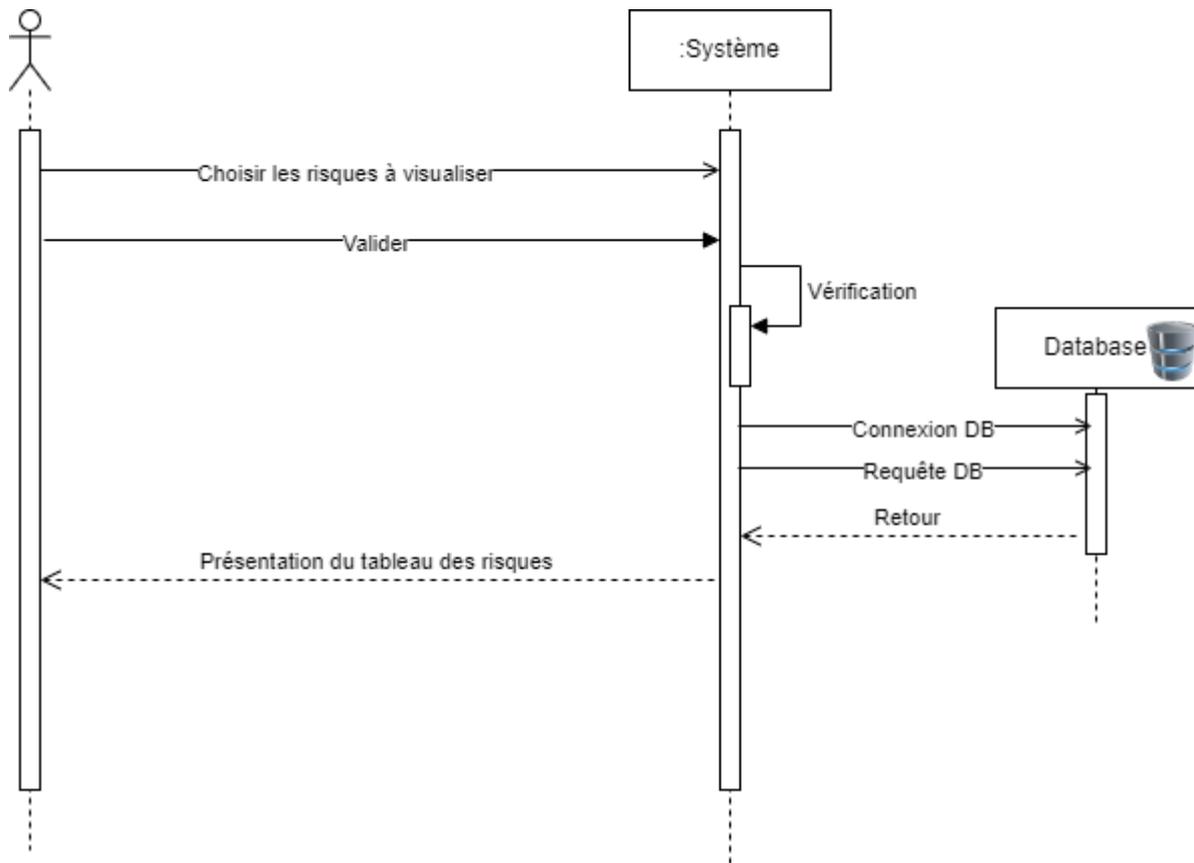


Figure 26: Diagramme de séquence consultation risque

La figure 26 nous montre que pour consulter les risques, l'utilisateur a deux choix : Choisir la liste des risques ajoutés ou ceux déjà documentés. Après ce choix l'utilisateur valide et attend la vérification du système. Ce dernier va directement s'introduire dans la base de données et récupérer les informations contenues dans la requête. Après ça, le système renvoie la liste à l'utilisateur sous forme de tableau pour sa consultation.

C. La gestion des coûts

La gestion des coûts est une condition incontournable dans un projet blockchain car elle est le seul moyen de contrôler les dépenses associées aux tâches et de prévenir sur les situations de crises financières. Cette pratique donne une vision éclairée de la capacité financière disponible ainsi qu'à la priorisation des tâches nécessaires pour assurer la réussite du projet. Dans un projet blockchain, un suivi précis et régulier est nécessaire pour identifier les étapes les plus consommatrices de ressources et d'y consacrer les efforts nécessaires pour dépasser le plus rapidement possible ces goulots. En se basant sur la documentation de la blockchain, plusieurs acteurs ont jugé la blockchain non pertinente à cause du manque de rentabilité. En effet, les

efforts et les risques d'échecs liés notamment aux coûts ont installé une certaine réticence chez les clients de projets. Il faut noter que la rentabilité fait partie des aspects clés à vérifier dans l'utilisation d'une technologie. Ce problème de rentabilité est en partie lié à une surconsommation des ressources financières lors des projets blockchain dont certains, à cause d'un manque de maîtrise et de support, sont abandonnés avant même d'aboutir la phase finale. Cependant, la transparence sur la gestion des coûts et une communication permanente est nécessaire pour assurer une collaboration efficace d'où la proposition de notre application qui supportera l'évaluation des coûts.

D. La gestion des délais

La structuration des tâches, l'exécution et les livrables de chaque partie du projet nécessitent un plan de gestion des délais qui permettrait d'assurer la coordination de toutes les parties prenantes dans un intervalle de temps bien défini. En effet, la transparence assurée grâce à un calendrier bien défini permettrait un suivi permanent d'un projet BC. Cette gestion a entre autres comme objectif de bien définir un temps d'exécution des tâches en fonction de la charge et de la complexité. Cela permettrait aussi d'optimiser l'utilisation des ressources en allouant à chaque partie ses besoins en termes de personnel, ou d'équipements. L'un des principaux avantages de la gestion du temps de projet est aussi l'identification des différents goulots d'étranglement. Cette identification permettrait de dresser une stratégie de contournement ou d'atténuation.

E. Application

Dans cette partie nous présentons le développement de l'application qui permet de représenter et classer les risques en fonctions de critères bien définis. Cette solution est une simplification de notre méthode ABCD avec la proposition d'une interface facile à utiliser prenant en compte trois axes en l'occurrence :

- L'ajout de risque pour identifier/recueillir tous les problèmes(risques) éventuels qui guettent autour du projet. Dans la méthode ABCD du chapitre 4, sont représentés ces risques
- La documentation des risques pour évaluer le risque en question. Cette évaluation consiste à identifier les types d'actions apportées à ce risque en fonction des priorités.
- Le tableau des risques pour visualiser tous les risques identifiés et ceux rencontrés en cours de projet.

L'interface de la figure 27 ci-dessous représente la page d'accueil de l'application. On remarque les trois fonctions principales expliquées ci-dessus. Nous allons rentrer dans le détail de chaque fonctionnalité pour voir ses composants et les résultats obtenus après chaque opération.



Figure 27: Page d'accueil

Pour la première étape on a l'option « ajouter risque » qui permet d'ajouter un risque bien identifié. Comme données d'entrée nous avons :

- Le nom de chacun des risques qui peut changer en fonction du contexte et du type de projet et de la terminologie de l'entreprise. Il est important d'assurer une analyse détaillée pour identifier les risques les plus probables et les plus importants. Les données de sortie de cette étape permettront de dresser un plan de gestion des risques pour mieux en diminuer la probabilité (actions de prévention) ou diminuer les impacts (actions de protection).
- Le type du risque qui peut être d'ordre financier ou temporel. Les risques temporels sont associés aux échéances prévisionnelles et à leur gestion. Les risques financiers sont quant à eux liés à tout budget du projet et aux coûts non prévus.
- La probabilité de rencontrer le risque. Cette donnée est très importante même s'il est difficile de déterminer une valeur exacte à cause des nombreux critères à prendre en compte. Cependant il est important en fonction de la complexité du projet et des compétences qu'on a à notre disposition de prédire, sur un intervalle bien défini, cette probabilité pour bien se préparer à la gestion appropriée. Cette probabilité peut être liée

au nombre de fois que la tâche associée au risque est réalisée mais peut aussi être évaluée par analogie avec un projet similaire déjà réalisé.

- Les actions de prévention ou de protection préconisées pour diminuer le risque. Ces actions sont très liées au risque et doivent découler de l'analyse approfondie effectuée pendant la phase d'initialisation et de faisabilité.

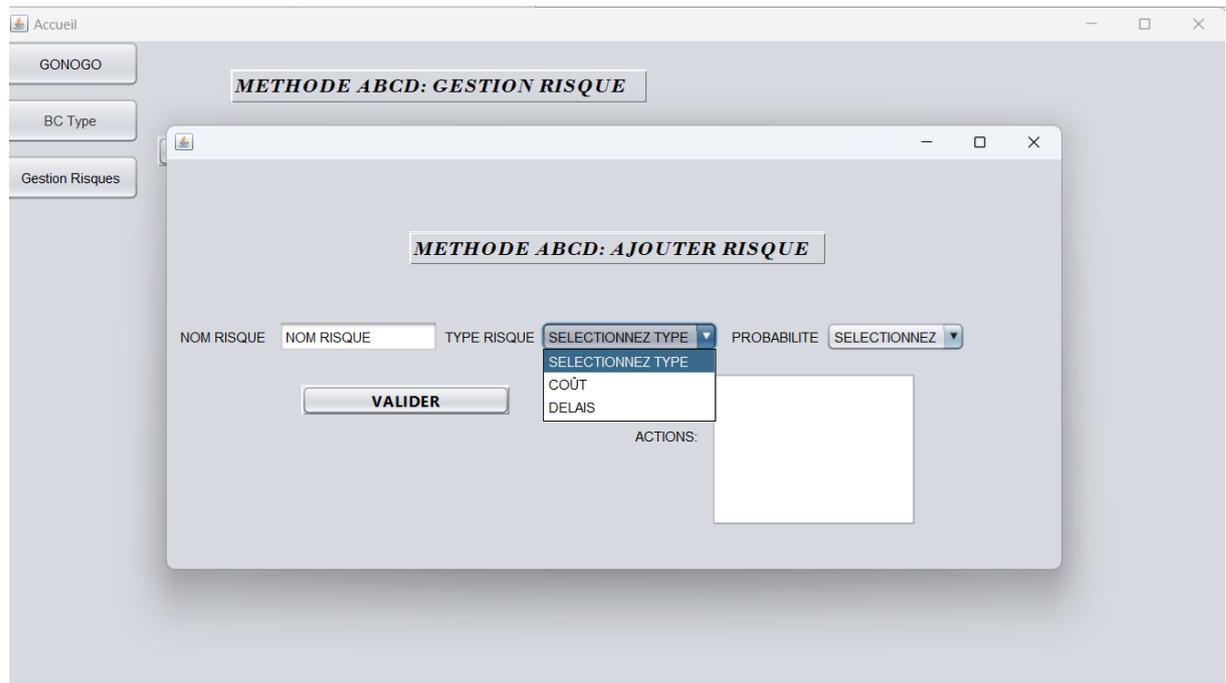


Figure 28: Ajouter un risque

Comme préconiser ci-dessus la probabilité des risques sont classés en trois intervalles (Cf figure ci-dessous).

- 0 si l'occurrence du risque est très faible pendant le projet. Même si cette probabilité est nulle, il est important, dès lors que le risque est pris en compte, de bien établir une stratégie pour bien le gérer lors de son apparition.
- 0 à 0.5 si le risque peut surgir à tout moment du projet. Ce risque est beaucoup plus probable que le précédent et nécessite aussi une grande attention.
- 0.5 à 1 si le risque est inévitable. Ce genre de risques requiert dès le début un plan de gestion de protection (minimisation de son impact) car ils ne peuvent pas être évités.

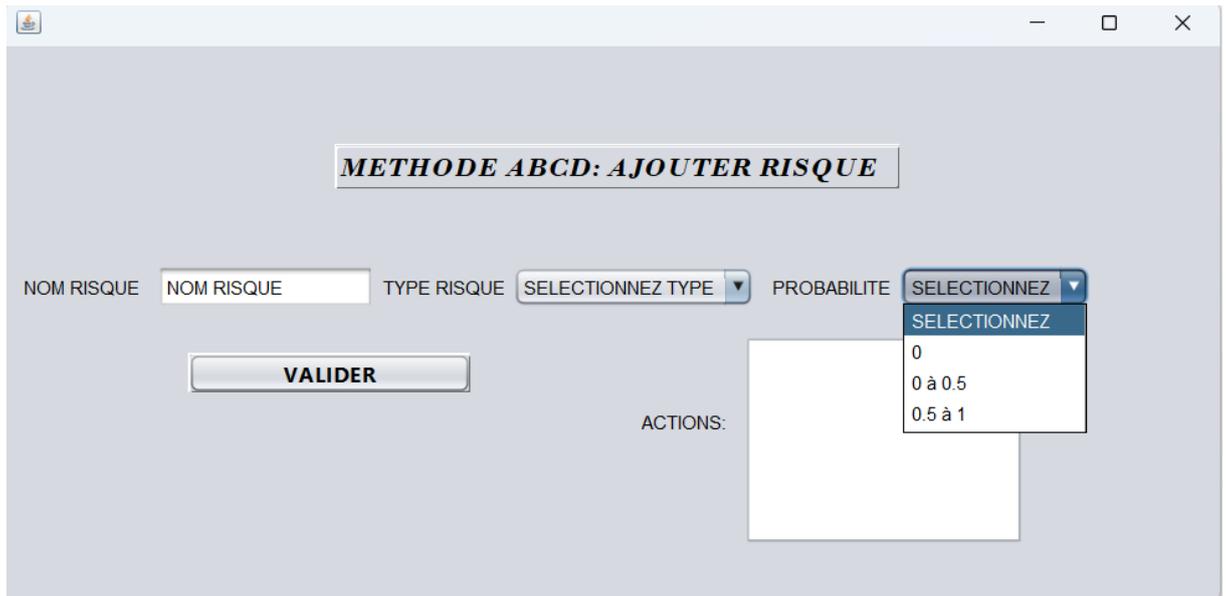


Figure 29: Ajouter un risque

La figure 30 ci-dessous montre un exemple d'ajout d'un risque. On voit bien que le risque en question est « Le coût du projet » avec le type et la probabilité de le rencontrer. En reprenant les opportunités de réduction de ce risque dans le tableau ABCD on a une liste d'actions proposées pour gérer ce dernier.

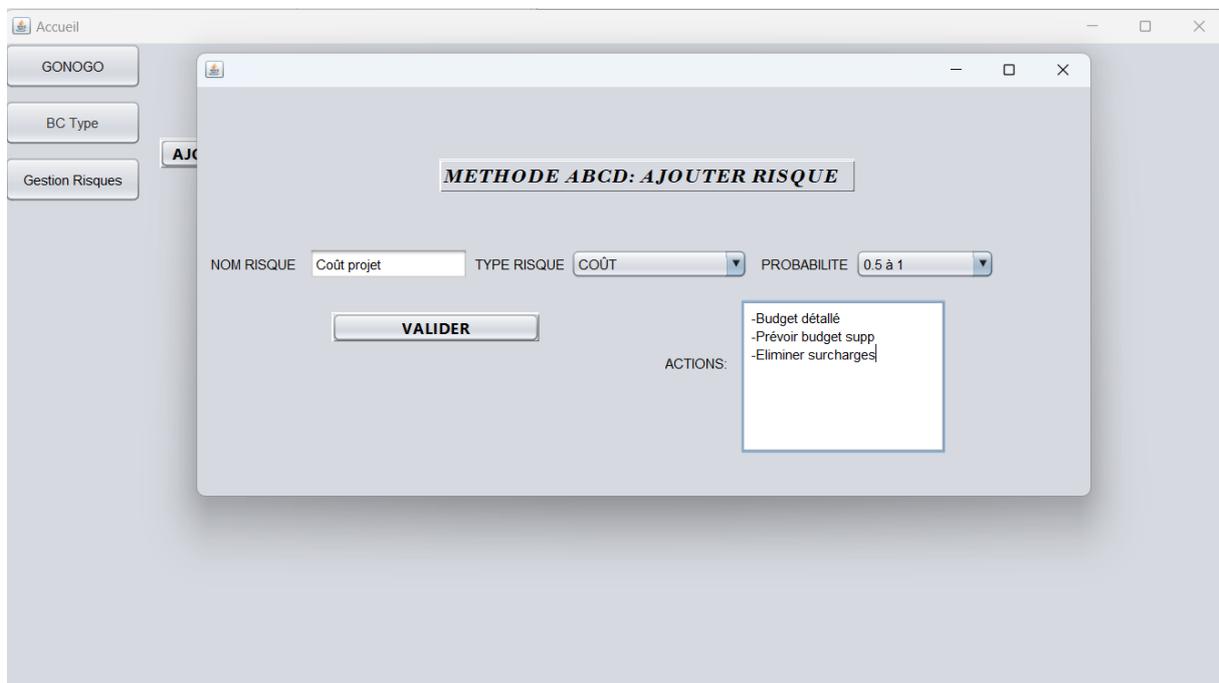


Figure 30: Exemple d'ajout de risque de type budgétaire

Après avoir renseigné toutes les données d'entrées, les informations sont directement stockées dans une base de données relationnelle comme le montre la figure 31 ci-dessous.

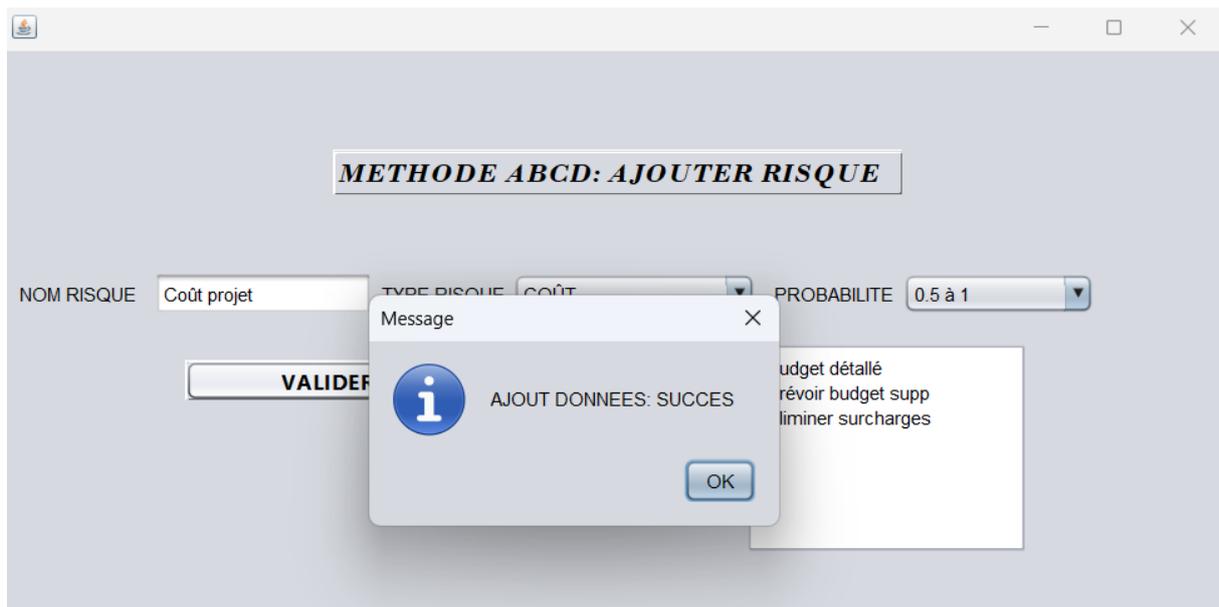


Figure 31: Exemple d'ajout de risque de type budgétaire

Comme pour les risques de coûts, l'exemple ci-après de la figure 32 illustre un ajout d'informations pour un risque temporel. Le risque en question est « la durée de la conception » qui peut fortement augmenter pendant le projet et nécessite un ensemble de pratiques listées dans la liste des « ACTIONS ».

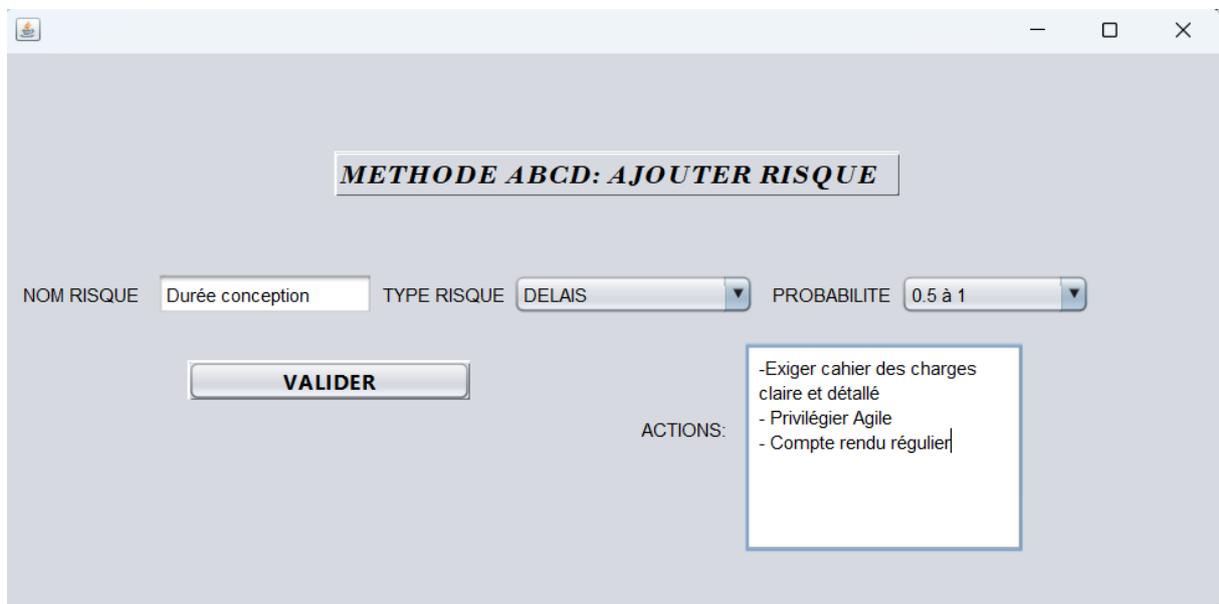


Figure 32: Exemple d'ajout de risque de type temporel

La deuxième partie de notre application est consacrée à la documentation des risques. Cette documentation permet d'archiver des renseignements sur la nature et le type du risque, la méthode de gestion utilisée les résultats obtenus et les impacts causés. Cette pratique nous offre beaucoup d'avantages car permet de gagner en termes de connaissances et d'expériences

réutilisables dans d'autres projets. Dans notre application, comme c'est représenté dans la figure 33 ci-dessous, on a décidé de retenir un certain nombre de données d'entrées. Il faut noter que certaines de ces données sont issues directement de la base de données utilisée dans la première partie pour stocker les risques. Ces données sont le nom du risque, son type, les actions qui ont été entreprises et sa probabilité. En plus de cela on a :

- La gravité pour mesurer l'impact du risque sous trois niveaux : négligeable, moyen et haute.
- Le type d'actions entreprises pour pallier ou contourner le risque.
- Le résultat obtenu issu de la stratégie de gestion mise en place.

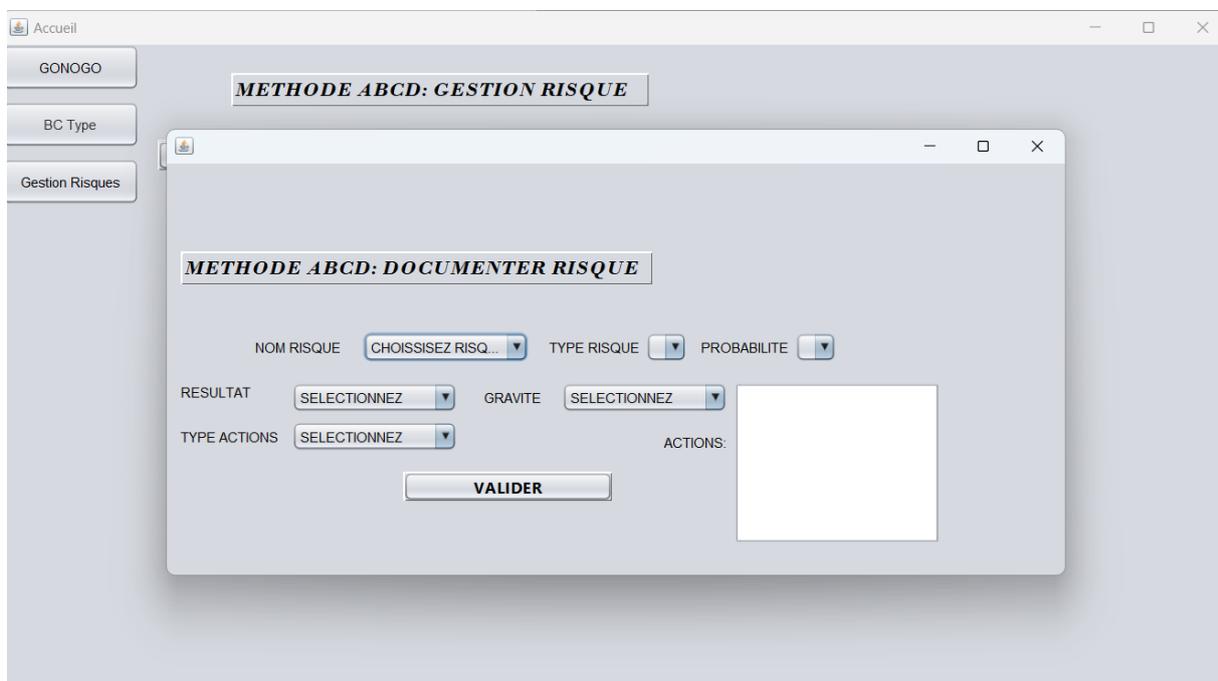


Figure 33: Documenter un risque

La fonction de documentation accède à tous les risques déjà ajoutés à notre base de données. La section « NOM RISQUE » puise directement de cette base pour permettre à l'utilisateur de choisir le risque à documenter (cf figure 34 ci-dessous). L'utilité de cette approche est la conservation de connaissances organisées sur les éléments clés de la gestion des risques. En plus de cela, ceci fournit une base solide dans la logique d'une amélioration continu.

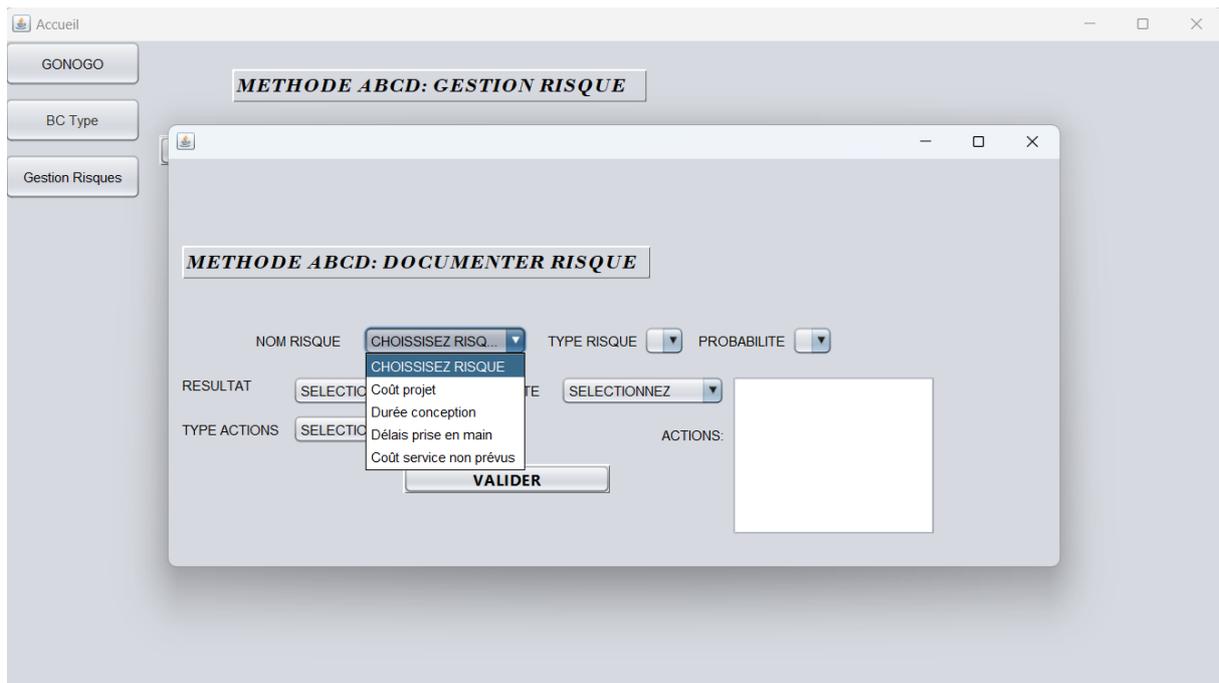


Figure 34: Documenter un risque

La sélection d'un risque nous fournit directement toutes les informations liées à ce dernier grâce à notre base de données. L'exemple de la figure 35 ci-dessous concerne le coût de projet. On constate la réutilisation d'une base de connaissances dont on avait précédemment renseigné les risques avec la fonction « AJOUTER RISQUE ».

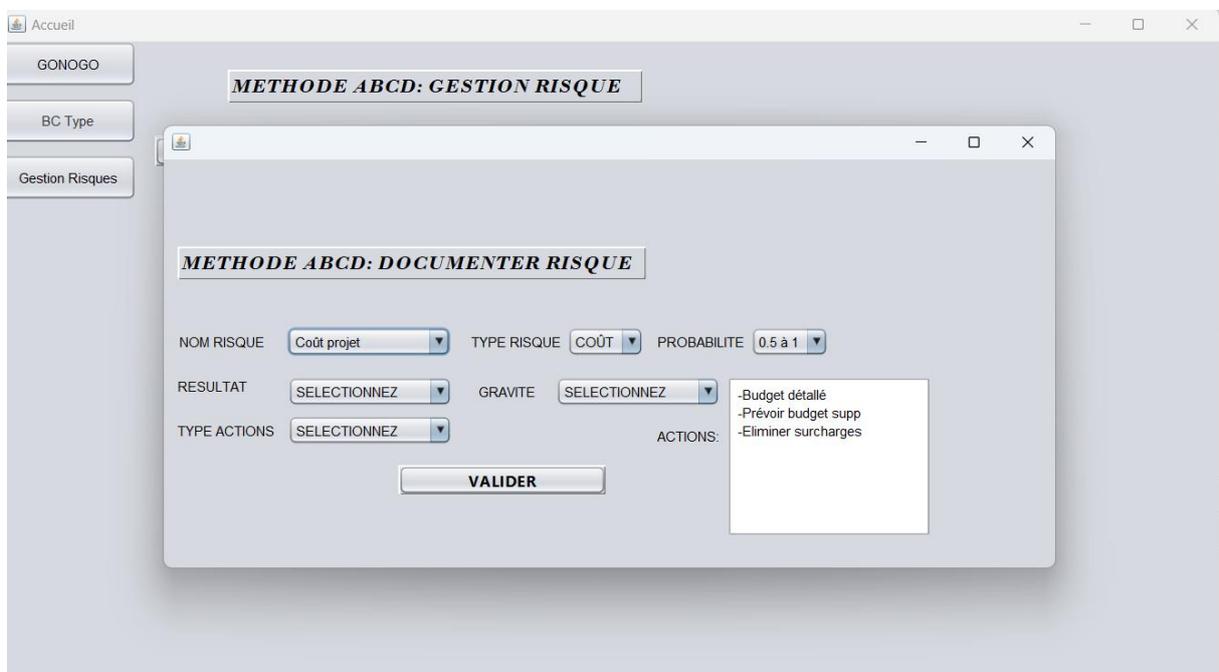


Figure 35: Documenter un risque de type budgétaire

Le résultat de la stratégie de gestion est classé sur trois niveaux :

- Inefficace si les actions entreprises sont inadéquates face au risque. Cela peut aussi être mesuré à partir de l'impact obtenu sur les coûts et/ou sur les délais. Cependant, une évaluation pointue et un suivi régulier font partie des éléments clés pour rendre pertinente sa stratégie de gestion.
- Moyen si la stratégie a permis d'atténuer le risque considéré. Dans ce contexte, même si le risque est réel, les impacts ont été atténués par les solutions de protection proposées.
- Efficace si les actions entreprises ont répondu à toutes attentes face au risque considéré.

La figure 36 ci-dessous illustre cela avec comme exemple le risque « Coût projet ».

The screenshot shows a software application window titled "METHODE ABCD: DOCUMENTER RISQUE". On the left, there is a sidebar with buttons for "GONOGO", "BC Type", and "Gestion Risques". The main area contains a form with the following fields:

- NOM RISQUE:** Coût projet
- TYPE RISQUE:** COÛT
- PROBABILITE:** 0.5 à 1
- RESULTAT:** SELECTIONNEZ (dropdown menu)
- GRAVITE:** SELECTIONNEZ (dropdown menu)
- ACTIONS:** A text box containing: -Budget détaillé, -Prévoir budget supp, -Eliminer surcharges
- VALIDER:** A button to confirm the entry.

Figure 36: Documenter un risque de type budgétaire

En fonction du résultat obtenu de notre stratégie de gestion, on peut mesurer l'impact du risque sur notre projet. Comme le résultat, cet impact est aussi classé sur trois niveaux (cf figure 37 ci-dessous) :

- Négligeable si le risque n'a causé aucun dommage sur le déroulement du projet. Ce résultat est réciproquement lié à la stratégie de gestion adoptée pendant la phase d'analyse du risque.
- Moyen : Même si l'impact est ressenti, il est maîtrisé à temps et n'empêche pas la poursuite du projet. Un risque à gravité moyenne peut légèrement biaiser la durée ou le budget d'un projet.

- Haute. Dans ce contexte, ces genres de risque sont souvent sources de beaucoup de problèmes et peuvent causer l'abandon d'un projet. Ces situations sont souvent causées par une sous-estimation et une absence d'analyse du risque afin d'en prévoir des solutions de contournement

Figure 37: Documenter un risque de type budgétaire

La figure 37 illustre un exemple de documentation du risque « Coût projet ». Après avoir récupéré directement les informations relatives à ce risque (type de risque, les actions effectuées et les résultats obtenus) on peut évaluer son niveau de gravité en fonction des efforts fournis pour assurer sa gestion.

La figure 38 ci-après illustre l'exemple avec le même risque « Coût projet » et met en exergue les types d'actions qu'on a pris en compte en l'occurrence :

- Les actions préventives. Si le risque est identifié dès le départ, des solutions pour éviter que le risque n'arrive sont mises en place pour une démarche logique. Ce genre d'actions est bien réfléchi pour anticiper le risque identifié pendant la phase d'analyse.
- Les actions curatives ou de protection. Ces actions sont entreprises si le risque en question n'a pas pu être évité. Pour minimiser les dégâts, une stratégie est vite mise en place pour faire face au problème.

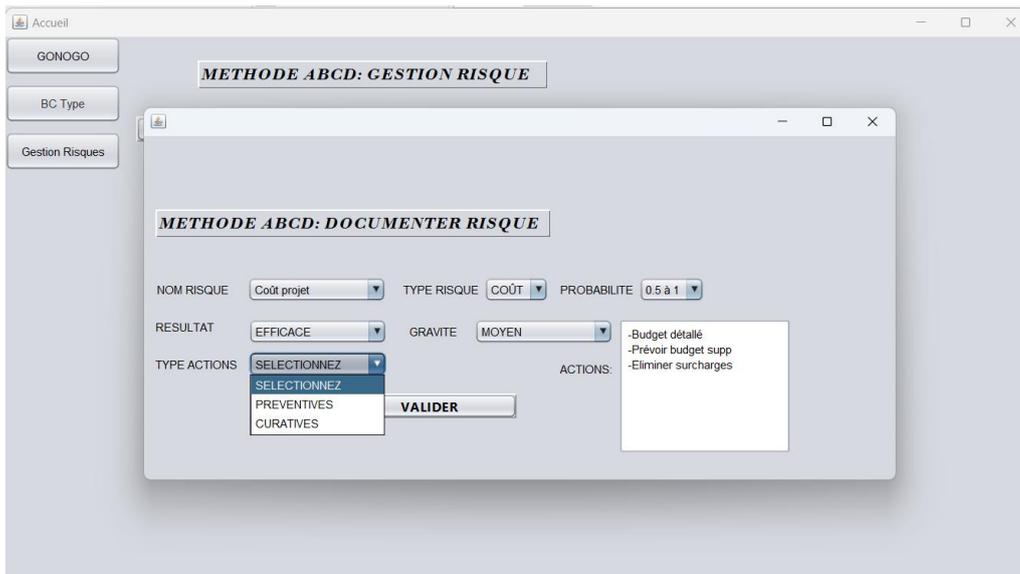


Figure 38: Documenter un risque de type budgétaire

Comme c'est expliqué tantôt, la documentation des risques est un moyen efficace d'avoir une base de connaissances réutilisable et exploitable dans d'autres contextes. Comme avec la première fonction « Ajouter Risque » les données récoltées lors de la documentation d'un risque sont aussi stockées dans une table de la base de données MYSQL créée à cet effet (Cf figure 39).

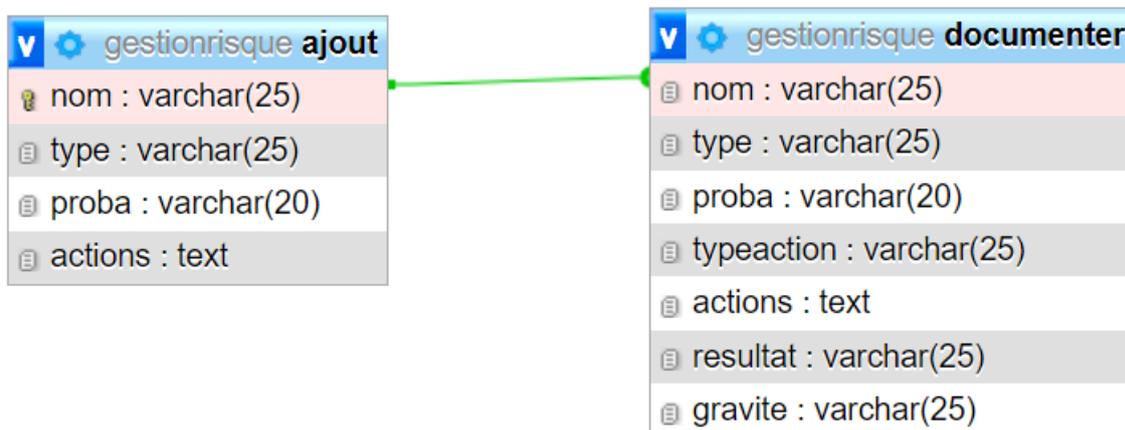


Figure 39: Conception de la base de données

Ces deux tables relationnelles ont été choisi pour stocker respectivement les informations relatives à un risque et sa documentation.

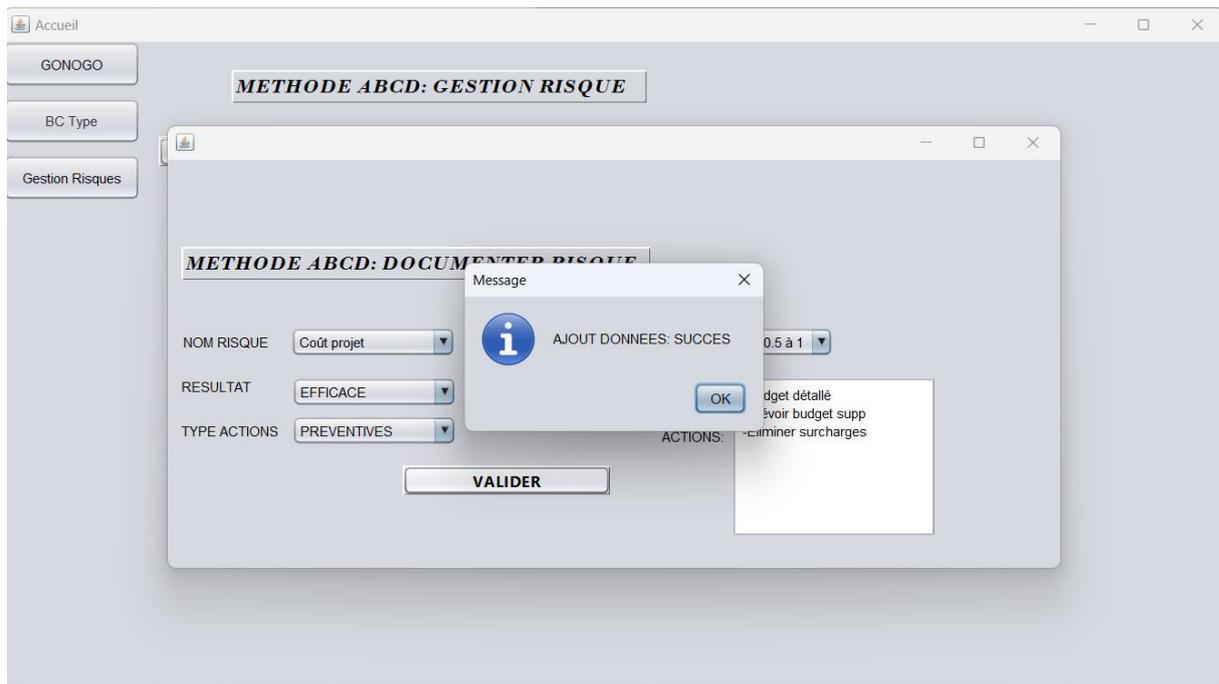


Figure 40: Documenter un risque de type budgétaire

Après avoir soumis une documentation concernant un risque, les informations sont recueillies directement dans la base de données et stockées dans la table « documenter » prévue à cet effet comme le montre ma figure 40 ci-dessous.



Figure 41: Documenter un risque : vue base de données

La dernière fonction de cette application est la partie consultation. La figure ci-dessous illustre la page d'accueil qui permet de visualiser la liste des risques déjà ajoutés et ceux déjà documentés.

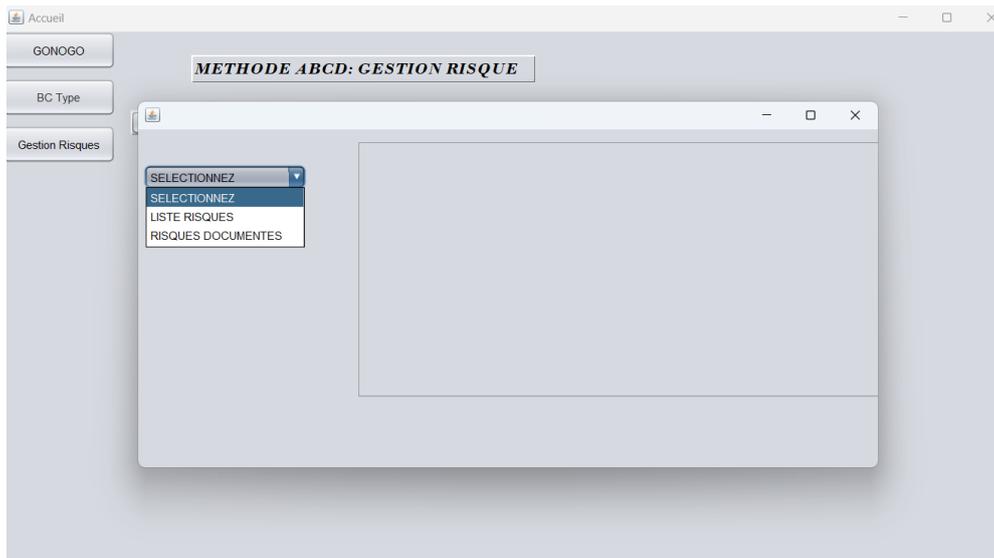


Figure 42: Liste des risques

La liste des risques (figure 43) illustre tous les risques avec toutes les informations relatives à chaque risque en l'occurrence le type de risque, sa probabilité et les actions prévues pour sa gestion.

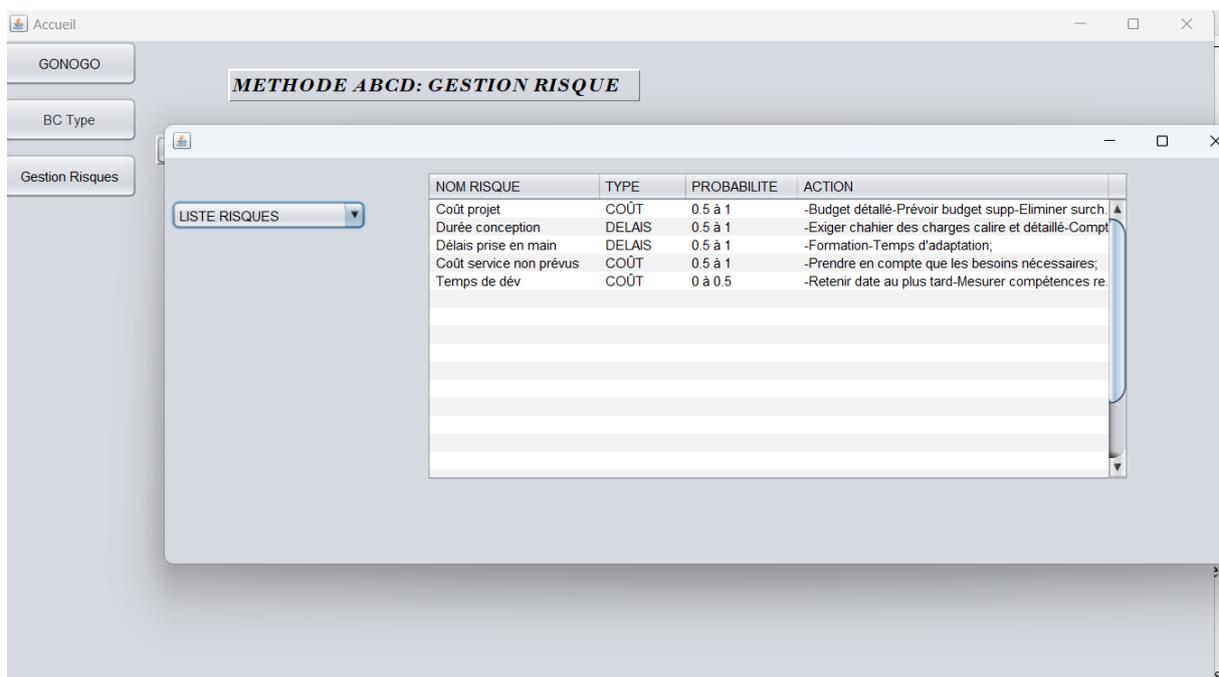


Figure 43: Liste des risques

La figure 44 ci-dessous quant à elle nous montre les risques déjà documentés et l'ensemble des actions effectuées pour leur gestion. La gravité du risque est renseignée ainsi que le résultat obtenu après sa gestion.

NOM RISQUE	TYPE	PROBABILI...	TYPE ACT...	ACTION	RESULTAT	GRAVITE
Risque1	COÛT	0 à 0.5	PREVENTIV...	Action 1Actio...	INEFFICACE	NEGLIGEAB...
Coût projet	COÛT	0.5 à 1	PREVENTIV...	-Budget déta...	EFFICACE	MOYEN
Coût service ...	COÛT	0.5 à 1	PREVENTIV...	-Prendre en ...	MOYEN	HAUTE
Durée conce...	DELAIS	0.5 à 1	PREVENTIV...	-Exiger chahi...	MOYEN	HAUTE
Délais prise ...	DELAIS	0.5 à 1	PREVENTIV...	-Formation-T...	EFFICACE	HAUTE

Figure 44: Liste des risques documentés

F. Conclusion

A la suite de toutes les recherches issues de la blockchain, sa valeur ajoutée ainsi que les défis auxquels elle se confronte, une aide à la décision est apparue comme une aide importante. Comme toute nouvelle technologie, la blockchain n'a pas encore trouvé sa maturité totale malgré les avancés constatées depuis son apparition. Cependant, le couplage de cette technologie à des méthodes ou solutions qui facilitent l'analyse et la prise de décision doivent permettre aux décideurs de prendre des décisions éclairées avec plus de certitude. Dans ce chapitre nous avons proposé un outil de gestion de risques pour bien les identifier afin de trouver la stratégie efficace pour leur gestion. L'application utilisée comporte trois fonctions principales en l'occurrence l'ajout des risques, leur documentation ainsi que leur visualisation. En même temps des actions de préventions et de protection bien définies ont été proposées. Tous ces risques sont structurés et stockés dans une base de données MYSQL qui permettra l'archivage et la réutilisation à d'autres fins. Le choix de MYSQL est motivé par sa structure et son langage sql utilisé qui facilite l'interaction facile avec les données. On a aussi utilisé le langage UML dans cette section pour la modélisation de notre application. Cette modélisation nous a permis de bien identifier les différentes fonctionnalités de l'application ainsi que leurs interactions avec les utilisateurs. De plus, cette modélisation nous a permis de bien rentrer dans

les détails pour comprendre étape par étape le fonctionnement de chaque cas d'utilisation afin d'assurer un processus de développement qui répondait au besoin de départ.

7. Conclusion

Dans le monde de l'industrie, le fil conducteur de l'entreprise reste sa stratégie définie pour atteindre ses objectifs à long terme. Cette stratégie est en partie basée sur les exigences et réalités du monde extérieur mais aussi sur les connaissances internes (données de production, bilan commercial, commandes client, données fournisseurs, etc). Cependant la sécurité et fiabilité de ces informations sont primordiales pour appuyer les décisions stratégiques. Approuvée par la plupart des acteurs et professionnels de l'industrie, la blockchain de par ses mécanismes et fonctions, demeure une solution efficace pour assurer entre autres la sécurité et la fiabilité des flux d'informations. Dans ce chapitre, nous nous sommes focalisés sur une évaluation à travers une liste d'indicateurs de performance de coûts et de délais pour accompagner un projet blockchain qui, jusque-là, reste difficile à piloter. En plus de cela, une méthode issue de la prolongation de la méthode ABC (Activity Based Costing) est proposée. La démarche de la méthode ABC consiste à détecter tout inducteurs de coûts associés à une activité et leurs attribuer un coût. Dans notre démarche, nous avons utilisé cette même démarche en identifiant tous les inducteurs de coûts et de délais associés à chaque phase du projet et en proposant une démarche de gestion d'où la méthode ABCD. La dernière partie de ce chapitre était consacrée au développement d'un ensemble d'outils d'aides à la décision qui permettent de bien comprendre et mesurer les décisions à prendre pour éviter tous types de risques lors des phases d'étude et de pilotage. Le premier outil, le GO/NOGO a été réservé au calcul du coût d'un projet blockchain. Il est important de noter que ces calculs ont été basés sur l'allocation minimale des ressources constituant une solution blockchain. Le deuxième outil s'est concentré sur le choix du type de blockchain à l'aide de la méthode Fuzzy en fonction des critères fournis. Ces critères qui dépendent du besoin et du contexte peuvent à tout moment changer. Ce constat a permis de rendre l'application proposée très générique pour s'adapter à tout contexte. Le dernier outil d'aide à la décision était une application de gestion des coûts et des délais. Cette solution s'est fixée comme objectif d'organiser et stocker les risques après identification, de les documenter et d'offrir la possibilité de consultation et de proposer des actions de prévention et de protection du projet.

Conclusion générale

L'observation du contexte industriel, de l'évolution rapide de ce secteur, la complexité des flux d'informations ainsi qu'une concurrence rude pour se maintenir à niveau obligent les entreprises à adopter d'autres moyens de gestion pour maîtriser et exploiter les données qui transitent en grand nombre tous les jours dans leur réseau. C'est ainsi que la blockchain fait l'objet de plusieurs expérimentations et d'exploitation dans ce secteur pour pallier aux problèmes de transparence, de sécurité, de traçabilité, et de contrôle. Ce contexte nous a permis d'identifier les problématiques auxquelles sont confrontées les entreprises industrielles lors des projets blockchains. Les problèmes rencontrés lors de ces projets, leur impact économique ainsi que leur capacité à révolutionner complètement le mode de stockage des données justifient le besoin de nos contributions réalisées dans cette thèse pour permettre de répondre à la problématique de l'application de la blockchain dans les supply chains.

La première étape consistait à présenter la problématique de la supply chain en commençant par revoir ses aspects et fonctionnement, les challenges et l'évaluation de la performance. A partir de cette problématique, nous avons jugé nécessaire d'utiliser la blockchain dans les supply chains pour assurer la transparence dans les flux d'informations et en assurer la sécurité. Constatant que la plupart des projets blockchain stagnaient dans leur phase de tests à cause de nombreuses contraintes qui ont été présentées dans le premier chapitre, la déduction du besoin d'une méthodologie pour piloter et exploiter ce genre de projet s'est rapidement imposée.

L'état de l'art réalisé nous a permis de parcourir un ensemble de contributions et de propositions allant dans ce sens. Ces différents travaux nous ont permis de constater plusieurs problèmes. En premier lieu l'immaturation de la technologie blockchain ainsi que sa complexité lors des projets. Les notions de coûts et délais reviennent le plus souvent ainsi que les problèmes de gouvernance. En deuxième lieu l'absence d'une conduite commune est constatée dans la mesure où chaque contribution à une méthode différente de procéder ce qui n'aide pas à l'unification et à l'aboutissement de pratiques communes. Ensuite un cadre de management complet depuis la phase d'initialisation jusqu'à l'exploitation d'une solution blockchain n'a pas jamais été développé. En dernier lieu les contributions ne répondaient pas aux besoins de gestion de ces problèmes récurrents qui revenaient à chaque projet blockchain : les coûts et les délais. En somme, l'état de l'art effectué nous a permis de constater une absence de méthode de développement et de pilotage bien cadrée pour accompagner un projet blockchain. Ce contexte nous a permis de concentrer nos efforts dans ce sens en proposant une méthodologie

pour supporter le cycle de vie de la blockchain dans la supply chain. Cette méthodologie comprend deux grandes parties principales :

- Une modélisation pour représenter toutes les phases et leurs coordinations ainsi que le mode de transition entre les phases.
- La gestion des phases pour détailler chaque phase afin de connaître en détail
 - Les différentes étapes de la phase
 - Les risques liés à la phase
 - Les méthodes à utiliser
 - Les acteurs qui interviennent à la phase
 - Les coûts.

Cependant pour assurer un cadre complet pour accompagner un projet blockchain, une méthodologie de développement était insuffisante. Pour appuyer cette méthode de pilotage nous avons aussi choisi la grille GRAI pour assurer son exploitation. Cette grille GRAI nous offre une représentation du système de pilotage mais aussi une structuration des aspects décisionnels sous trois niveaux : stratégique, tactique et opérationnel.

Nous avons ensuite proposé une liste d'indicateurs de performance et une méthode nommée ABCD. Cette démarche étant nécessaire, dans notre contexte actuel, pour évaluer la performance des décisions prises dans nos différentes phases de notre méthodologie. Nous avons choisi deux types d'indicateurs de performances : coût et délais pour évaluer cette performance. La méthode ABCD avait pour rôle, dans cette démarche, d'identifier les inducteurs de risque à chaque phase et de proposer des opportunités de gestion et d'atténuations. Ces inducteurs aussi étaient classés en deux types : les risques liés aux coûts et ceux liés aux délais.

La dernière partie de cette thèse était consacrée à une aide à la décision qui nous a donné l'occasion de proposer un ensemble de méthodes pour faciliter les prises de décisions ainsi que leur informatisation pour prouver la pertinence de ces différentes propositions. Dans cette section nous avons développé trois modules en l'occurrence :

- L'outil GO/NOGO qui est développé pour prédire, à partir de données d'entrées, le budget nécessaire pour mettre en place un projet blockchain. Ceci constitue un moyen efficace de mesurer sa capacité financière avant de se lancer dans un tel projet.
- Le choix du type de blockchain qui est un autre outil développé pour recenser et organiser les besoins sous forme de critères et de décider de la pertinence d'utiliser une

blockchain publique ou privée. Cet outil trouve toute sa pertinence dans sa genericité et dans son adaptation face à n'importe quelle supply chain qui voudrait tester une solution blockchain en interne.

- La gestion des risques qui permet de stocker et de documenter tous les risques auxquels on peut se confronter pendant un projet blockchain et de proposer des actions de prévention et de protection. Cet outil offre une véritable base de connaissances sur la nature des risques et leur niveau de gravité ainsi que sur les méthodes les plus pertinentes pour les gérer.

En guise de perspective, notre méthodologie pourrait être utilisée dans le cadre d'un vrai projet pour tester toute sa pertinence et identifier les points éventuels à améliorer. Ensuite le développement d'autres outils d'aide à la décision supplémentaires qui couvriraient d'autres décisions de la grille GRAI serait fortement envisageables. L'aspect environnemental, pourrait aussi être un sujet de recherche pour essayer de voir des solutions de réduction de la surconsommation d'énergie observée dans les blockchains.

Références

- A.BOURGUIGNON. (1997). Sous les pavés la plage... ou les multiples fonctions du vocabulaire comptable : l'exemple de la performance. *Comptabilité Contrôle Audit* 3 (1): 89-101.
- Albertao, Xiao, Tian, Lu, & Zhang. (2010). Measuring the Sustainability Performance of Software Projects. *IEEE International Conference on E-Business Engineering*, DOI 10.1109/ICEBE.2010.26.
- Al-Mazrouai, G., & Sudevan, S. (2019). Managing Blockchain Projects with Agile Methodology. *Proceedings of 6th International Conference on Big Data and Cloud Computing Challenges*, doi: 10.1007/978-981-32-9889-7_14.
- Androulaki. (2018). Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains. *Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference*, 10.1145/3190508.3190538.
- Androulaki. (2018). Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains. *Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference*, pp. 1–15, doi: 10.1145/3190508.3190538.
- Azaria, Ekblaw, Vieira, & Lippman. (2016). MedRec: Using Blockchain for Medical Data Access and Permission Management. *2016 2nd International Conference on Open and Big Data (OBD)*, 10.1109/OBD.2016.11.
- Berrah, L. (2002). *L'indicateur de performance*. CEPADUES-EDITIONS.
- Beulens, A., Hofstede, G., & Spaans-Dijkstra, L. (2007). Transparency: Perceptions, Practices and Promises. *The Emerging World of Chains*, 285-310.
- Brunet, A. (2013). Pratiques informationnelles durables : une revue de littérature. Actes de la 5ème édition du COSSI "La culture de l'information et les pratiques informationnelles durables. Université de Moncton, campus de Shippagan, Canada.
- Budak, & Çoban. (2020). Evaluation of the impact of blockchain technology on supply chain using cognitive maps. *Elsevier*, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115455>.
- Cachin. (2016). Architecture of the Hyperledger Blockchain Fabric. *Computer Science*, <https://www.semanticscholar.org/paper/Architecture-of-the-Hyperledger-Blockchain-Fabric-Cachin/f852c5f3fe649f8a17ded391df0796677a59927f>.
- Caro, Ali, Vecchio, & Giaffreda. (2018). Blockchain-based traceability in agri-food supply chain management: a practical implementation. *IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture*, <https://doi.org/10.1109/IOT-TUSCANY.2018.8373021>.
- Carson, Romanelli, Walsh, & Zhumaev. (2018). Blockchain beyond the hype: what is the strategic business value? <https://www.mckinsey.com/business-functions/digitalmckinsey/our-insights/blockchain-beyond-the-hype-what-is-the-strategic-business-value>.
- Chen, Z., Xu, W., Wang, B., & Yu, H. (2021). *Future Generation Computer Systems*, <https://doi.org/10.1016/j.future.2021.05.023>.
- Chen, Z., Xu, W., Wang, B., & Yu, H. (2021). A blockchain-based preserving and sharing system for medical data privacy. *Future Generation Computer Systems*, <https://doi.org/10.1016/j.future.2021.05.023>.
- Combalbert, L. (2018). *La gestion de crise*. Presses Universitaires de France.

- Deloitte Insights. (2019). Deloitte's 2019 Global Blockchain Survey. *Blockchain gets down to business*. Récupéré sur https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/se/Documents/risk/DI_2019-global-blockchain-survey.pdf
- Dimitrov, D. V. (2019). Blockchain Applications for Healthcare Data Management. *Healthcare informatics research*, 10.4258/hir.2019.25.1.51.
- Dobrovnik, Herold, Fürst, & Kummer. (2018). Blockchain for and in Logistics: What to Adopt and Where to Start. *mdpi*, doi:10.3390/logistics2030018.
- Dobrovnik, M., Herold, M., Fürst, E., & Kummer, S. (2018). Blockchain for and in Logistics: What to Adopt and Where to Start. *Logistics*, doi: 10.3390/logistics2030018.
- Doumeingts, G., & Ducq, Y. (2001). Enterprise modelling techniques to improve efficiency of enterprises. *Taylor and Francis Online homepage*, DOI: 10.1080/09537280150501257.
- Eluubek, Huaming, Ahmadreza, Wang, & Junlong. (2021). Blockchain for consortium: A practical paradigm in agricultural supply. *ELSEVIER*, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115425>.
- Fatma Lehyani, A. Z. (2016). Etude de l'impact de la gestion des connaissances sur la performance de la chaîne logistique. *Xème Conférence Internationale: Conception et Production Intégrées, Dec 2015, Tanger, Maroc.*, hal-01260665.
- Fauconnier, M. (2023, Octobre 2). *La méthode ABC : tout sur l'analyse des coûts par activité*. Récupéré sur Obat Blog: <https://www.obat.fr/blog/methode-abc/>
- Filipova, S. (2019). *Modeling Business Processes on a Blockchain Ecosystem using CMMN*. Institute of Computer Science Innovation and Technology Management Curriculum.
- Fran, C., Venetis, K., Dasaklis, T. K., Moschuris, S., & Rachaniotis, N. P. (2019). Modeling food supply chain traceability. *IFAC(International Federation of Automatic Control)*, DOI:10.1016/j.ifacol.2019.11.620.
- Gerard, D. J. (2017). Trains Energy Meter System Using Blockchain Technology. *Universitat*.
- GUIDO, STEFANO, & ROSANO. (2018). Blockchain in Logistics and Supply Chain: A Lean. *IEEE Access*, 10.1109/ACCESS.2018.2875782.
- Hasan, AlHadhrami, Aldhaheri, Salah, & Jayaraman. (2019). Smart contract based approach for efficient shipment management. *Computers and Industrial Engineering*, 136, 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.022>.
- Hunhevicz, J. J., Schraner, T., & Hall, D. M. (2020). Incentivizing High-Quality Data Sets in Construction Using Blockchain: A Feasibility Study in the Swiss Industry. *The International Association for Automation and Robotics in Construction*, https://www.iaarc.org/publications/2020_proceedings_of_the_37th_isarc/incentivizing_high_quality_data_sets_in_construction_using_blockchain-a_feasibility_study_in_the_swiss_industry.html.
- Ibba, Pinna, Lunesu, Marchesi, & Tonelli. (2018). 10.3390/fi10110103.
- Ibba, Pinna, Lunesu, Marchesi, & Tonelli. (2018). Initial Coin Offerings and Agile Practices. *Future Internet*, doi: 10.3390/fi10110103.

- Ibba, Pinna, Lunesu, Marchesi, & Tonelli. (2018). Initial Coin Offerings and Agile Practices. 10.3390/fi10110103.
- IMB. (2023). Detailed pricing scenarios. <https://cloud.ibm.com/docs/cloud.ibm.com/docs/blockchain>
- Iredale, G. (2021, 07 30). *Blockchain Vs Database: Understanding The Difference*. Récupéré sur 101blockchains: <https://101blockchains.com/blockchain-vs-database-the-difference/>
- Jurgelaitis, Drungilas, & Čeponienė. (2019). Modelling Principles for Blockchain-based Implementation of Business or Scientific Processes. *International Conference on Information Technology*, <https://www.semanticscholar.org/paper/Modelling-principles-for-blockchain-based-of-or-Jurgelaitis-Drungilas/c2e7f890369c54aa8e6d63166abfce8223b8b773>.
- Jurgelaitis, M., Drungilas, V., Čeponienė, L., Vaičiukynas, E., & Butkienė, R. (2019). Modelling principles for blockchain-based. *CEUR-WS.org/vol1-2470/p13.pdf*.
- Kamblea, Gunasekaranb, & Sharma. (2019). *ELSEVIER*, <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.023>.
- Kamblea, Gunasekaranb, & Sharmaa. (2019). www.elsevier.com/locate/ijinfomgt, <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.023>.
- Kamilaris, Fonts, & Prenafeta-Boldú. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 91, pp. 640–652, doi: 10.1016/j.tifs.2019.07.034.
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2001). Transforming the Balanced Scorecard from Performance Measurement to Strategic Management: Part I. *Accounting Horizons*, vol. 15, no 1, p. 87-104,, doi: 10.2308/acch.2001.15.1.87.
- Kfoury, B. (2021). The Role of Blockchain in Reducing the Cost of Financial Transactions in the Retail Industry. *semanticscholar*, p. 13.
- KPMG Technology Industry Innovation. (2019). KPMG Technology Industry Innovation Survey: Blockchain. Récupéré sur <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/us/pdf/2019/02/blockchain-tech-survey-2019-infographic.pdf>
- Kristjan, Kaare, & Koppel. (2018). Ensuring performance measurement integrity in logistics using blockchain. *International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*, <https://doi.org/10.1109/SOLI.2018.8476737>.
- Lam, C., Velthoven, M. H., & Meinert, E. (2020). Developing a Blockchain-Based Supply Chain System for Advanced Therapies: Protocol for a Feasibility Study. *JMIR Res Protoc*, doi: 10.2196/17005.
- Lefevre, N. X. (2019). *An exploratory study of blockchain projects factors*. Récupéré sur <https://theses.liacs.nl/pdf/2018-2019-LefevreNick.pdf>
- Lenarduzzi, Lunesu, Marchesi, & Tonelli. (2028). Blockchain applications for Agile methodologies. *Researchgate*, DOI: 10.1145/3234152.3234155.
- lucidchart. (2023). *Qu'est-ce que le langage UML (langage de modélisation unifié) ?* Récupéré sur lucidchart : <https://www.lucidchart.com/pages/fr/langage-uml>

- Marchesi, M., Marchesi, L., & Tonelli, R. (2018). An Agile Software Engineering Method to Design Blockchain Applications. *Proceedings of the 14th Central and Eastern European Software.*
- Markovska, M. (2019). *Modelling Business Processes on a Blockchain Eco-System (BPMN)*. Institute of Computer Science Innovation and Technology Management Curriculum.
- Mohamed, Taconet, & Lemine. (2019). La traçabilité dans les chaînes logistiques en utilisant l'IoT et la Blockchain. *HAL*, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02152725>.
- Nelson, S. (2018). *How to Make Your Supply-Chain Blockchain Project a Success*. Récupéré sur SupplyChainBrain.
- Peronja, Lenac, & Glavinović. (2019). Blockchain technology in maritime industry. *Multidisciplinary SCIENTIFIC JOURNAL OF MARITIME RESEARCH*, <https://doi.org/10.31217/p.34.1.19>.
- Pilkington, M. (2015). Blockchain Technology: Principles and Applications. *Computer Science*, DOI:10.4337/9781784717766.00019.
- PricewaterhouseCoopers. (2017). Blockchain: A new tool to cut costs. *Middle East Insurance Review*, <https://www.pwc.com/m1/en/media-centre/articles/blockchain-new-tool-to-cut-costs.html>.
- RAVELOMANANTSOA, DUCQ, & VALLESPER. (2019). A state-of-the-art and comparison of approaches for performance measurement systems definition and design. *International Journal of Production Research*, Vol. 57 - n°15-16.
- Recker, Jan, & Indulska, M. (2009). Business Process Modeling- A Comparative Analysis. *Journal of the Assosiation for Information Systems*.
- Ribera. (2018). *Design and Implementation of a Proof-of-Stake Consensus Algorithm for Blockchain*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Ribera, W. (2018). *Design and Implementation of a Proof-of-Stake Consensus Algorithm for Blockchain*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Rocha, H., & Ducasse, S. (2018). Preliminary Steps Towards Modeling Blockchain Oriented Software. *2018 IEEE/ACM 1st International Workshop on Emerging Trends in Software Engineering for Blockchain (WETSEB)*.
- Saha, A., Amin, R., & Kunal, S. (2019). Review on "Blockchain technology based medical healthcare. *Computer Science & Engineering, DR SPM International Institute of Information Technology*,, <https://doi.org/10.1002/spy2.83>.
- Saha, A., Kunal, S., Amin, R., Vollala, S., & Dwivedi, S. (2019). Review on blockchain technology based medical healthcare system with privacy issues. *Security and privacy*, doi:10.1002/spy2.83.
- Sanka, & al. (2021). A survey of breakthrough in blockchain technology: Adoptions, applications,. *sciencedirect*, 179-201. doi:doi.org/10.1016/j.comcom.2020.12.028
- Sanka, A., Irfan, M., Huang, I., & Cheung, R. (2021). A survey of breakthrough in blockchain technology: Adop-tions, applications, challenges and future research. *Computer Communications*, vol. 169, pp. 179–201, doi: 10.1016/j.comcom.2020.12.028.
- Surjandari, Harman, Enrico, & Maulida. (2021). Designing a Permissioned Blockchain Network for the Halal Industry using Hyperledger Fabric with multiple channels and the raft consensus mechanism. *Journal of Bog Data*, <https://doi.org/10.1186/s40537-020-00405-7>.

- Tian. (2017). A supply chain traceability system for food safety based on HACCP blockchain & Internet of things. *International conference on service systems and service management*, pp. 1–6.
- Valeria, S., Vitaliia, D., Rostyslav, H., & Kateryna, T. (2022). The Impact of Blockchain Technology on International Trade and Financial Business. *Universal Journal of Accounting and Finance*, DOI:10.13189/ujaf.2022.100111.
- Venkatesh, U. (2021). *IOT Standards with blockchain*.
- Vijayakumar, Neelanarayanan, Rao, & Light. (2019). Smart Innovation, Systems and Technologies. *Proceedings of 6th International Conference on Big Data and Cloud Computing Challenges*, doi: 10.1007/978-981-32-9889-7.
- wall, & Gustaf. (2016). *Using Blockchain Technology and Smart Contracts to Create a Distributed Securities Depository*. Lund University LUP Student Papers.
- Wall, & Malm. (2016).
- Wall, & Malm. (2016). *LUND UNIVERSITY LIBRARIES*, <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8885750>.
- Wall, & Malm. (2016). Using Blockchain Technology and Smart Contracts to Create a Distributed Securities Depository. *LUND UNIVERSITY LIBRARIES*, <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8885750>.
- Wall, R. (2018). Design and Implementation of a Proof-of-Stake Consensus Algorithm for Blockchain. *Universitat Politècnica de Catalunya*.
- Wang, Y., Singgih, M., Wang, J., & Rit, M. (2019). Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains? *International Journal of Production Economics*, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.02.002.
- Williams, R. (2019). 6 strategies to successfully implement blockchain. *Financial Management*, <https://www.fm-magazine.com/issues/2019/oct/how-to-implement-blockchain.html>.
- Yang. (2020). Public and private blockchain in construction business process and information integration. *Automation in Construction*, vol. 118, p. 103276, 10.1016/j.autcon.2020.103276.
- Yiannas. (2018). A new era of food transparency powered by blockchain. *Innovations Technology Governance Globalization*, 12(1-2), 46–56.
- Yli-Huumo, Jesse, Ko, Deokoon, Choi, Sujin, . . . Kari. (2016). Where Is Current Research on Blockchain Technology? - A Systematic Review. *PLOS ONE*.
- Yu, h., Zhang, L., Zhao, W., & Zhang, S. (2018). A blockchain-based service composition architecture in cloud manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1571234>.
- Zhang, P., Douglas, Schmidt, White, J., & Gunther. (2018). Blockchain Technology Use Cases. *Advances in Computers*, <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2018.03.006>.
- Zhang, X., & Wang, Y. (2021). Research on intelligent medical big data system based on Hadoop and blockchain. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, <https://doi.org/10.1186/s13638-020-01858-3>.

