UCL
Université catholique de Louvain

LOUVAIN
School of Management

Louvain School of Management

L'utilisation des DLTs/blockchains dans le clearing et le settlement de titres.

NON-CONFIDENTIEL

Mémoire réalisé par
Gautier TRICOT

En vue de l'obtention du titre de
Master [120] en ingénieur de gestion, à finalité spécialisée

Promoteur
Frédéric VRINS

Année académique 2018-2019

Place des Doyens, 1 bte L2.01.01, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique **www.uclouvain.be/lsm**

Avant tout, je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon promoteur de mémoire Professeur Frédéric Vrins pour son soutien, sa compréhension et sa disponibilité notamment lors de mon changement de sujet.

J'aimerais aussi remercier mon ancien collègue Allan Stewart pour sa supervision et sa disponibilité lors de mon stage et sa révision précieuse de ma partie sur le clearing et le settlement.

Enfin, j'aimerais remercier toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu durant mes études.

Résumé

De plus en plus souvent, nous entendons parler des blockchains et du rôle de perturbateur qu'elles peuvent jouer dans le futur. Suite à la parution en 2015 de l'article *« The trust machine »* par le quotidien *The Economist (The Economist (2015)),* la blockchain a gagné une importante médiatisation. Joichi Ito, directeur du MIT Media Lab, parle de la blockchain comme « *ayant la capacité d'être pour le monde de la finance, de la loi, et de la comptabilité, ce qu'internet a été pour le monde des médias, du commerce, et de la publicité* » *(Ito, J., Narula, N., Ali, R. (2017)).* L'objectif de ce mémoire est d'aller au-delà de l'engouement autour des DLTs et d'analyser l'impact que cette technologie pourrait avoir dans un cas concret : le clearing et le settlement de titres.

Dans ce but, j'ai commencé par résumer la littérature existante et j'ai identifié 5 zones dans lesquelles les DLTs ont le potentiel d'amener des économies : les coûts de personnels, généraux, informatiques, d'audit et de reporting et les coûts liés à la mobilisation de capitaux dans les chambres de compensation.

Dans un second temps, j'ai développé 3 scénarios représentatifs de 3 situations dans lesquelles pourrait se retrouver le secteur du post-trading après l'implémentation des DLTs. Pour chacun d'entre eux et en utilisant les zones d'économies identifiées, j'ai estimé que la blockchain permettrait de réaliser des économies de l'ordre de 2.8 à 4 milliards d'euros dans le premier, de 3.5 à 4.7 milliards d'euros dans le deuxième et de 4.2 à 5.4 milliards d'euros dans le troisième scénario. En valeur relative, ces économies représentent respectivement 40 à 57%, 50 à 67% et 60 à 77% du chiffre d'affaires du secteur du clearing et settlement de titres. Après quoi, j'ai estimé l'impact sur une entreprise active du secteur. Pour cela, j'ai choisi *Deutsche Börse Group*. D'après mes estimations, l'implémentation des DLTs augmenterait le prix de son action, évalué à 105 euros par le marché, de 3.5%, 6% et 10%, respectivement dans le premier, le deuxième et le troisième scénario.

Finalement, j'ai analysé l'impact sociétal de l'implémentation de cette technologie dans le clearing et le settlement de titres, particulièrement son côté énergivore et son effet sur le nombre d'emplois. D'après mes discussions, j'ai conclu que l'implémentation des DLTs aura un impact positif sur le moyen et le long terme.

Table des matières

Résumé I
Table des matières II
Liste des acronymes IV
Liste des figures V
Liste des tableaux VI
I. Introduction 1
II. Revue de littérature 4
II.1. L'état de la littérature concernant l'utilisation des DLTs dans le clearing et le settlement de titres 5
II.2. L'état de la littérature concernant l'impact quantitatif de l'utilisation des DLTs dans le clearing et le settlement de titres 6
II.3. Conclusion 8
III. Les technologies décentralisées (DLTs) 9
III.1. L'immuabilité du bitcoin 10
III.2. La consistance éventuelle 14
III.3. Les 4 types de blockchains 16
III.4. Blockchain 2.0, Proof-of-Stake & smart-contract 17
III.4.1. Etherum : 17
III.4.2. Smart-contract : 18
IV. Le clearing & le settlement 19
IV.1. Le clearing 20
IV.1.1. La confirmation et le matching : 20
IV.1.2. La novation, le netting, et le multilatéral netting : 22
IV.1.3. La mobilisation de capitaux : 25
IV.2. Le settlement 27
IV.2.1. La fonction notariale : 28
IV.2.2. Le mode de paiement : 28
IV.2.3. La chaine de dépôt : 28
IV.3. Les frictions et les imperfections dans le post-trading 29
IV.1.1. La structure du secteur : 29

IV.3.2. La structure informatique du secteur : 29
IV.3.3. Conséquences : 30
IV.3.4. Pression sur les ROE et le coût des capitaux : 30
V. Impact qualitatif de l'utilisation des DLTs dans le clearing et le settlement de titres 32
V.1. Avantages de l'utilisation des DLTs dans le clearing et le settlement de titres 32
V.2. Barrières à l'utilisation des DLTs dans le clearing & le settlement de titres 35
V.3. Révolution ou évolution du clearing et settlement ? 38
V.4. Zones d'économies 40
VI. Impact quantitatif de l'utilisation des DLTs dans le clearing et le settlement de titres 41
VI.1. Les 3 scénarios possibles 41
VI.2. Estimation de la grandeur des économies globales 45
VI.2.1. Réduction des coûts de personnel : 45
VI.2.2. Réduction des coûts généraux : 47
VI.2.3. Réduction des coûts des systèmes informatiques : 49
VI.2.4. Réduction des coûts d'audit et de reporting : 50
VI.2.5. Réduction du coût d'opportunité des capitaux maintenus dans les chambres de compensation : 52
VI.2.6. Conclusion : 54
VI.2.7. Méthodologie utilisée et limites de l'approche : 56
VI.3. Impact de l'utilisation des DLTs sur le cours de l'action d'une entreprise active dans le clearing et le settlement 58
VI.3.1. Choix de l'entreprise : 58
VI.3.2. Méthode utilisée : 59
VI.3.3. Estimation du prix de la sous-action du clearing et settlement de titres : 61
VI.3.4. Impact de l'implémentation des DLTs sur le prix de la sous-action du clearing et du settlement : 64
VI.3.5. Conclusion : 67
VII. Impact sociétal de l'utilisation des DLTs dans le clearing et le settlement de titres 69
VII.1. Impact écologique 69
VII.2. Impact sur l'emploi 73
VIII. Conclusion 76
Bibliographie ..... A

Liste des acronymes

- **AML** : Anti-Money Laundering
- **ASX** : Australian Stock Exchange
- **BIS** : Bank for International Settlement
- **CCP** : Central Counterparty
- **CSD :** Central Securities Depository
- **CSDR :** Central Securities Depository Regulation
- **DBG** : Deutsche Börse Group
- **DTCC** : Depository Trust & Clearing Corporation
- **DvD** : Delivery versus Delivery
- **DvF :** Delivery versus Free
- **DvP** : Delivery versus Payment
- **EBIT** : Earnings Before Interest and Taxes
- **ECB** : European Central Bank
- **ICSD** : International Central Securities Depository
- **KYC** : Know your Customer
- **MJ** : Mégajoule
- **NSCC** : National Securities Clearing Corporation
- **PoS** : Proof-of-Stake
- **PoW** : Proof-of-Work
- **ROE** : Return on Equity
- **TWh** : Térawattheure

Liste des figures

Figure 1 : Graphique de l'évolution de la capitalisation boursière du Bitcoin. _____ *1*

*Figure 2 : Comparaison entre un système centralisé et un système distribué.*_____ *9*

Figure 3 : Conséquence du changement d'une transaction d'un bloc sur la chaine entière. _ *11*

Figure 4 : Représentation d'un système distribué et du temps de propagation de l'information au sein du système. _____ *14*

Figure 5 : Représentation de la chaine principale et de ses chaines orphelines. _____ *15*

*Figure 6 : Les 4 formes de blockchain.*_____ *16*

*Figure 7 : Chaine de valeur de l'échange d'actif.*_____ *19*

*Figure 8 : Instruction des messages dans la compensation.*_____ *21*

Figure 9 : matching au niveau du bloc. _____ *22*

Figure 10 : matching au niveau de la transaction. _____ *22*

Figure 11 : Schéma illustratif de la novation. _____ *24*

Figure 12 : Schéma illustratif de l'effet du netting sur les transactions à effectuer. _____ *24*

Figure 13 : Schéma illustratif du multilatéral-netting. _____ *25*

*Figure 14 : Mécanisme de protection contre les risques d'insolvabilité dans les chambres de compensation.*_____ *26*

Figure 15 : Chaine du dépôt d'actifs financiers. _____ *29*

Figure 16 : Situation actuelle du post-trading. _____ *42*

*Figure 17 : Situation où l'ensemble du post-trading serait remplacé par une seule DLT.*____ *42*

Figure 18 : Situation avec une mutualisation des données par dépositaire central. _____ *43*

Figure 19 : Situation où les DLTs ont un impact important dans le clearing & settlement. __ *44*

Figure 20 : Situation où les DLTs ont un impact intermédiaire. _____ *45*

*Figure 21 : Graphique des économies issues de l'implémentation des DLTs dans le clearing et le settlement pour chaque scénario.*_____ *55*

Figure 22 : Graphique de l'impact de la réduction du cycle de livraison sur les collatéraux et le coût d'opportunité en découlant. _____ *55*

*Figure 23 : Graphique comparant les économies pour chaque scénario par rapport au chiffre d'affaires du clearing et settlement.*_____ *56*

Figure 24 : Graphique de l'impact des DLTs sur le prix de la sous-action et sur le prix de l'action de DBG. _____ *68*

Figure 25: Graphique comparant la consommation électrique de la blockchain « bitcoin » avec celle des pays. _____ *70*

Figure 26 : Graphique comparant la quantité d'émission de CO2 par source de production d'électricité. _____ *72*

Figure 27 : Graphique de l'évolution de l'emploi dans le secteur financier américain. _____ *74*

Liste des tableaux

Tableau 1 : Tableau résumant les coûts de personnels par organisation. _____ *46*

Tableau 2 : Tableau résumant les coûts généraux par entreprise. _____ *48*

Tableau 3 : Tableau résumant les frais d'IT par entreprise. _____ *49*

Tableau 4 : Tableau résumant les coûts d'audit et de reporting. _____ *51*

Tableau 5 : Tableau résumant la valeur des fonds immobilisés dans les chambres de compensation. _____ *54*

Tableau 6 : Tableau résumant les rapports annuels de Deutsche Börse Group. _____ *62*

Tableau 7 : Tableau résumant les bénéfices du clearing et du settlement de titres. _____ *63*

Tableau 8 : Tableau résumant les variations d'EBIT du groupe et du clearing et du settlement de titres. _____ *63*

Tableau 9 : Estimation du prix de l'action dans le cas du premier modèle. _____ *65*

Tableau 10 : Estimation du prix de l'action dans le cas du second modèle. _____ *66*

Tableau 11 : Estimation du prix de l'action dans le cas du troisième modèle. _____ *67*

I. Introduction

De plus en plus souvent, nous entendons parler des blockchains et du rôle de perturbateur qu'elles peuvent jouer dans le futur. Suite à la parution en 2015 de l'article *« The trust machine »* par le quotidien *The Economist (The Economist (2015)),* la blockchain a gagné une importante médiatisation. La capitalisation boursière du Bitcoin, monnaie la plus connue, est ainsi passée de 5 milliards de dollars au moment de la parution de l'article *« The trust machine »* à plus de 130 milliards de dollars le 17 mai 2019 *(Coingecko.com (s.d.))*, soit une progression de plus de 2500%.

Figure 1 : Graphique de l'évolution de la capitalisation boursière du Bitcoin.[1]

La blockchain a été initialement développée en 2009 par Satoshi Nakamoto comme infrastructure informatique supportant la cryptomonnaie qu'il a créée : le Bitcoin *(Nakamoto, S. (2008)).* Alors que l'intérêt du Bitcoin est contesté par certains, le potentiel

[1] Source : Coingecko.com (s.d.). *Bitcoin-USD Dollar Graphique (BTC/USD) – Capitalisation du marché.* En ligne : https://www.coingecko.com/fr/pi%C3%A8ces/bitcoin/usd

des *« Distributed Ledger Technologies »* (ou « DLTs »)[2] fait l'unanimité. Joichi Ito, directeur du MIT Media Lab, parle de la blockchain comme « *ayant la capacité d'être pour le monde de la finance, de la loi, et de la comptabilité, ce qu'internet a été pour le monde des médias, du commerce, et de la publicité* » *(Ito, J., Narula, N., Ali, R. (2017)).* Les DLTs possèdent effectivement des caractéristiques très intéressantes pour le milieu financier comme :

- Immuabilité : on ne peut changer ce qui y a été inscrit.
- Sécurité : il est plus difficile de lui faire subir une attaque et de transmettre des actifs douteux.
- Distribué : chaque utilisateur possède une version des données et toutes les versions sont les mêmes.
- Disponibilité : elle est disponible 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.
- Flexibilité : elle peut être utilisée pour un large type d'actifs.

Dans le même temps, il existe un secteur de la finance, le clearing et le settlement, qui est fondamental au bon fonctionnement des marchés actuels et qui est en manque d'innovations. Dans l'article de Robinson, E., Leising, M. (2015), Blythe Masters, ancienne directrice de J.P. Morgan & Co, fait remarquer qu'aujourd'hui les intermédiaires financiers ont massivement investi dans le front-trading, rendant l'avantage compétitif à quelques nanosecondes avec le trading à haute fréquence, alors que les systèmes de post-trading ont une vingtaine d'années et que les activités de clearing et le settlement peuvent prendre plusieurs jours. De plus, avec les nouvelles réglementations d'après la crise de 2008, en matière de capitaux, de transparence, et de conformité, les revenus de ces acteurs sont mis à mal *(Ernst and Young (2018)).* Aujourd'hui, les participants du clearing et du settlement sont donc à la recherche de technologies permettant de faire face à ces contraintes.

L'objectif de ce mémoire est d'aller au-delà de l'engouement autour des DLTs en tentant de compléter la littérature existante avec une quantification des économies que cette nouvelle technologie pourrait apporter dans le post-trading. Pour cela, nous identifierons les zones possibles d'économies, nous estimerons la valeur globale des économies et nous évaluerons l'effet sur le prix de l'action d'une entreprise du secteur. De plus, aujourd'hui, le critère

[2] Le bitcoin est une catégorie particulière de technologies distribuées (DLTs) où les données sont rassemblées en blocs avant d'être ajoutées à la chaine. Sauf précisé autrement, dans ce mémoire, les termes « DLTs » et « blockchain » seront utilisés comme des synonymes.

financier n'est plus le seul élément de prise de décisions. Afin de couvrir totalement l'implémentation des DLTs dans le clearing et le settlement de titres, une discussion sur l'impact sociétal de cette technologie semble être très intéressante. Ce mémoire est composé de six parties :

1) Une introduction globale sur la littérature existante et les types de documents déjà publiés. Ce qui permettra de constater que l'essentiel de la littérature s'est intéressé au point de vue qualitatif des DLTs dans le post-trading. Notre étude quantitative constituera donc une contribution intéressante et innovante dans ce domaine.
2) Une explication du fonctionnement des DLTs et de ses caractéristiques utiles dans le contexte de ce mémoire.
3) Une explication de la structure actuelle du clearing et du settlement de titres, ses enjeux, et les frictions qui existent et qui pourraient être résolues grâce à l'implémentation de DLTs.
4) Une fois les caractéristiques spécifiques du clearing et settlement de titres et des DLTs introduites, sera présentée une analyse détaillée du contenu de la littérature spécifique au sujet. Ce qui permettra de résumer l'impact qualitatif des DLTs dans clearing et le settlement de titres, et de mettre en évidence les zones potentielles d'économies.
5) Une analyse quantitative destinée à déterminer l'ordre de grandeur des économies issues de l'utilisation de la blockchain dans le clearing et le settlement de titres et l'impact que cela pourrait avoir sur la valeur de l'action d'une entreprise du secteur.
6) Une discussion sur l'impact sociétal de l'implémentation des DLTs dans le post-trading. Plus particulièrement, son impact écologique et sur l'emploi.

II. Revue de littérature

La littérature s'est intéressée à de nombreux aspects des DLTs, en commençant par son utilisation première : la cryptomonnaie. Ainsi, Figuet, J.M. (2016) cherche à déterminer si les *« bictoins »* peuvent réellement être considérés comme une monnaie au sens classique du terme. Athey, S., Parashkevov, I., Sarukkai, V., Xia, J. (2016) discutent, quant à eux, de la variabilité de la valeur des crypto-monnaies et de l'utilisation qu'en font actuellement leurs acquéreurs. La recherche s'est aussi penchée sur l'amélioration du fonctionnement informatique des DLTs. Par exemple, BitFury Group (2015) propose une comparaison entre le *« Proof-of-Stake »* et le *« Proof-of-Work »*. Wang, L., Liu, Y. (2015) et Paul, G., Sarkar, P., Mukherjee, S. (2014) critiquent le côté énergivore de la blockchain et proposent chacun un modèle permettant d'optimiser sa consommation électrique. Ma, J. Gans, J. S., Tourky, R. (2018), en utilisant la théorie des jeux, ont calculé la situation finale (monopole, oligopole ou concurrence) dans laquelle se retrouve les mineurs en fonction du mode de consensus utilisé, et ont cherché à déterminer le mode le plus adapté. Dans un autre registre, Marmoz, F, & al. (2019) et Filippi, P. D., Wright, A. (2018) ont, étudié l'impact que pourrait avoir les DLTs sur le droit et la meilleure manière de légiférer cette nouvelle technologie. Finalement, la littérature s'est intéressée à l'effet des blockchains sur le secteur financier. On peut, entre autres, citer un mémoire réalisé à la LSM[3] : *« Les banques doivent-elles craindre les blocktechs et leur technologie blockchain ? » (Rotsart de Hertaing, A., Hannesse, T. (2018)).* Dans ce mémoire, après avoir introduit les bases de la blockchain, l'auteur présente différentes activités financières que les DLTs pourraient améliorer, avant de procéder à des interviews d'entreprises du secteur bancaire concernant leurs positions face à la blockchain. Le Borne, F., Treat, D., Dimidschstein, F., Brodersen, C. (2016) pour Swift et Accenture ; Catalini, C., Gans, J. S. (2017) pour le MIT et l'université de Toronto ; Santander Innoventures, Olyver Wyman, Anthemis Group (2015) ; et Collomb, A., Sok, K. (2016) analysent et cherchent tous à déterminer quelles activités financières pourront être améliorées suite à l'implémentation des DLTs.

[3] Deux autres mémoires auraient aussi pu être intéressants à présenter : *« La technologie blockchain dans ses différentes applications et la plus-value qu'elle apporte »* réalisé par Tancré, C.-E. (2018) et *« Comment la technologie blockchain va-t-elle révolutionner l'industrie des fonds ? »* réalisé par Verschoore, L. et Liotino, O. (2018). Toutefois, ces mémoires sont en accès interdits.

II.1. L'état de la littérature concernant l'utilisation des DLTs dans le clearing et le settlement de titres

Au niveau du clearing et du settlement de titres, vu la durée assez restreinte entre la parution de l'article de « The trust machine » et aujourd'hui, la plupart de la littérature aborde les trois mêmes sujets à savoir : les avantages de l'utilisation des DLTs dans le clearing et le settlement, les challenges auxquels doit encore répondre cette technologie avant de pouvoir être pleinement implémentée, et si son adoption conduira à une évolution ou une révolution de ce secteur. Toutefois, étant donné la spécificité des DLTs, du clearing et du settlement, ces questions seront abordées dans la partie V, après avoir introduit ces concepts. Nous détaillerons, ici, brièvement les documents publiés sur le sujet.

On retrouve principalement quatre types de publications : les recherches de firmes de consultance, les recherches d'entreprises actives dans le secteur, les publications des régulateurs, et les articles universitaires. Au niveau des boites de consultance, Treat, D., Brodersen, C., Blain, C., Kurbanov, R. (2017), pour Accenture, analysent les différentes activités d'une banque d'investissements qui seront chamboulées par les DLTs et le degré de l'impact. Ils identifient le clearing et le settlement comme une zone qui sera profondément impactée avec un potentiel d'économies de 70% ou plus. Concernant les entreprises actives dans le secteur, Mainelli, M., Milne, A. (2016) étudient, pour Swift, l'impact de l'implémentation des DLTs sur le cycle de l'échange d'actifs, dont fait partie le clearing et le settlement. *« The Depository Trust & Clearing corporation »* (DTCC), le dépositaire central et la chambre de compensation américains, étudie comment améliorer le cycle de livraison américain en utilisant, entre autres, les DLTs *(DTCC 2016)* ; répond aux trois questions générales (opportunités, barrières et évolution ou révolution) *(DTCC 2018a)* ; et teste une première version de blockchains *(DTCC 2018b)*. Van de Velde, J., & al. (2016) répondent, pour Euroclear en partenariat avec Oliver Wyman, aussi aux trois questions générales. Morgan Stanley (2016) étudie les propriétés uniques des DLTs et comment cette technologie peut être utilisée pour améliorer la transparence, la sécurité et l'efficacité du post-trading. Au niveau des régulateurs, la banque centrale européenne, américaine et anglaise étudient, elles-aussi, les trois questions générales dans les articles de, respectivement, Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016) ; Mills, D., & al. (2016) ; et Benos, E., Garrat, R., Gurrola-Perez, P.

(2017). La banque centrale européenne discute, dans un second article, de l'impact des DLTs sur l'harmonisation et l'intégration du secteur du post-trading en Europe *(ECB (2017))*. Enfin, la *« Bank for International Settlements »* (BIS) (2017), un organisme international détenu par les banques centrales de plus de 60 pays, a publié un article fournissant une introduction aux DLTs dans le clearing et le settlement et identifiant les opportunités et les challenges associés à l'adoption de cette nouvelle technologie. Concernant les articles universitaires, Lipton, A. (2017), professeur au MIT, présente une introduction aux DLTs, leurs avantages et inconvénients, les applications potentielles, dont le clearing et le settlement, et compare les modèles historiques existants. On peut citer, finalement, le mémoire de Carneciu, M. (2017), réalisé à l'Impérial College de Londres, et ayant pour but de construire un modèle de DLTs applicable aux clearing et settlement.

II.2. L'état de la littérature concernant l'impact quantitatif de l'utilisation des DLTs dans le clearing et le settlement de titres

Aujourd'hui, seulement 3 rapports ont réalisé une analyse quantitative des économies apportées par l'implémentation des DLTs dans le clearing et le settlement : deux d'entre eux apportent une estimation en valeur absolue et l'autre en valeur relative.

Le premier est le rapport publié par Santander Innoventures, Olyver Wyman et Anthemis Group en 2015. Ils estiment que les DLTs ont le potentiel de permettre de réaliser des économies dans les infrastructures bancaires liées aux paiements transfrontaliers, à l'échange de titres, et aux coûts de conformité de 13.5 à 18 milliards d'euros par an à partir de 2022. Le problème est qu'ils ne détaillent pas la méthode qu'ils ont utilisée et qu'il ne traite pas spécifiquement du clearing et du settlement.

Le deuxième article est sans doute le plus proche de l'objectif de ce mémoire. Schneider, J., & al. (2016), pour Goldman Sachs, estiment, en se basant sur des chiffres globaux, que les frais associés aux clearing et settlement représentent 1.3 milliard de dollars par an et que les dépenses en IT approchent les 1 milliard de dollars. Ils estiment ensuite que la blockchain permettra de réduire ces coûts de 50 à 70% offrant une économie finale de 1.15 à 1.61

milliards de dollars en IT et main d'œuvre dans le post-trading américain. En plus de cela, Schneider, J., & al. (2016) estiment que les DLTs, en permettant de réduire le temps de livraison, libéreront 75% des 6.5 milliards de dollars détenus comme collatéraux (voir point III.1.3.) dans NSCC[4] soit un coût d'opportunité de 500 millions de dollars en utilisant un ROE de 10%. Même si leur méthode est très instructive et que nous nous baserons en partie sur elle pour déterminer nos évaluations, leur approche souffre de quelques limites. Tout d'abord, le fait qu'elle soit exclusivement basée sur le marché américain. Ensuite, le fait qu'ils ne prennent pas en compte certains postes d'économie, tels que les frais de reporting ou d'audit, pourtant souvent cités dans la littérature (voir point V.1.). Enfin, leurs estimations semblent optimistes : ils réduisent les coûts de main d'œuvre et d'IT de 50 à 70%, ce qui semble être le cas où les DLTs auraient un impact conséquent et ils estiment une réduction des collatéraux de 75%. Or, dans une étude, The Boston Consulting Group (2012) estime une diminution de 15 à 25% des collatéraux maintenus dans NSCC pour une réduction du cycle de livraison d'un jour et de 25 à 37% pour une réduction du cycle de deux jours.

Finalement, le troisième rapport estime de manière relative l'impact que peuvent avoir les DLTs dans différents domaines de la finance. Même si les estimations ne sont pas en valeur absolue, il s'agit tout de même d'une bonne source d'information. Treat, D., Brodersen, C., Blain, C., Kurbanov, R. (2017) estiment dans ce rapport que le clearing & le settlement seront une des activités financières les plus impactées avec un niveau d'économies potentielles de 70% ou plus. Ils estiment, de plus, que les DLTs peuvent permettre de réduire les coûts d'audit et de réconciliation de 30 à 50% et que des économies de 50% sont possibles sur les opérations centrales grâce à l'élimination de la réconciliation, de la confirmation et à la diminution des erreurs.

[4] NSCC ou *"National Securities Clearing Corporation"* est la chambre de compensation pour tous les titres américains.

II.3. Conclusion

Comme on peut le constater, actuellement, la littérature spécifique à l'implémentation des DLTs dans le clearing et le settlement de titres s'est principalement, voire exclusivement, basée sur l'estimation de l'impact qualitatif, cherchant à répondre aux questions : Avantages ? ; Inconvénients ? ; Révolution ou évolution du secteur ? ; (questions qui seront développées dans le point V). Effectivement, plus d'une trentaine d'articles discutent de ces trois questions quand seulement trois discutent de l'impact quantitatif potentiel de cette technologie. L'objectif de ce mémoire est de complémenter la littérature existante :

- en synthétisant la littérature qualitative afin de dégager les zones potentielles d'économies et spécifiques aux clearing et settlement de titres, contrairement à l'article de Santander Innoventures, Olyver Wyman et Anthemis Group (2015), qui ne détaille pas leurs méthodes et qui estime les économies dans le secteur financier global.
- en évaluant la grandeur des économies dans l'ensemble du secteur du clearing et du settlement de titres, complétant les estimations de Schneider, J., & al. (2016) qui évaluent l'impact uniquement dans le marché américain et oublient certains postes d'économies.
- en fournissant des estimations en valeur absolue à partir des rapports publiés par les acteurs du secteur eux-mêmes ; lorsque Treat, D., Brodersen, C., Blain, C., Kurbanov, R. (2017) ne proposent que des estimations relatives.
- en évaluant l'effet sur le prix de l'action d'une entreprise active dans le post-trading de titres et en proposant une discussion de son impact sociétal, ce qui n'a encore jamais été fait.

III. Les technologies décentralisées (DLTs)

Bien qu'ayant été inventées dès 1991 avec la parution de l'article de Haber S. et Stornetta W. S. *(Haber, S., Stornetta, W. S. (1991))* et ayant pris une tournure importante en 1998 avec l'invention de la première crypto-monnaie par Szabo N. *(Szabo, N. (1998)),* les technologies décentralisées ne sont apparues au grand jour qu'en 2008 grâce à la parution du *« white paper »* de Satoshi Nakamoto introduisant le *« bitcoin » (Nakamoto, S. (2008))*. Les DLTs consistent en un « *ensemble de données qui sont répliquées et partagées en divers endroits et qui sont synchronisées grâce à un système de consensus* » *(UK Government (2016)).* L'intérêt des DLTs est qu'elles permettent d'assurer l'intégrité des données sans devoir passer par un intermédiaire de confiance *(Figure 2).* La confiance en un tiers est ainsi remplacée par la confiance dans l'algorithme et le système informatique.

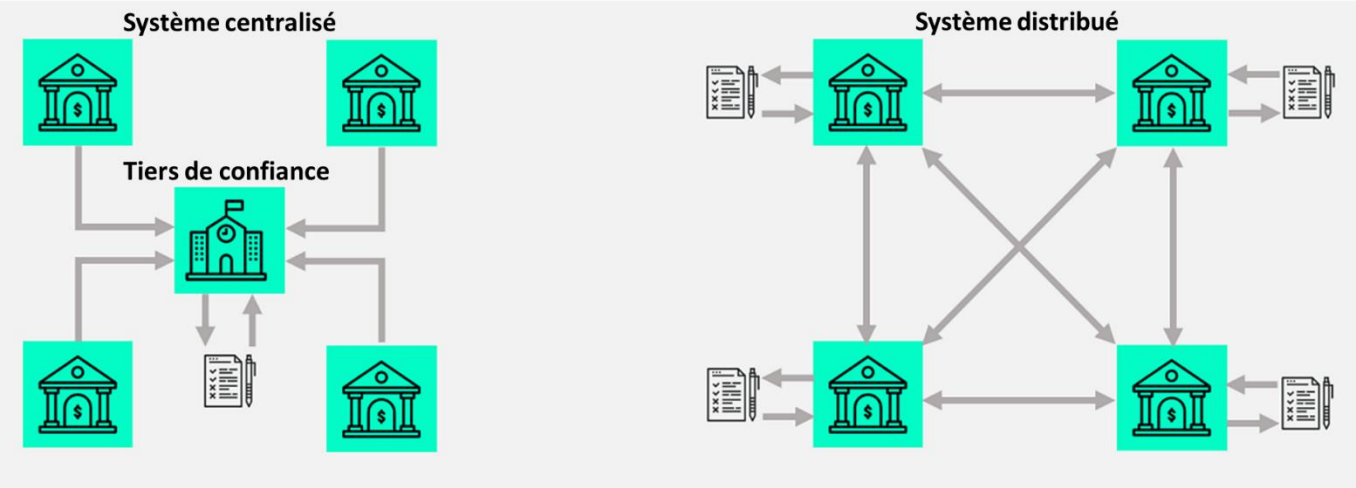

Figure 2 : Comparaison entre un système centralisé et un système distribué.[5]

La DLT la plus connue est, sans aucun doute, la *« blockchain »*. Il s'agit de celle assurant le bon fonctionnement du bitcoin. Même s'il s'agit d'un cas particulier de DLT où les données sont regroupées par bloc avant d'être ajoutées au reste de la chaine *(Thake, M. (2018))*, elle constitue le fondement des DLTs. Il est donc plus facile de passer par son étude avant d'analyser les diverses variantes existantes aujourd'hui.

[5] Schéma inspiré de : Belin, O. (n.d.). The difference between blockchain & distributed ledger technology. En ligne: https://tradeix.com/distributed-ledger-technology/

III.1. L'immuabilité du bitcoin

Un des fondements du bitcoin qui a permis son adoption dans la finance par rapport aux DLTs précédentes est son immuabilité, et plus précisément sa capacité à savoir faire face aux problèmes des généraux byzantins. C'est un problème récurrent dans les systèmes distribués qui consiste à envoyer une information différente au même moment à deux *« nœuds »* (participants) différents. Deux versions de la vérité circulent alors dans le réseau ne permettant pas de définir laquelle est la juste *(Bui, A. (s.d.)).* Ceci est particulièrement problématique dans la finance où un intermédiaire pourrait dépenser deux fois la même somme d'argent ou le même actif. C'est dans sa capacité à avoir su combiner à la fois des mécanismes cryptographiques existants et des éléments du comportement humain, afin d'éliminer cette menace, que réside le génie de Nakamoto S. (2008). C'est l'interaction de 8 éléments différents qui assurent l'immuabilité de la blockchain :

1) La structure de la blockchain en elle-même qui, en se présentant comme un registre mémorisant toutes les transactions, permet de fournir une preuve de la propriété et de garantir l'authenticité des actifs. Ceci rend l'introduction de nouveaux actifs frauduleux plus compliquée.
2) Son caractère distribué où tous les nœuds possèdent une version des données. Il n'existe donc pas de point central qui constituerait une faiblesse du système. Si on souhaite altérer le registre, on doit le faire sur une majorité des participants.
3) Le fait que la blockchain soit un registre sensible aux changements : chaque bloc de transactions comprend un référentiel du bloc précédent assurant que si l'on change un élément d'un bloc, on change son référent et on casse la chaine *(Figure 3).* Une personne voulant ajouter une transaction frauduleuse doit donc recréer la chaine entière à partir de l'ajout de cette transaction.
4) Former et soumettre un bloc n'est pas gratuit, il implique un coût économique à travers la consommation d'électricité (selon l'article sur le site *Elitefixtures (2018),* de 500 dollars à 26000 dollars, dépendant de la location du mineur, pour miner un bitcoin). En effet, pour pourvoir ajouter un bloc, il est nécessaire de fournir une valeur cryptographique commençant par un certain nombre de zéros, le degré de difficulté. Pour cela, il est nécessaire de procéder par essais et erreurs, afin de

déterminer un élément aléatoire, appelé *« nonce »,* qui permettra d'atteindre le nombre requis de zéros.

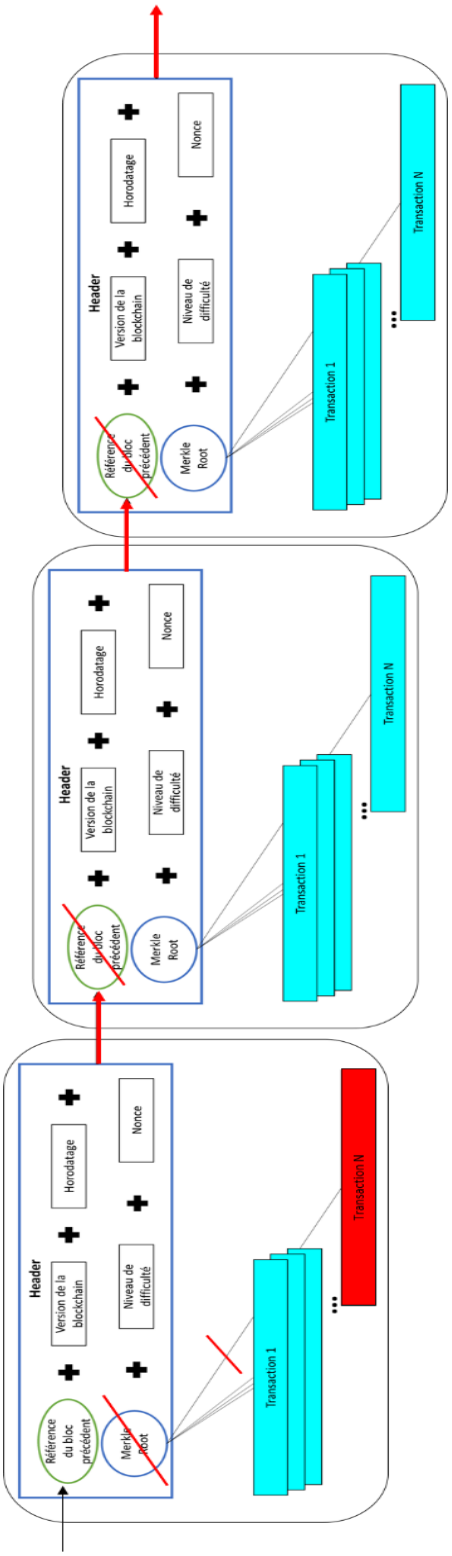

Figure 3 : Conséquence du changement d'une transaction d'un bloc sur la chaine entière.[6]

[6] Source : l'auteur.

5) Le principe de consensus basé sur la puissance de calcul utilisée (« *PoW* » ou « *Proof-of-Work* ») qui permet d'assurer que le réseau ne choisisse jamais qu'une seule version de la vérité. N'ayant pas de parties centrales, l'algorithme est conçu pour choisir une seule chaine sur base d'un élément totalement objectif : la puissance de calcul utilisée. C'est la chaine ayant requis la plus grosse quantité de calcul et, donc, représentant le plus gros coût économique qui sera toujours choisie. En assurant que le réseau ne travaille que sur une seule version de la vérité, la blockchain bitcoin permet de résoudre le problème des généraux byzantins.
6) Le fait que la difficulté de calculer le nonce est dynamique. Plus la puissance totale de calcul disponible dans le système est élevée, plus la difficulté de calculer le nonce augmente et inversement. Ceci a pour but d'assurer qu'un bloc de transactions n'est ajouté environ que toutes les dix minutes. Un participant malintentionné se retrouve alors dans un dilemme : soit il peut utiliser toute sa puissance de calcul, augmentant ses chances de réussir son attaque, mais alors il augmente la difficulté du système et donc le coût d'exécution des transactions ; ou alors il limite sa puissance de calcul, limitant son coût, mais réduisant ses chances de réussir son attaque.
7) Il existe une compétition entre les mineurs[7]. En effet, seul le premier mineur qui soumet un bloc valide (l'ensemble des transactions sont valides et le nonce trouvé l'est aussi), peut toucher la rémunération du bloc et celles associées aux transactions. Les autres mineurs perdent tout simplement le coût de l'électricité investie. Toutefois, pour que le bloc soit validé, il doit être vérifié par les autres mineurs. S'il n'est pas valide, alors le bloc est dissout et ces-derniers peuvent reprendre la formation de leur bloc là où ils l'ont interrompue. Les mineurs ont donc un intérêt à trouver une erreur dans le bloc soumis pour reprendre la formation du leur et ne pas subir une perte sèche. Ce système permet ainsi d'assurer une surveillance minutieuse des blocs ajoutés.
8) Le bitcoin étant une monnaie, comme toute monnaie, une partie de sa valeur dépend de la confiance que lui accordent ses utilisateurs. Dans les monnaies classiques, il s'agit de la confiance dans l'économie et les instances du pays émetteur *(Bank of England (s.d.)).* Dans le bitcoin, il s'agit de la confiance dans le réseau et son intégrité

[7] Un mineur est un participant qui met à disposition sa puissance de calcul pour exécuter des transactions. *(Wikipedia (2018c))*.

(Nakamoto, S. (2008)). Si une personne cherche à manipuler la chaine de blocs, il doit le faire de manière suffisamment subtile pour que personne ou très peu de personnes ne s'en aperçoivent. Dans le cas contraire, les gens quitteraient la blockchain diminuant la valeur du bitcoin et donc la valeur des actifs de l'hackeur.

Pour démontrer l'efficacité de l'interaction des différents éléments, supposons qu'une personne cherche à pirater la blockchain. Ne pouvant créer de nouveaux bitcoins issus de n'importe où, cette personne va devoir modifier des transactions existantes ou rajouter des transactions frauduleuses à partir du compte de personnes en possédant déjà. Ce faisant, il va entrainer l'altération de tous les blocs qui suivent celui où il a effectué des changements. Il va donc devoir réécrire toute la chaine en réeffectuant le calcul onéreux de chaque bloc. Sans compter que les autres mineurs ne s'arrêtent pas et donc que la chaine continue de s'agrandir entre temps. Ici, on peut déjà éliminer tous les hackers qui le feraient par amusement dû au coût économique prohibitif, de même que les petits hackers qui n'ont pas la puissance de calcul nécessaire pour à la fois recréer une chaine et rattraper celle en cours. En supposant que l'hackeur réussisse à arriver jusqu'à ce point, il entame la compétition de rapidité et de validation avec les autres mineurs et il faut qu'il sorte gagnant de celle-ci. Mais même en gagnant la compétition, il faut encore que sa chaine soit la plus importante en termes de puissance de calculs consommée pour que, par consensus, sa chaine soit considérée comme la bonne. Sans oublier que la manipulation doit être subtile et rare car une trop grosse manipulation, ou des manipulations trop fréquentes, entraineraient une perte de confiance dans le réseau et par conséquent une perte de valeur du bitcoin et donc une dévaluation des actifs de l'hackeur. La question finale est donc : est-ce qu'une personne est prête à risquer une telle attaque avec aussi peu de chance d'aboutir pour finalement un gain mineur ? La réponse, est que jusqu'à présent, personne n'a encore réussi à hacker le réseau.

Il faut toutefois savoir que, théoriquement, il existe un cas de figure rendant la réussite de l'attaque plus probable : lorsqu'un mineur possède plus de 51% de la puissance de calcul du réseau. En effet, avec une telle puissance, l'hackeur aurait la possibilité de réécrire la chaine tout en continuant celle en cours et pourrait imposer sa chaine puisqu'il représente à lui tout seul le consensus. Encore une fois, il ne faut toutefois pas sous-estimer la raison du bitcoin : être une monnaie. Si le cas d'un mineur avec plus de 51% de puissance de calcul du réseau

se présentait, il est fort probable que les autres participants prennent peur et perdent confiance dans le bitcoin diminuant sa valeur ainsi que la valeur des avoirs de ce mineur. Cette personne aurait donc plus à gagner à mettre sa puissance de calcul au service du réseau qu'à l'encontre de celui-ci.

III.2. La consistance éventuelle

La blockchain étant un système décentralisé, lorsqu'une nouvelle transaction est ajoutée, il n'y a pas de partie centrale pour transmettre la nouvelle version à tous les utilisateurs. Chaque nœud possède un ensemble de personnes avec lesquelles il est en contact (comme une liste d'amis), et transmet sa version de la blockchain à cette liste. De même, il reçoit aussi de ces nœuds leur version de la chaine. Lorsqu'un bloc est ajouté, la nouvelle version de la chaine se transmet donc petit à petit comme du bouche-à-oreille *(Drescher, D. (2017)).* On peut, par exemple, observer sur la figure 4 *(Figure 4)* que les deux nœuds en mauve possèdent un ensemble de nœuds, en bleu, avec qui ils ont une connexion directe (représentant leur liste de contacts) mais qu'ils ne possèdent pas entre eux deux de lien direct.

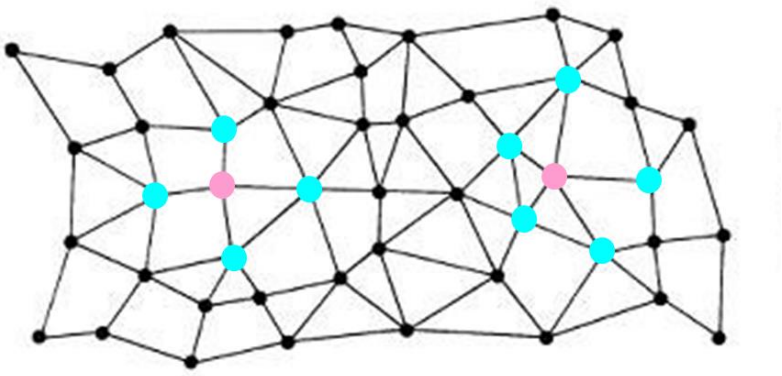

Figure 4 : Représentation d'un système distribué et du temps de propagation de l'information au sein du système.[8]

[8] Source : l'auteur.

Il découle d'une telle structure, qu'il peut se passer un certain laps de temps avant que tous les nœuds ne reçoivent la nouvelle version de la blockchain. Il peut ainsi arriver que plusieurs mineurs « distants » proposent un bloc à leur réseau proche et que celui-ci soit validé, donnant lieu à plusieurs versions différentes de la chaine simultanément dans le réseau *(Figure 5).* C'est ici qu'intervient le processus de consensus *(Pares, P. (2016))*. Une métaphore proposée par Drescher, D. (2017) qui représente bien la situation est celle de la forêt ou du parc. En effet, lorsque l'on se promène dans une forêt ou un parc, on peut observer des chemins qui n'ont été planifiés par aucun architecte et qui sont le résultat du passage de personnes agissant indépendamment. Les chemins les plus utilisés restent de manière durable, à l'inverse de ceux moins utilisés qui tendent à disparaitre au profit de la nature. Dans le cas du PoW, la chaine qui s'imposera sera celle utilisée par le plus de nœuds, chaque nœud choisissant indépendamment sur base du critère de la puissance de calcul utilisée pour former la chaine. La chaine sélectionnée étant celle qui a coûté le plus de puissance de calcul pour être formée. Lorsqu'une chaine a été complètement abandonnée par le réseau, les transactions inscrites sur ses blocs retournent dans le pot des transactions en attente pour être réexécutées et les mineurs qui avaient validé ces blocs se voient retirer leur récompense *(Nakamoto, S. (2008)).*

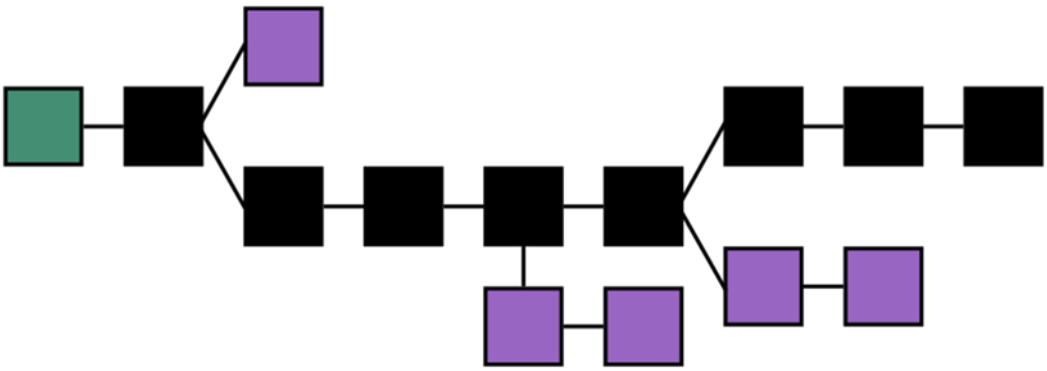

Figure 5 : Représentation de la chaine principale et de ses chaines orphelines.[9]

On parle de consistance éventuelle de la blockchain car c'est seulement après une certaine période de temps, que l'on peut être presque sûr de quelle chaine sera conservée, et donc que les blocs ajoutés ne seront plus éliminés. D'après *BitFury Group et, Garzik, J. (2015b)* :

[9] Source : Wikipedia (2018c). *Blockchain.* Dernières modifications faites le 21 décembre 2018. En ligne: https://fr.wikipedia.org/wiki/Blockchain

« *les blocs avec 36 confirmations (signifiant suivis de 36 blocs), correspondant à environ 6 heures plus tard, peuvent être vus comme pratiquement finaux* ».

III.3. Les 4 types de blockchains

Une chose qu'il est important de mentionner car elle aura un impact sur l'implémentation de la blockchain dans le clearing, est le settlement est les 4 différents types de blockchain possibles. En effet, la blockchain Bitcoin a été conçue totalement publique et ouverte à tout le monde, c'est-à-dire dans une logique totalement décentralisée. Ceci constitue à la fois un avantage mais peut aussi, dans certaines conditions, le milieu de la finance par exemple, être une limite. De même qu'un système centralisé n'a pas que des désavantages, on peut penser entre autres à la plus grande rapidité des décisions ou encore aux possibilités d'économies d'échelle *(Drescher, D. (2017)).* De telle manière que les chercheurs ont tenté de mixer les deux formes de systèmes pour pallier aux inconvénients et tirer profit des avantages de chacun. Ces déviations par rapport à la blockchain initiale créent de nouvelles possibilités d'utilisation de la technologie là où certains de ses attributs n'étaient pas toujours enviables. On peut ainsi décomposer les différentes blockchains sous deux axes *(Figure 6)* : « Qui peut y lire les données ? » et « Qui peut y effectuer des transactions ? » *(Devopedia (2018) ; (BitFury Group, Garzik, J. (2015a) ; (BitFury Group, Garzik, J. (2015b)).*

Lire les données?	**Effectuer des transactions?**	
	Tout le monde	Limité
Tout le monde	Publique et sans permission	Publique et avec permission
Limité	Privée et sans permission	Privée et avec permission

Figure 6 : Les 4 formes de blockchain.[10]

Le premier axe, « Qui peut y lire les données ? », crée deux possibilités : les blockchains publiques et les blockchains privées. Dans le cas des blockchains publiques, tout le monde a

[10] Source : l'auteur.

le droit de lire les données. Dans le cas des blockchains privées, seul un certain groupe de personnes autorisées a le droit de lire les données.

Le deuxième axe, « Qui peut y effectuer des transactions ? », crée deux possibilités lui aussi : les blockchains avec permission et sans permission. Dans le cas des blockchains avec permission, seules les personnes autorisées ont le droit d'effectuer des transactions. Dans le cas des blockchains sans permission, tout le monde peut y effectuer des transactions.

III.4. Blockchain 2.0, Proof-of-Stake & smart-contract

III.4.1. Etherum :

La blockchain étant une nouvelle technologie, elle est en constante évolution : les chercheurs cherchant à résoudre ses limites tout en gardant le bénéfice de ses avantages. Avec le développement de la blockchain *« Ethereum »* par *Vitalik Buterin (2013),* on parle déjà de blockchain de seconde génération. Alors que la blockchain Bitcoin permettait de transférer seulement de la monnaie, la blockchain Ethereum permet de transférer tout type de propriété et même d'exécuter des *« smart-contracts »* (concept expliqué dans le point suivant). Cette blockchain a aussi changé le mode de consensus, passant du Proof-of-Work, au *« Proof-of-Stake »*, basé sur la mise en dépôt d'actifs. C'est-à-dire que Buterin V. (2016) décrit le système du Proof-of-Work comme un système symétrique où les attaquants ont autant de probabilité de gagner que les défenseurs, comparativement à une île. A la place, il veut développer un système où les défenseurs sont avantagés, comparativement à un château fort. Pour ce faire, il a mis en place dans Ethereum le mode de consensus basé sur le Proof-of-Stake, dans lequel pour pouvoir devenir un validateur (et non plus un mineur), un nœud doit déposer et bloquer une quantité d'Ether (cryptomonnaie de l'Ethereum) similairement à une garantie. Parmi l'ensemble de ces validateurs possibles, l'un sera choisi pour forger (et non plus miner) le prochain bloc. Les chances d'être choisi augmentant avec la valeur du dépôt selon l'hypothèse qu'une personne ayant plus d'Ether dans le réseau a plus à perdre et sera donc moins encline à frauder. Le nouveau bloc ainsi formé est alors soumis à la communauté de validateurs qui vérifie son intégrité avant de l'ajouter à la chaine. Si tout est valide, le validateur qui avait forgé le bloc perçoit alors la compensation ; si le bloc est invalide, il est supprimé et le validateur ne perçoit aucune commission mais

supporte les coûts de formation du bloc et une pénalité correspondant à un prélèvement dans son dépôt *(Simply Explained - Savjee (2018) ; (Buterin, V. (2016)).* Le Proof-of-Stake permet donc de mettre en place un système de compensation/punition asymétrique où la perte en cas de fraude est supérieure au gain potentiel.

III.4.2. Smart-contract :

Un smart-contract est un petit programme informatique incorporé dans les données d'une blockchain et qui permet d'exécuter des contrats de type « Si – Alors ». Une fois les conditions rencontrées, le contrat s'exécute automatiquement, dans les conditions et limitations initialement programmées, de manière simple, fiable, peu onéreuse, et sécurisée *(Polrot, S. (2016))*. Des contrats simples peuvent être exécutés tout comme des contrats complexes *(Polrot, S. (2016)).* Selon Pinna, A. et Ruttenberg, W. (2016), ce sont les smart-contracts qui représentent le réel potentiel disruptif des DLTs. Ils offrent la possibilité de réduire les coûts, améliorer l'efficacité, simplifier, et automatiser des processus qui sont aujourd'hui très manuels.

IV. Le clearing & le settlement

Bien qu'étant un élément vital assurant le bon fonctionnement du système financier actuel, le clearing et le settlement sont souvent méconnus et incompris pour la plupart des personnes ne travaillant pas dans le monde des capitaux. Le clearing et le settlement interviennent pourtant dès que deux parties décident d'échanger un actif, peu importe que l'échange s'effectue à travers une plateforme réglementée ou de gré à gré non standardisé (« *over-the-counter* »), ou qu'il soit national ou international *(Schaper, T. (2008)).* Le post-trading est la seconde étape de la chaine de valeur de l'échange d'actifs *(Figure 7)*, il assure que les actifs échangés arrivent bel et bien à leur destinataire tout en minimisant les risques et les coûts supportés par les investisseurs finaux.

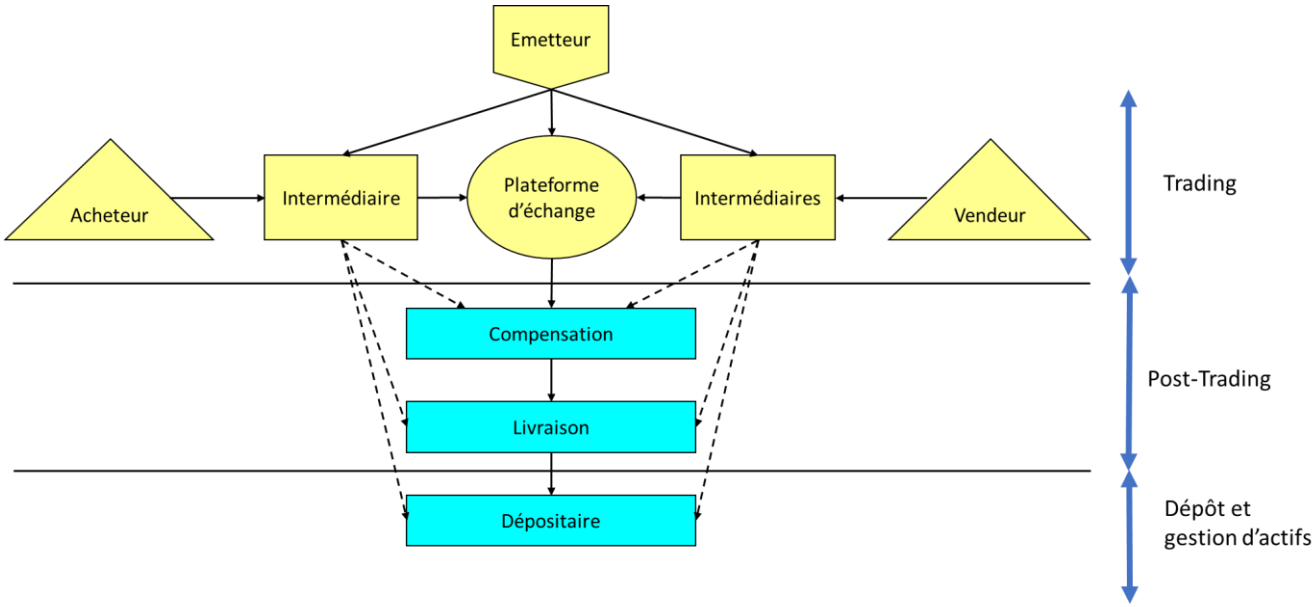

Figure 7 : Chaine de valeur de l'échange d'actif.[11]

[11] Basé sur Francioni, R., Schwartz, R. A., Byrne, J., & Welkoborsky, S. (2017). Equity markets in transition: The value chain, price discovery, regulation, and beyond. Springer. P16.

IV.1. Le clearing

La compensation (ou *« clearing »*) est la première étape du Post-Trading. Selon EMIR[12] (2012), le clearing consiste : « *à établir les positions des parties à l'échange, le calcul de leurs obligations, et d'assurer que des instruments financiers ou des fonds, ou les deux, sont disponibles pour couvrir le risque émanant de leurs positions* ». La compensation prend place dans les chambres de compensation (CCPs) qui sont hautement régulées et soumises à des critères très stricts en matière de gestion du risque. Les informations de l'échange peuvent, soit être transmises de manière automatique depuis la plateforme d'échange, soit être transmises par les intermédiaires financiers *(EPTF (2017)).* La compensation s'effectue en deux étapes : la confirmation et le matching, et la novation et le netting (Francioni R., Schwartz R.A., Byrne, J. & Welkoborsky S., (2017)).

IV.1.1. La confirmation et le matching :

La confirmation consiste à valider les termes de l'échange après avoir conclu un accord afin de s'assurer que ceux-ci sont corrects. Il s'agit de confirmer *(EPTF (2017))* :

- Le nom des contreparties
- La date de l'échange
- La date prévue de règlement (settlement)
- Le type d'opération (achat/vente)
- Le numéro d'identification de l'actif financier
- La quantité
- Le prix
- Les commissions
- Le prix total à payer
- Les instructions de règlement
- La place désirée de règlement (le dépositaire)

[12] The European Market Infrastrucutre Regulation

Il est à noter que le nombre d'intermédiaires financiers qui ont accès aux chambres de compensation est restreint. En effet, pour des raisons de coûts et de résilience aux risques (et donc de mobilisation de capitaux), la plupart des participants ne souhaitent pas ou ne peuvent accéder à ces structures. Il est donc nécessaire pour eux de passer par un intermédiaire supplémentaire : le « *general clearing member* ». Cette structure du marché en étage implique de confirmer les termes de l'échange à tous les niveaux de la chaine *(Figure 8).* Les chambres de compensation doivent donc demander aux clearings members de confirmer, eux-mêmes demandent confirmation aux brokers qui retransmettent l'ordre aux gestionnaires de fonds. Le message de confirmation doit, ensuite, remonter la chaine dans le sens inverse en allant du gestionnaire aux CCPs.

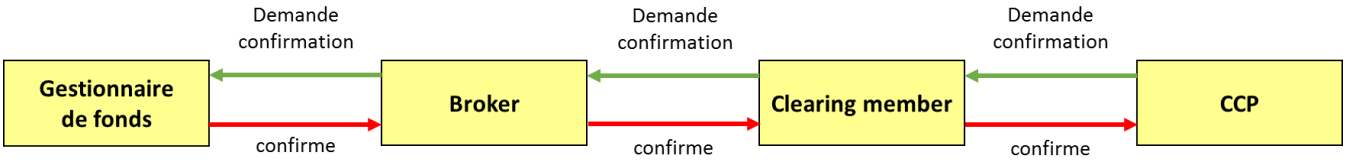

Figure 8 : Instruction des messages dans la compensation.[13]

Une fois la confirmation faite, afin d'éviter de transférer le mauvais actif ou la mauvaise somme d'argent à la mauvaise personne, il est nécessaire de faire correspondre l'achat à la bonne vente et inversement. Cette étape s'appelle le *« matching ».* Il y a deux niveaux de matching : au niveau du bloc *(Figure 9)* et au niveau de la transaction *(Figure 10) (EPTF (2017)).* Le nombre de clearing members étant restreint, de nombreuses transactions sont agglomérées dans chacun d'entre eux. Le bloc matching consiste donc à faire correspondre un clearing member avec son correspondant pour un ensemble de transactions qu'ils doivent s'échanger. Ceci est particulièrement important compte tenu du netting (concept introduit dans le point suivant). Le matching au niveau de la transaction consiste à faire correspondre les parties de chaque transaction prise individuellement. Cette étape permettra d'initier l'ordre aux différents dépositaires de mettre à disposition les actifs afin d'effectuer la livraison *((WEF (2016)).*

[13] Source : l'auteur.

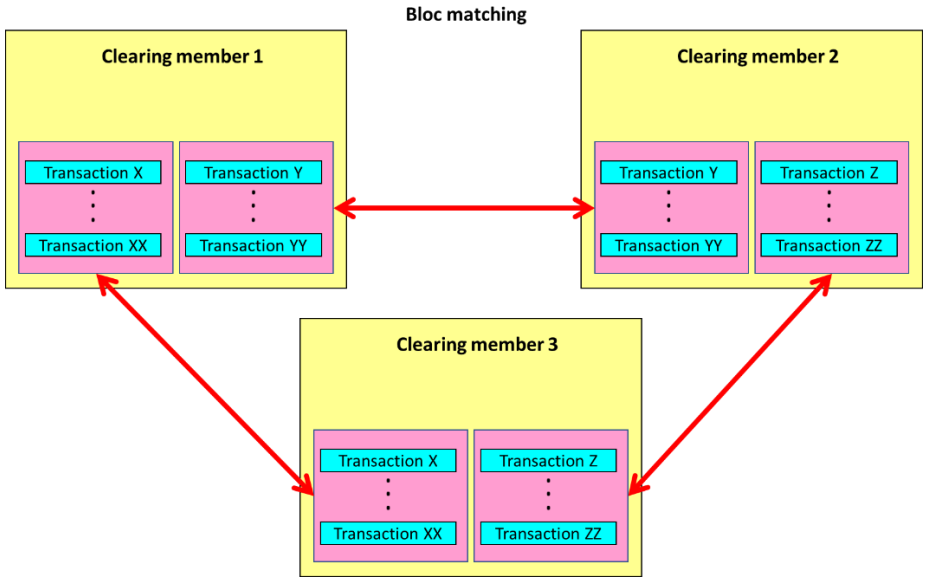

Figure 9 : matching au niveau du bloc.[14]

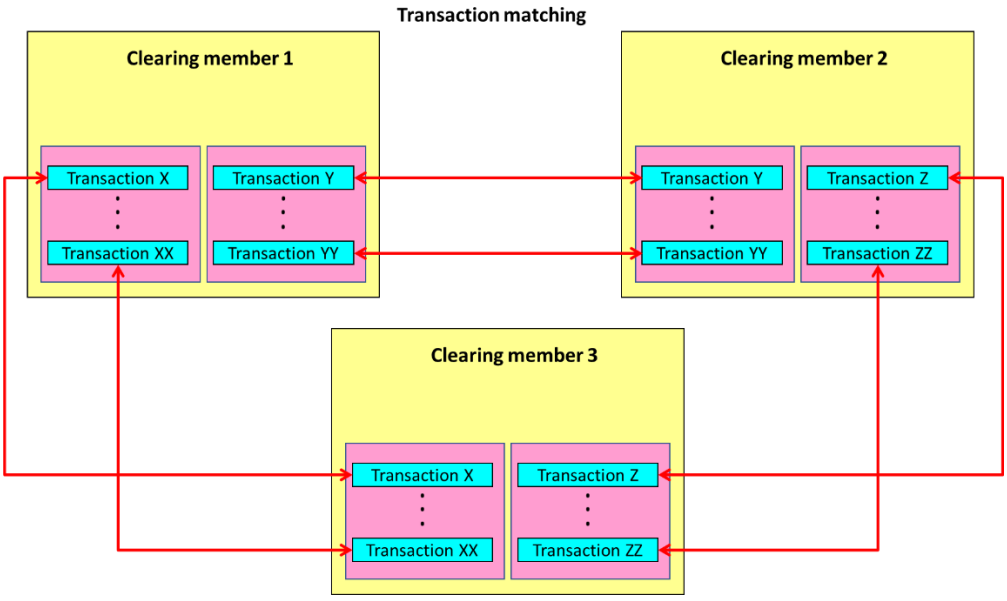

Figure 10 : matching au niveau de la transaction.[15]

IV.1.2. La novation, le netting, et le multilatéral netting :

Après la confirmation et le matching, la chambre de compensation agit comme CCP (ou *« Central Counter Party »*). EMIR (2012) définit un CCP comme étant : « *une entité légale qui s'interpose entre les contreparties lors d'un échange dans un ou plusieurs marchés financiers, devenant l'acheteur pour tous les vendeurs et devenant le vendeur pour tous les acheteurs* ».

[14] Source : l'auteur.
[15] Source : l'auteur.

Le CCP permet d'assurer aux parties à l'échange que la transaction sera honorée telle qu'elle avait été initialement convenue et ce même si une des parties fait défaut ». Les CCPs assurent trois services fondamentaux aux marchés actuels que sont la « *novation »*, le « *netting* », et le « *multilatéral-netting* » *(Loader, D. (2014)).* Ces trois services permettent grandement de faciliter et d'améliorer l'efficacité de l'échange tout en diminuant les coûts supportés par l'investisseur final.

La novation consiste en l'interposition de la chambre de compensation comme contrepartie à toutes les parties à l'échange *(Figure 11)*. Avec le développement de l'informatique et la dématérialisation des titres, ce rôle est devenu primordial dans l'organisation actuelle des marchés financiers pour deux raisons. Premièrement, parce que l'acheteur et le vendeur ne sont plus amenés à rentrer directement en contact l'un avec l'autre. En s'interposant comme contrepartie, la chambre de compensation permet de leur éviter le coût prohibitif de renseignement quant à la solvabilité de leur contrepartie. Deuxièmement, cela leur permet de pourvoir effectuer des transactions de manière anonyme, leur assurant une protection de l'intégrité de leur stratégie financière. De plus, en s'interposant entre les cocontractants, la chambre de compensation permet aussi d'éviter que l'insolvabilité d'une des parties n'affecte l'autre partie et donc un effet de propagation dans l'ensemble du marché *(AFME (2015) ; McPartland, J. (2005) ; (EPTF (2017)).* En effet, si un contractant fait défaut, les obligations et les droits de l'autre participant continuent avec la chambre de compensation qui est sa nouvelle contrepartie. La chambre de compensation ferme alors la position et assure les obligations de la partie devenue insolvable.

Le deuxième service fournit par les CCPs est le netting *(Figure 12).* Le netting consiste à calculer les obligations nettes de chaque clearing member plutôt que de les effectuer sur forme brute *(EPTF (2017))*. En effet, le nombre de clearing members étant restreint, ils sont amenés à échanger un nombre important de fois les uns avec les autres. De telle manière que, pour chaque actif et dans chaque devise, ils ne devront délivrer que la différence entre leurs achats et leurs ventes d'actifs, tout en prenant en compte la différence de prix (une action achetée à 8h du matin n'aura souvent pas le même prix qu'une action achetée à 14h).

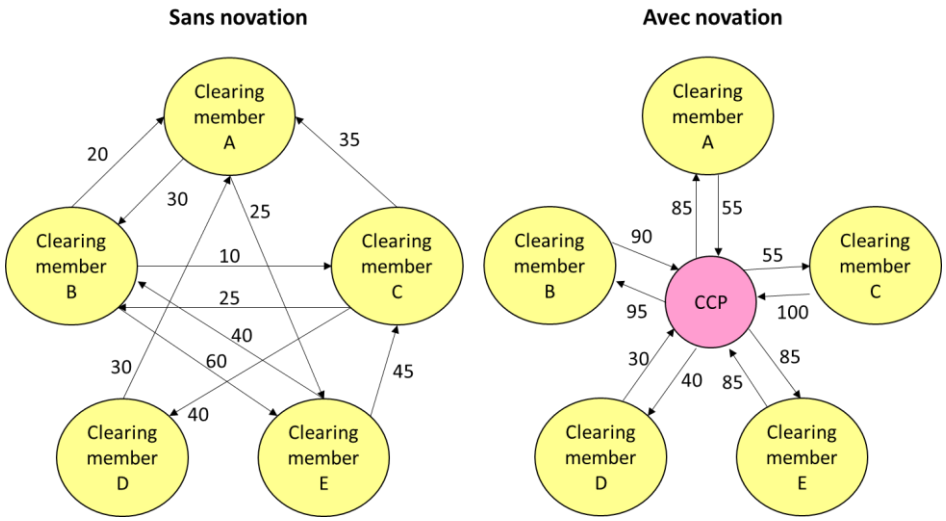

Figure 11 : Schéma illustratif de la novation.[16]

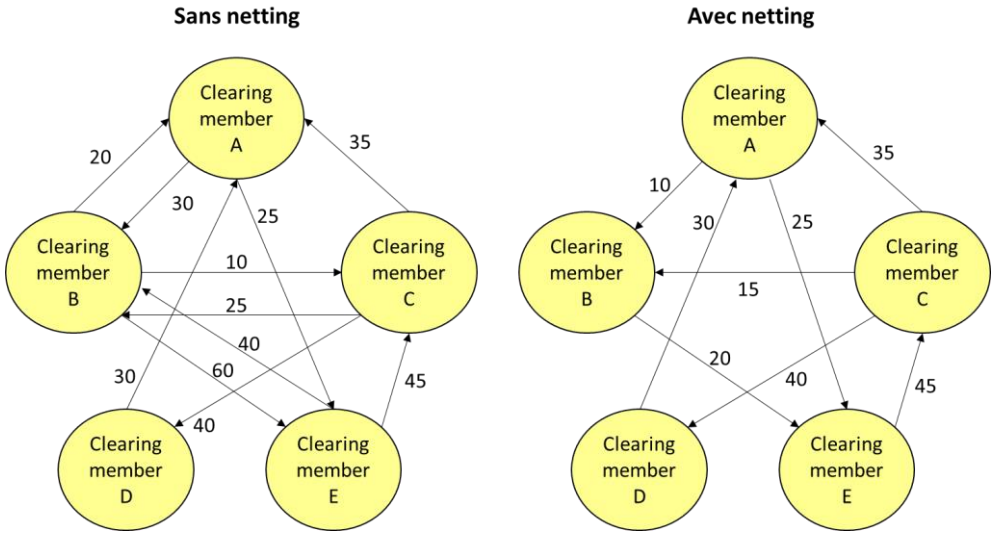

Figure 12 : Schéma illustratif de l'effet du netting sur les transactions à effectuer.[17]

Grâce à la novation, il est même possible de réaliser une forme supérieure de netting, le multilatéral-netting *(Figure 13).* En effet, en s'interposant entre les clearing members, ceux-ci ne s'échangent plus les produits financiers entre eux mais passent tous par le CCP. Il est donc possible de calculer leurs obligations nettes non plus par cocontractant mais sur une base globale *(EPTF (2017), Rehlon, A & Nixon, D. (2013))*. Chaque transaction individuelle en

[16] Basé sur la figure du European Association of CCP Clearing Houses (EACH) (s.d). *About Clearing.* En ligne: : http://www.eachccp.eu/about-clearing/

[17] Basé sur la figure du European Association of CCP Clearing Houses (EACH) (s.d). *About Clearing.* En ligne: : http://www.eachccp.eu/about-clearing/

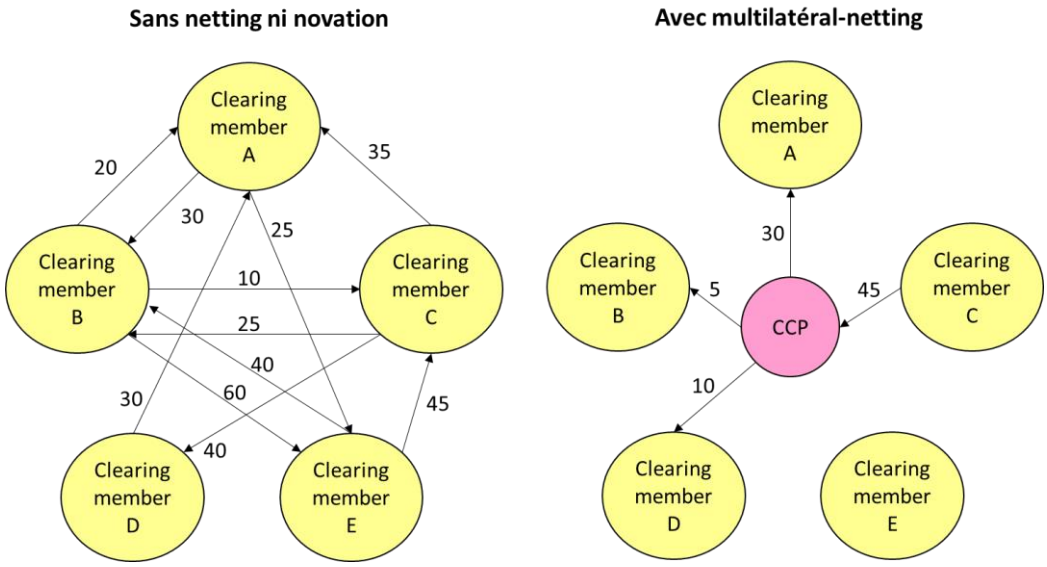

Figure 13 : Schéma illustratif du multilatéral-netting.[18]

quantité et en montant doit toujours être transcrite, pour un souci de régulation et de contrôle, mais seule la position nette devra être réglée. L'impact du netting et du multilatéral netting est considérable : il permet de réduire le nombre d'obligations à livrer à moins de 2% du nombre total de transactions effectuées *(DTTC (2018a))* et par conséquent, le montant des collatéraux nécessaires pour couvrir les positions (voir point suivant). Dans ses rapports annuels, Deutche Börse Group (2018) estime que le netting multilatéral permet de réduire les collatéraux requis de 3721 milliards d'euros à 40 milliards d'euros. Ceci a pour effet de diminuer les risques, les coûts en liquidité et en emprunts d'actifs, et les coûts de livraison. Les économies réalisées pour l'investisseur sont colossales.

IV.1.3. La mobilisation de capitaux :

Face au nombre abondant de transactions transitant par la chambre de compensation, il est nécessaire qu'elle se protège elle-même d'un risque de défaut. Un tel cas pourrait conduire à l'effet inverse que celui que lui donne le législateur, à savoir amplifier une chute totale du marché au lieu de prévenir des risques systémiques. C'est, par exemple, ce qui s'est passé en 1987 à Hong-Kong où, à la suite d'une insolvabilité du CCP local, les autorités ont décidé de fermer la bourse et d'arrêter les échanges pour éviter une chute totale du marché financier

[18] Basé sur la figure du European Association of CCP Clearing Houses (EACH) (s.d). *About Clearing.* En ligne: : http://www.eachccp.eu/about-clearing/

(AFME (2015)). Il est aussi nécessaire que les chambres de compensation se prémunissent quant à l'aléa moral des investisseurs. L'aléa moral, défini par Adam Smith, est le fait qu'une personne change son comportement et a tendance à prendre plus de risques lorsqu'elle est assurée *(Wikipédia (2018a)).* Dans le cas des CCPs, les investisseurs ne subissant plus le risque d'insolvabilité de leur contrepartie, pourraient avoir tendance à entrer dans des contrats à haut risque avec n'importe qui.

Il existe 4 niveaux de protection contre les risques dans les chambres de compensation *(Figure 14).* Le premier niveau de sécurité est les *« marges »* : lorsqu'un clearing member effectue un échange, il lui est demandé de déposer un pourcentage de la valeur nominale de ses obligations dans un compte appelé *« compte de marge »*. Dans le cas d'un titre, le cycle du Post-Trading prenant 2 à 3 jours, cela permet d'assurer qu'en cas de défaut de l'un des contractants avant la délivrance des titres, la chambre de compensation peut au moins récupérer une certaine partie des positions. Le montant des collatéraux à déposer est réestimé chaque jour en fonction de la valeur du prix du marché *(McPartland, J. (2005)).*

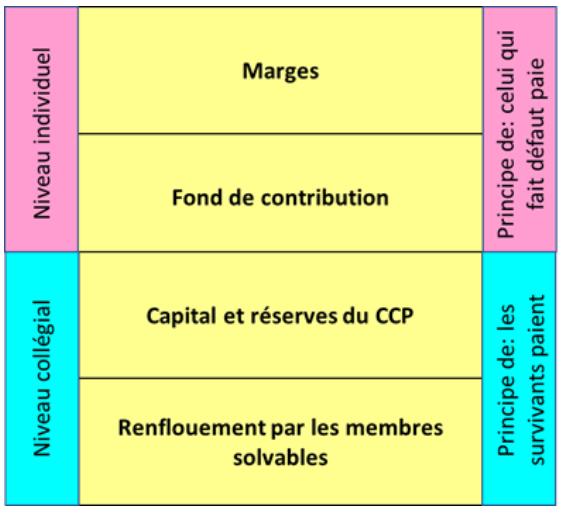

Figure 14 : Mécanisme de protection contre les risques d'insolvabilité dans les chambres de compensation.[19]

Le deuxième niveau de protection est le fond de contribution. Chaque clearing member est amené à participer à ce fond proportionnellement à la taille de ses activités et au risque de celles-ci dans la chambre de compensation. Dans le cas des marges, la mobilisation de capitaux est dépendante de chaque transaction prise individuellement. Dans le cas du fond

[19] Source: European Post-Trade Forum (EPTF) (2017). *Detailed analysis of the European Post Trade Landscape*. Annex 3.

de contribution, la mobilisation est proportionnelle à la taille globale des activités d'un participant. Les deux premiers niveaux représentent la protection individuelle avec le principe : « Le défaillant paie ». Ils sont là pour couvrir un défaut d'un participant en utilisant en partie ses propres fonds. Cela permet de réduire l'aléa moral car plus un participant prendra de positions et plus elles seront risquées, plus il devra fournir une couverture importante, sous forme de fonds ou de collatéraux, à la chambre.

Les deux derniers niveaux forment la partie collective de protection avec le principe : « Ceux en bonne santé financière aident les autres ». Ces niveaux ne sont pas impactés par l'implémentation de la blockchain dans le clearing et le settlement, nous ne les aborderons donc pas.

IV.2. Le settlement

La livraison (ou le *« settlement »*) est l'étape après le clearing. Elle consiste en l'échange final des actifs ou des fonds. Dans le règlement CSDR (2014), le settlement est défini comme : « *l'achèvement de la transaction qui permet de décharger les parties de leurs obligations à travers le transfert final de fonds ou d'actifs, ou les deux* ». Historiquement, le délai de livraison prenait 14 jours (T+14), ce qui était le temps nécessaire pour voyager entre Londres et Amsterdam. Aujourd'hui, la plupart des marchés sont passés à un délai de 2 jours (T+2) *(Wikipedia (2018b)).*

Le settlement prend majoritairement place dans un (I)CSD. La création de ces structures remonte à l'association viennoise en 1878, puis a été largement adoptée en Europe *(Wikipedia (2016)).* L'intérêt des (I)CSDs est de disposer des actifs en un seul endroit tel que le transfert de propriété puisse s'effectuer par livre comptable, d'un compte à un autre, sans devoir échanger physiquement l'actif. Ce système permet de grandement diminuer le temps, les risques, et les coûts de la livraison. Dans le contexte de l'utilisation de la blockchain dans le settlement, il y a 3 éléments qui nous intéressent : la fonction notariale des (I)CSDs, le mode de paiement, et la chaine de dépôt.

IV.2.1. La fonction notariale :

Le principe de la fonction notariale est d'assurer l'intégrité de l'émission d'actifs. Ce principe permet d'assurer qu'à tout moment le nombre d'actifs détenus par les investisseurs correspond au nombre d'actifs émis par l'émetteur *(EPTF (2017))*. Ceci a pour but d'assurer l'authenticité des actifs détenus et donc d'éviter que des actifs frauduleux ne soient insérés dans le système ou que les intermédiaires ne s'échangent des actifs non existants *(Benos, E., Garrat, R., Gurrola-Perez, P. (2017)).*

IV.2.2. Le mode de paiement :

Il existe trois types d'échanges : le DvP (*« Delivery versus Payment »*), la livraison d'actifs contre des fonds ; DvD (*« Delivery versus Delivery »)*, la livraison d'actifs contre des actifs ; et DvF (*« Delivery versus Free »)*, la livraison de franco *(Francioni R., Schwartz R.A., Byrne, J. & Welkoborsky S., (2017))*. Le DvP est sans aucun doute le moyen le plus utilisé. Le DvP permet de minimiser les risques de fraude à l'échange en assurant que l'échange de titres et de fonds s'effectue au même moment. Pour cela, les (I)CSDs procèdent généralement en 3 étapes *(EPTF (2017))* : premièrement, le (I)CSD bloque les actifs correspondant à l'échange dans le compte de la banque dépositaire qui l'a mis à disposition pour le moment de la livraison à la suite de l'ordre envoyé par la chambre de compensation. Deuxièmement, le (I)CSD demande le transfert des fonds de la banque de l'acheteur à la banque du vendeur (effectué à travers la banque centrale pour éviter tout risque). Troisièmement, aussitôt qu'il y a confirmation du paiement, le (I)CSD transfère les actifs bloqués du compte du dépositaire du vendeur au compte du dépositaire de l'acheteur.

IV.2.3. La chaine de dépôt :

Tout comme pour le clearing, la conservation d'actifs est divisée en une chaine d'intermédiaires allant de l'investisseur final aux dépositaires centraux *(Figure 15).* Lors d'une transaction, il est nécessaire de communiquer de l'investisseur final au dépositaire central pour mettre à disposition les actifs *(AFME (2015)).*

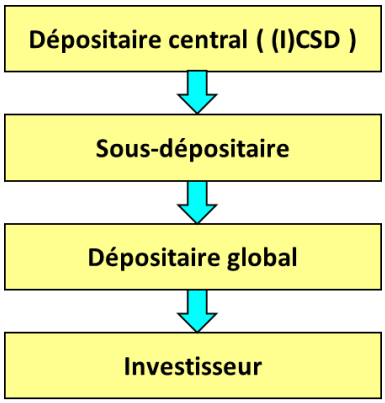

Figure 15 : Chaine du dépôt d'actifs financiers.[20]

IV.3. Les frictions et les imperfections dans le post-trading

Bien qu'apparaissant comme un processus efficace, le clearing et le settlement sont loin d'être parfaits. On peut ainsi identifier trois sources majeures de friction : la structure du secteur, la structure informatique, et les pressions sur le ROE et sur le coût des capitaux.

IV.1.1. La structure du secteur :

Comme nous l'avons présenté dans les points précédents *(IV.1.1. & IV.2.3.)*, le post-trading est composé de la chaine de clearing et de la chaine de dépôt. Ce qui a pour effet d'impliquer un nombre important d'intermédiaires dans l'exécution d'un échange augmentant le nombre de messages, de confirmations, et de matching. Schneider, J., & al. (2016) souligne que ce nombre d'interventions répétées est source d'erreurs et de ralentissement des processus de compensation et de livraison.

IV.3.2. La structure informatique du secteur :

Les infrastructures actuelles reposent exclusivement sur des bases de données de type « silo » que chaque institution financière maintient indépendamment des autres *(Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016)).* Ceci a pour conséquence pour les acteurs du marché de devoir

[20] Source : Association for Financial Market in Europe (AFME) (2015*). Post Trade explained: The role of post-trade services in the financial sector.*

réconcilier leurs données. A chaque échange, il leur est donc nécessaire de communiquer avec la ou les parties précédentes et la ou les parties suivantes afin de s'assurer de la correspondance de leurs données *(Treat, D., Brodersen, C., Blain, C., Kurbanov, R. (2017), Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016)).* Le groupe de consultance AITE a estimé qu'en 2014, les organisations financières avaient dépensé plus de 1.2 milliards de dollars en technologies informatiques facilitant la réconciliation *(Aite Group (2014)).*

Un deuxième problème est que les systèmes sont vieillissants (ils ont environ une vingtaine d'années), et ont été développés à travers le temps en y ajoutant de plus en plus de fonctionnalités mais sans en modifier leur cœur. Ces modifications ont rendu les systèmes de plus en plus complexes et moins bien optimisés, ainsi que l'interopérabilité entre eux de plus en plus difficile *(DTTC (2016) ; (Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016)).* Ce qui a pour conséquence de nécessiter une intervention manuelle pour passer d'un système à l'autre. De plus, les systèmes ayant atteint un certain âge, ils ne permettent plus de répondre aux cybermenaces actuelles.

IV.3.3. Conséquences :

Cette structure en silo et avec une longue chaine d'intermédiaires engendre des données de mauvaise qualité, un manque d'interaction entre les participants et, par conséquent, une croissance des risques d'erreurs. La proportion d'erreurs est estimée à 10% des échanges *(Schneider, J., & al. (2016))* et est la source de plus de la majorité des ressources employées lors du clearing et du settlement (Mainelli, M., Milne, A. (2016)). Selon DTCC, le dépositaire central américain : « *En moyenne une erreur crée jusqu'à 30 e-mails pour être résolue » (DTTC (2018a)).*

IV.3.4. Pression sur les ROE et le coût des capitaux :

Depuis la crise de 2008, le régulateur accorde un rôle particulier aux acteurs du post-trading comme miroirs et garants de la bonne santé financière des marchés *(AFME (2015)).* Toutefois, les augmentations de capitaux et de collatéraux requises, et les rapports que doivent dorénavant publier les intermédiaires financiers ont un impact sur leur rendement.

Ainsi, selon Taliaferro, P., & al. (2015), le ROE du secteur est passé de 15% avant la crise à 9% après la crise et est présumé diminuer davantage, jusqu'à 4 à 8% avec les nouvelles directives tel CSDR[21]. Afin de diminuer ces pressions sur le ROE, les intermédiaires souhaiteraient diminuer le temps de livraison (actuellement de 2 jours) qui, comme nous l'avons évoqué, immobilise des capitaux dans les comptes de marges et de contributions des chambres de compensation. D'après nos estimations (voir point VI.2.5.), les capitaux immobilisés pour la compensation de titres ont une valeur additionnée à travers les différentes chambres d'environ 80 milliards d'euros.

[21] Règlement (UE): No 909/2014 du Parlement européen et du Conseil du 23 juillet 2014 concernant l'amélioration du règlement de titres dans l'Union européenne et les dépositaires centraux de titres, et modifiant les directives 98/26/CE et 2014/65/UE ainsi que le règlement (UE) n ° 236/2012 Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE

V. Impact qualitatif de l'utilisation des DLTs dans le clearing et le settlement de titres

Maintenant que les concepts de DLTs, de clearing et de settlement ont été introduits, nous pouvons discuter en détail de la littérature sur le sujet. Plus précisément, les trois questions auxquelles répondent la majeure partie de la littérature : les avantages de l'utilisation des DLTs dans le clearing et le settlement, les barrières auxquelles doit encore répondre cette technologie avant de pouvoir être pleinement implémentée, et si son adoption conduira à une évolution ou une révolution de ce secteur. Cette discussion nous permettra de déterminer dans le point suivant les zones du clearing et settlement de titres où l'utilisation des DLTs peut apporter des économies.

V.1. Avantages de l'utilisation des DLTs dans le clearing et le settlement de titres

Le point le plus avantageux de l'utilisation des DLTs dans le post-trading est sans aucun doute le caractère distribué des données *(Van de Velde, J., & Al. (2016) ; (Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016) ; BIS (2017)).* Comme nous venons de le mentionner, les institutions financières reposent exclusivement sur des bases de données de type « silo » qui doivent être réconciliées entre elles afin de s'assurer de la validité de leurs données *(Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016))*. Taliaferro, P., & al. (2015) discutent d'ailleurs de la nécessité de mutualiser les données dans le clearing et le settlement pour réduire les coûts, sans mentionner l'utilisation de DLTs. Cependant, grâce à cette technologie, il devient possible de mettre en place une base de données unique et sécurisée (voir point III.1.) partagée par l'ensemble des intermédiaires et éliminant la nécessité de réconcilier les données.

Le deuxième impact des DLTs est l'élimination de la nécessité de confirmer et de matcher les transactions entre elles *(Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016) ; Van de Velde, J., & al. (2016) ; Schneider, J., & al. (2016))*. Lorsqu'une transaction prend place sur la base de données mutualisées, les caractéristiques de la transaction sont directement enregistrées éliminant la

possibilité qu'elles soient altérées par la suite et donc le besoin de les confirmer. De même que les parties prenantes sont liées dans la base de données dès qu'elles introduisent l'échange éliminant le besoin de devoir matcher la transaction entre les parties par la suite.

Troisièmement, l'implémentation des DLTs dans le clearing et le settlement permet de rendre le processus plus direct en éliminant le nombre d'intermédiaires (Schneider, J., & al. (2016) ; *Van de Velde, J., & al. (2016)).* Ce qui permet d'éliminer le nombre d'étapes, d'interventions et donc le nombre potentiel d'erreurs *(Schneider, J., & al. (2016))*.

Quatrièmement, l'utilisation de smart-contrats (voir point IV.3.2.) permet de rendre les processus plus automatiques et donc d'éliminer une partie de la main d'œuvre utilisée dans ce secteur *(BIS (2017)).* Il est possible d'automatiser le clearing, rendant les appels de marges et le netting automatiques *(ECB (2017) ; Benos, E., Garrat, R., Gurrola-Perez, P. (2017) ; WEF (2016))*. Il est aussi possible d'automatiser une partie du settlement et de rendre les services liés aux actifs, tels que les distributions de dividendes ou l'exécution des droits de vote, automatiques *(Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016) ; WEF (2016))*. Il est même possible de fournir une livraison similaire au DvP, offrant tous ses avantages, en assurant que l'actif ne soit livré que lorsque les fonds sont disponibles et inversement *(Benos, E., Garrat, R., Gurrola-Perez, P. (2017) ; Alexander, L. (2018)).*

L'accumulation de ces quatre premiers avantages a pour effet de nettement diminuer les coûts du post-trading *(BIS (2017) ; Alexander, L. (2018) ; Mills, D., & al. (2016) ; ECB (2017))*. En effet, en automatisant les procédés actuels, en supprimant la nécessité de réconcilier les données, et en supprimant des intermédiaires, l'utilisation des DLTs permet de réduire le nombre d'étapes et, plus important, le nombre d'erreurs. Or, les erreurs sont la source de la majorité des ressources utilisées dans le clearing et le settlement *(Mainelli, M., Milne, A. (2016).* Une seconde conséquence de ces effets est la création de bases de données de qualité supérieure et plus riches permettant de réduire davantage le nombre d'erreurs et de fournir des services de meilleure qualité (*Van de Velde, J., & al. (2016) ; Schneider, J., & al. (2016))*.

Cinquièmement, l'utilisation des DLTs permet d'augmenter la transparence. En effet, dans une blockchain publique, tout le monde a accès à toutes les données contenues dans la base de données ; dans le cas des blockchains privées, une ou plusieurs personnes peuvent y avoir

accès en fonction des privilèges accordés. En s'implémentant comme nœud dans le système, les régulateurs et les auditeurs peuvent eux aussi avoir accès à l'ensemble des transactions. Ce qui a pour conséquence de fournir des rapports en temps réel *(Schneider, J., & al. (2016))*, de diminuer les coûts de reporting *(Collomb, A., Sok, K. (2016)) ; Le Borne, F., Treat, D., Dimidschstein, F., Brodersen, C. (2016))*, et de diminuer, voire rendre quasi nuls, les coûts d'audit *(Catalini, C., Gans, J. S. (2017) ; Morgan Stanley (2016))*.

Sixièmement, comme mentionner par Taliaferro, P., & al. (2015), les DLTs offrent la possibilité de mutualiser les coûts. A l'heure actuelle, les développements de systèmes et l'intégration des nouvelles législations sont faits de manière isolée par chaque intermédiaire. Les DLTs peuvent permettre un développement et une implémentation communs au marché, ce qui permettrait de réduire les coûts en les partageant.

Septièmement, l'utilisation des DLTs dans le clearing & le settlement peut théoriquement rendre la livraison instantanée (et par-delà, éliminer le besoin de clearing) *(BIS (2017) ; Collomb, A., Sok, K. (2016) ; ECB (2017) ; Santander Innoventures, Olyver Wyman, Anthemis Group (2015)).* Un tel développement permettrait de débloquer une partie des collatéraux, dont la valeur accumulée avoisine les 80 milliards d'euros, gelés le temps du settlement *(Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016) ; Schneider, J., & al. (2016))*.

Huitièmement, à l'inverse d'aujourd'hui où les systèmes ne sont seulement disponibles que lorsque les participants sont actifs, avec les DLTs, les systèmes ont la possibilité de fonctionner 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 *(Figuet, J.M. (2016) ; DTTC (2016))*.

Neuvièmement, les DLTs offrent la possibilité d'augmenter la cybersécurité des systèmes actuels *(Le Borne, F., Treat, D., Dimidschstein, F., Brodersen, C. (2016) ; DTTC (2016) ; Benos, E., Garrat, R., Gurrola-Perez, P. (2017)).* Aujourd'hui, la sécurité informatique est au cœur de l'intérêt des acteurs financiers *(AFME (2015)).* Cependant, les systèmes sont vieillissants et devenus complexes, suite aux nombreux programmes qui y ont été ajoutés au cours du temps, ne permettant plus de faire face aux menaces actuelles *(Mills, D., & al. (2016) ; DTTC (2018a)).* L'implémentation des DLTs offre donc une opportunité de remplacer les vieux systèmes par de nouveaux plus adaptés à l'environnement informatique moderne. De plus, la blockchain est une base de données distribuée, où chaque nœud détient une réplique des données. Il devient, dès lors, très compliqué pour un hackeur de compromettre le marché

puisqu'il doit s'en prendre à l'ensemble des nœuds *(Van de Velde, J., & al. (2016)).* De même, lorsqu'un acteur subit individuellement un bug ou une attaque et que ses systèmes sont compromis, le marché n'en subit aucune conséquence et pour lui, il devient même très simple de s'en remettre à moindre coût en téléchargeant une réplique chez un autre intermédiaire. En réalité, à l'heure d'aujourd'hui, les intermédiaires financiers ont déjà opté (et c'est même obligatoire par loi pour certains) pour un système de sécurité similaire, à deux bases de données, leur permettant de pouvoir facilement passer de l'une à l'autre lorsqu'une de leur base de données est compromise *(ECB (2017))*. Cependant, les DLTs offrent cet avantage à un coût nettement inférieur, puisque les acteurs ne doivent plus maintenir individuellement qu'une seule base de données.

V.2. Barrières à l'utilisation des DLTs dans le clearing & le settlement de titres

Comme nous venons de le constater, les DLTs offrent de nombreux avantages pour les acteurs du clearing et du settlement. Toutefois, les DLTs restent une technologie nouvelle et pour laquelle il existe de nombreuses barrières et limites qui doivent encore être levées avant de pouvoir être globalement adoptée par l'ensemble du marché.

Premièrement, il y a le problème légal *(Van de Velde, J., & al. (2016 ; (Le Borne, F., Treat, D., Dimidschstein, F., Brodersen, C. (2016)).* Quelle valeur juridique le législateur accorde-t-il aux DLTs ? Afin de pouvoir être utilisées à leur plein potentiel, il est nécessaire que le législateur accorde une certaine valeur juridique aux données distribuées *(Benos, E., Garrat, R., Gurrola-Perez, P. (2017))*. Notamment, que le fait de posséder des actifs sur une base de données distribuée soit reconnu comme une preuve de la propriété de ces actifs. Cela permettrait de supprimer la fonction notariale exercée par les dépositaires centraux. A l'inverse, dans le cas contraire, l'impact des DLTs serait limité puisqu'elles ne seraient qu'une extension de la structure des tiers de confiance qui devraient retranscrire les données dans un système et une manière juridiquement reconnue. Il y a aussi la question de la juridiction applicable *(Van de Velde, J., & al. (2016) ; DTTC (2016)).* Avec la distribution des données, des données de transactions prenant part en Europe peuvent, par exemple, être stockées aux Etats-Unis.

Sont-elles alors soumises au droit européen ou américain ? Cette question est particulièrement importante contenu des lois de protection des données personnelles *(ECB (2017) ; Le Borne, F., Treat, D., Dimidschstein, F., Brodersen, C. (2016)).*

Deuxièmement, il est nécessaire qu'une transaction prenant place sur une base de données distribuée soit définitive *(Mills, D., & al. (2016) ; Van de Velde, J., & al. (2016) ; Schneider, J., & al. (2016))*. Or le principe de consistance éventuelle de la blockchain implique qu'à tout moment un bloc de transactions reconnu comme confirmé peut ne plus l'être *(Drescher, D. (2017)).* Une telle situation crée de l'incertitude dans les marchés financiers et est indésirable. Toutefois, la consistance éventuelle est aussi dépendante du mode de consensus utilisé et donc recourir à un autre mode de consensus que le PoW peut solutionner le problème.

Troisièmement, afin de pouvoir exécuter le DvP, il est nécessaire que les bases de données représentant les actifs soient liées aux bases de données représentant les fonds et de préférence, qu'ils soient émis par une banque centrale afin de minimiser les risques *(Van de Velde, J., & al. (2016) ; Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016) ; ECB (2017) ; Benos, E., Garrat, R., Gurrola-Perez, P. (2017)).* Dans le cas contraire, encore une fois, les DLTs ne seraient qu'une extension des intermédiaires financiers puisque la livraison devrait être exécutée sur une autre plateforme afin d'assurer le DvP. Toutefois, on peut être optimiste étant donné l'engouement des banques centrales : selon un rapport de la BIS, 70% procéderait actuellement à des recherches pour développer des cryptomonnaies *(Barontini, C., Holden, H. (2019).*

Quatrièmement, le fait que les DLTs soient une structure décentralisée et distribuée peut aussi être un frein dans son développement. La structure finale permettra, entre autres, de diminuer les coûts en les partageant par l'ensemble du réseau mais cela signifie aussi devoir participer conjointement à son développement. Les différentes attentes et/ou la volonté de profiter sans participer peuvent mener à l'échec de l'implémentation des DLTs comme ce fut le cas avec les précédentes initiatives de mutualisation du post-trading *(Taliaferro, P., & al. (2015) ; Schneider, J., & al. (2016) ; Morgan Stanley (2016)).* De plus, dans le cas des DLTs certaines activités du post-trading sont menacées. Certains intermédiaires pourraient alors avoir tendance à jouer plus le rôle d'un perturbateur que d'un collaborateur afin de

préserver leurs activités *(Morgan Stanley (2016)).* Enfin sa réussite dépendra aussi de son adoption : plus un nombre élevé de participants adopteront une DLT plus ce sera intéressant pour eux d'adopter celle-là *(Van de Velde, J., & al. (2016)).*

Cinquièmement, de nombreux articles pointent du doigt l'incapacité de la blockchain à pouvoir actuellement être largement adoptée *(Figuet, J.M. (2016) ; Van de Velde, J., & al. (2016) ; Schneider, J., & al. (2016) ; Morgan Stanley (2016) ; Le Borne, F., Treat, D., Dimidschstein, F., Brodersen, C. (2016)).* A l'heure actuelle, la blockchain bitcoin n'exécute en moyenne qu'entre 250 000 et 350 000 transactions par jour *(blockchain.com (s.d.))*[22] alors que DTCC (2018a) en temps de pic exécute jusqu'à 25,000 transactions par seconde, soit 1.5 millions par minute et en moyenne entre 50 millions et 120 millions par jour. Toutefois, de nombreux développements sont réalisés sur ce sujet et DTCC a déjà réussi à mettre en place un système capable d'exécuter plus de 100 millions de transactions par jour *(DTCC (2018b)).*

Sixièmement, il est nécessaire que soient développés en même temps que les DLTs des standards communs *(Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016) ; Schneider, J., & al. (2016) ; Morgan Stanley (2016) ; Le Borne, F., Treat, D., Dimidschstein, F., Brodersen, C. (2016)).* Ceci dans le but d'assurer l'interopérabilité entre différents systèmes utilisant différentes DLTs, entre les systèmes existants et les nouveaux *(Van de Velde, J., & al. (2016)),* mais aussi afin de pouvoir utiliser les DLTs à leur plein potentiel. En effet, un des avantages des DLTs est l'automatisation de certaines procédures à travers les smart-contrats. Cependant, il s'agit là de programmes informatiques qui ne possèdent donc pas de flexibilité d'interprétation. Pour pouvoir exécuter la confirmation et le matching automatiquement, il est nécessaire que les termes des échanges correspondent parfaitement *(Benos, E., Garrat, R., Gurrola-Perez, P. (2017)).* Si l'implémentation des DLTs n'est pas accompagnée du développement de standards communs, il se pourrait que le post-trading reste similaire à aujourd'hui, le manque d'interopérabilité étant source de frontière entre les systèmes, nécessitant de les réconcilier par une intervention manuelle. Encore une fois, les acteurs financiers cherchent à résoudre ce problème à travers diverses initiatives notamment en prenant part à des consortiums. Le plus connu étant R3, rassemblant plus de 200 entreprises, et financé par plus de 45 d'entre elles *(R3.com (s.d.)).*

[22] https://www.blockchain.com/fr/charts/n-transactions

Septièmement, il existe une balance entre la visibilité intégrale des transactions et l'anonymat *(Van de Velde, J., & al. (2016) ; Mills, D., & al. (2016) ; ECB (2017) ; Schneider, J., & al. (2016)).* En effet, la blockchain a pour caractéristique que toutes les transactions soient visibles par et pour tous. Cependant, cette situation n'est pas désirable dans le cadre des marchés financiers puisqu'elle exposerait les stratégies financières de chaque participant aux yeux de tous *(ECB (2017) ; (Benos, E., Garrat, R., Gurrola-Perez, P. (2017)).* Mais dans le même temps, les transactions ne peuvent pas, non plus, être encryptées et rendues anonymes pour des raisons légales comme le KYC (*« know your customer »)* et l'AML *(« anti-money laundering ») (ECB (2017) ; (Le Borne, F., Treat, D., Dimidschstein, F., Brodersen, C. (2016)).*

V.3. Révolution ou évolution du clearing et settlement ?

La littérature est unanime sur le fait que l'implémentation des DLTs sera une évolution et non révolution du post-trading. Il est très probable, voire certain, que les DLTs implémentées soient du type avec permission et privée plutôt que sans permission et publique *(Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016) ; Schneider, J., & al. (2016) ; Benos, E., Garrat, R., Gurrola-Perez, P. (2017))*. Ce type de configuration permettrait, premièrement, d'octroyer des droits différents aux divers participants comme le droit de ne voir que les données correspondant à leurs transactions pour les banques ou l'ensemble des données pour les régulateurs *(BIS (2017)).* Cela permettrait de résoudre le problème entre trop d'anonymat ou trop de visibilité *(Benos, E., Garrat, R., Gurrola-Perez, P. (2017)).* Deuxièmement, l'accès aux marchés financiers est soumis à des conditions particulières : le besoin d'une autorisation formelle délivrée par les régulateurs afin de maintenir la stabilité du secteur. Il est donc improbable que ces derniers laissent tout le monde y avoir accès comme ce serait le cas avec une blockchain publique et sans permission *(ECB (2017)).*

De plus, l'implémentation des DLTs ne conduirait pas à la fin des tiers de confiance *(Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016) ; Schneider, J., & al. (2016) ; Catalini, C., Gans, J. S. (2017)).* Avec l'utilisation de DLTs avec permission, il est nécessaire qu'un intermédiaire exerce le rôle de gouvernance (très probablement les dépositaires centraux), permettant d'octroyer les divers

droits aux différents participants *(Morgan Stanley (2016) ; Le Borne, F., Treat, D., Dimidschstein, F., Brodersen, C. (2016)).* Le rôle de gouvernance va plus loin, en permettant aussi de résoudre les erreurs. En effet, les DLTs restent des bases de données et sont donc sujettes à ce qui y est inscrit : si une banque vient à se tromper dans les détails d'une transaction, il est nécessaire qu'un intermédiaire puisse effectuer les rectifications malgré l'immuabilité de la blockchain *(DTTC (2016) ; Benos, E., Garrat, R., Gurrola-Perez, P. (2017)).* De plus, en gardant un acteur central, cela permet de faciliter le développement et l'implémentation de la technologie. Premièrement, en agissant comme leader. L'un des problèmes récurrents dans les systèmes décentralisés est la lenteur de la prise de décisions car il est nécessaire d'obtenir une majorité *(Drescher, D. (2017)).* Cela s'est exemplifié avec la blockchain bitcoin où deux chaines alternatives ont été créées à la suite d'un manque de consensus quant à la manière de résoudre le problème de performance. Un groupe étant partisan de ne rien changer, un deuxième d'augmenter la taille des blocs et un troisième, de réduire la taille des transactions *(Verdier, M. (2018))*. En agissant comme leader, le dépositaire central pourra effectuer des modifications beaucoup plus rapidement et offrira aussi un cadre juridique plus simple pour les législateurs (la base de données étant sous la juridiction du pays d'implémentation du CSD) *(Van de Velde, J., & al. (2016)).* Deuxièmement, cela permettrait aussi de prendre en charge la majorité des coûts et de les redistribuer à travers des frais d'utilisation, éliminant le problème de la contribution de tous.

Ensuite, depuis la crise de 2008 et à la suite de législations, les tiers de confiance agissant dans le post-trading ont pris une importance particulière de réducteur de risques. Il est donc très peu probable que les régulateurs acceptent que cette position soit laissée vacante, renfonçant l'idée d'un maintien des tiers de confiance *(Taliaferro, P., & al. (2015) ; Le Borne, F., Treat, D., Dimidschstein, F., Brodersen, C. (2016) ; Collomb, A., Sok, K. (2016)).*

Il faut aussi noter que les DLTs sont une technologie nouvelle, et les marchés financiers ne peuvent pas ne pas fonctionner à un moment donné. Il est donc nécessaire de la développer en même temps que les systèmes existants, en assurant une interopérabilité entre les deux afin de pouvoir facilement passer de l'un à l'autre en cas de problèmes *(Van de Velde, J., & al. (2016))*.

Enfin, le modèle de DLTs qui est actuellement le plus adapté pour les marchés financiers est *« Corda »*, créé par R3, le consortium de banques. A l'inverse des DLTs habituelles, qui sont développées dans la mentalité de la désintermédiation, Corda est développé par des entreprises actives dans le secteur. Elles cherchent donc, avant tout, à résoudre les problèmes du clearing et du settlement, tout en reconnaissant l'intérêt que peut avoir les parties centrales *(Carneciu, M. (2017))*. Cette DLT utilise, par exemple, un mode de consensus basé sur le *« need-to-know »* où seules les parties à l'échange et une ou deux parties centrales valident la transaction, permettant de grandement diminuer les coûts par rapport au PoW *(Corda (s.d.)).* Cette DLT exemplifie parfaitement qu'il s'agit d'une évolution et non d'une révolution du secteur puisque les acteurs de secteur maintiennent les tiers de confiance.

V.4. Zones d'économies

En utilisant les avantages de l'utilisation des DLTs dans le post-trading mis en avant par la littérature, nous avons identifié 5 postes dont les coûts pourront être réduits. Premièrement, une diminution des coûts de mains d'œuvre. Comme l'ont mentionné Schneider, J., & al. (2016) ; DTTC (2018a) ; et Mainelli, M., Milne, A. (2016), la majorité de la main d'œuvre utilisée dans le clearing et le settlement s'occupe de la gestion des erreurs. Or, avec un processus plus direct, l'élimination de la nécessité de réconcilier les données, et plus d'automatisation, le nombre d'erreurs va nettement diminuer. Le deuxième poste identifié constitue les frais généraux. Ceux-ci sont réduits, d'une part, suite à la diminution du nombre d'erreurs et donc de la quantité de ressources nécessaires, et d'autre part, suite à la diminution du personnel. Troisièmement, comme nous l'avons déjà évoqué, l'implémentation des DLTs permettra de réduire les coûts de reporting et d'audit. Quatrièmement, les acteurs du post-trading ont investi massivement dans des programmes informatiques leur permettant de gérer les erreurs, faciliter la réconciliation, et faciliter l'interopérabilité entre les systèmes. L'utilisation de la blockchain leur permettra donc de réduire ces investissements en travaillant sur un système commun. Cinquièmement, la réduction du cycle de livraison permettra de libérer le coût d'opportunité associé à l'ensemble des collatéraux immobilisés dans les chambres de compensation.

VI. Impact quantitatif de l'utilisation des DLTs dans le clearing et le settlement de titres

Maintenant que nous avons revu la littérature, expliquer le fonctionnement du post-trading et de la blockchain, et que nous avons identifié les zones d'économies, nous pouvons passer à la deuxième contribution de ce mémoire : évaluer la grandeur des économies et estimer l'effet sur le prix de l'action d'une entreprise du secteur.

VI.1. Les 3 scénarios possibles

A l'heure actuelle, il est presque impossible de savoir exactement quelle forme prendra les DLTs dans le clearing et le settlement. Pour affiner notre analyse, nous allons donc développer 3 scénarios allant du moins au plus disruptif. En réalité, 5 scénarios pourraient être imaginés mais les deux plus extrêmes ne sont pas considérés car ils sont improbables voire impossibles : cas où les DLTs n'auraient aucun impact *(Figure 16)* et le cas où l'ensemble du post-trading serait remplacé par une seule blockchain *(Figure 17)*. Dans le premier cas, vu l'engouement des régulateurs et des participants pour les DLTs et l'ensemble de littérature déjà publiée sur le sujet, il est aujourd'hui impossible que la blockchain ne soit pas implémentée dans le secteur. Dans le deuxième cas, comme nous en avons discuté dans le point V.3., l'implémentation des DLTs dans le clearing et le settlement sera une adoption par le marché et non une révolution de ce dernier, il est donc très improbable de le voir entièrement remplacé par une blockchain.

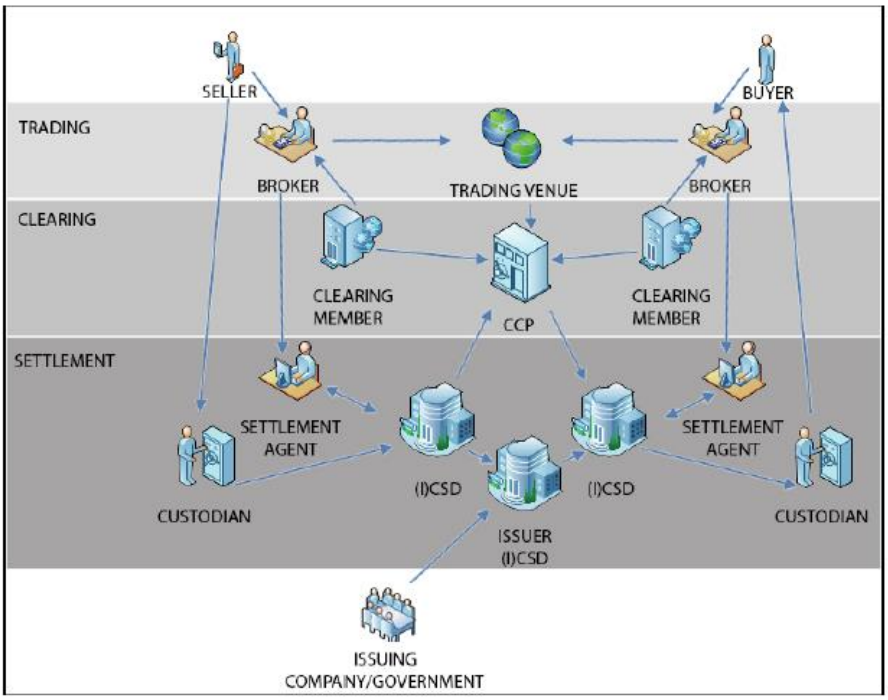

Figure 16 : Situation actuelle du post-trading.[23]

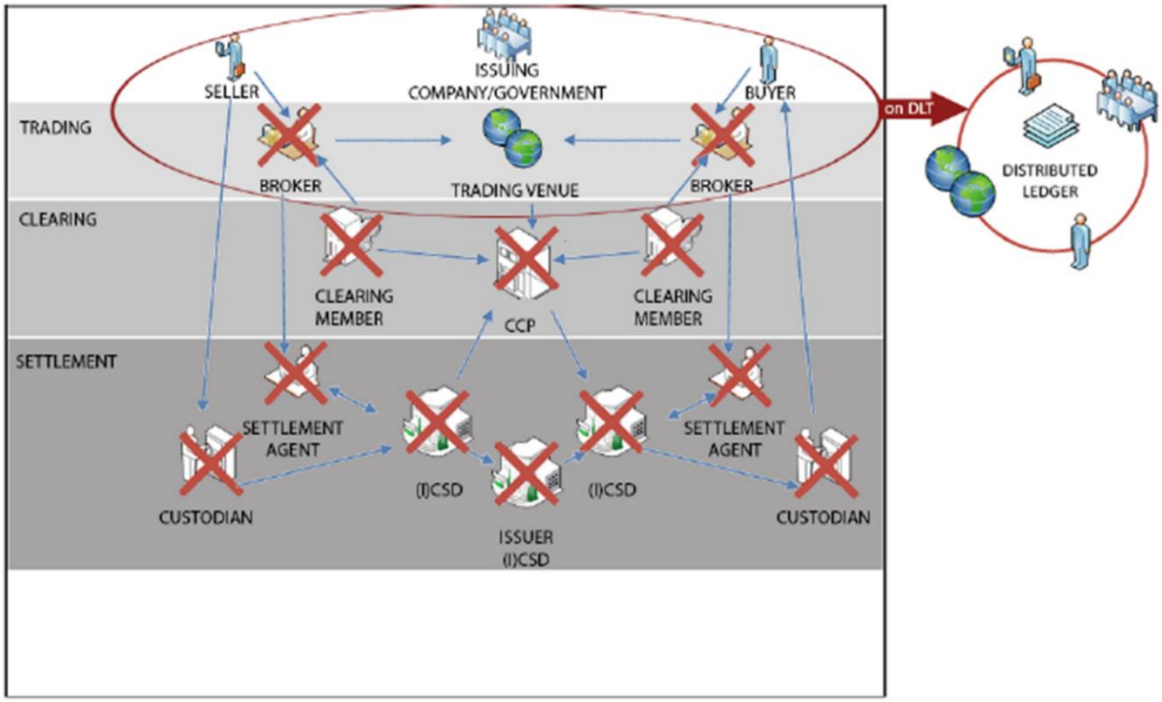

Figure 17 : Situation où l'ensemble du post-trading serait remplacé par une seule DLT.[24]

[23] Source : Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016). *Distributed ledger technologies in securities post-trading: Revolution or evolution?.* European Central Bank. En ligne: https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpops/ecbop172.en.pdf

[24] Source : Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016). *Distributed ledger technologies in securities post-trading: Revolution or evolution?.* European Central Bank. En ligne: https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpops/ecbop172.en.pdf

Le premier scénario considéré est le cas où les DLTs auraient un impact limité. Leur implémentation consisterait exclusivement en une mutualisation des bases de données par dépositaires centraux : l'ensemble des participants partageraient une DLT commune pour un (I)CSD mais une DLT différente pour un autre (I)CSD *(Figure 18)*. Cette configuration permettrait d'éliminer en partie la réconciliation (le long de la chaine de cet (I)CSD) mais elle resterait nécessaire pour assurer l'interopérabilité entre les systèmes des différents dépositaires centraux. La presque totalité des intermédiaires le long de la chaine resterait puisque l'automatisation ne pourrait pas pleinement prendre place (les informations étant bloquées d'un dépositaire central à l'autre). Les coûts d'audit et de reporting seront quand même réduits puisque les régulateurs et auditeurs auront toujours la possibilité de s'implémenter comme nœud et donc d'avoir accès aux informations en temps réel. Cependant, ces coûts ne seraient pas presque nuls comme avancé dans la littérature car les auditeurs obtiendront les informations partie par partie, DLT par DLT, il faudrait donc les réconcilier.

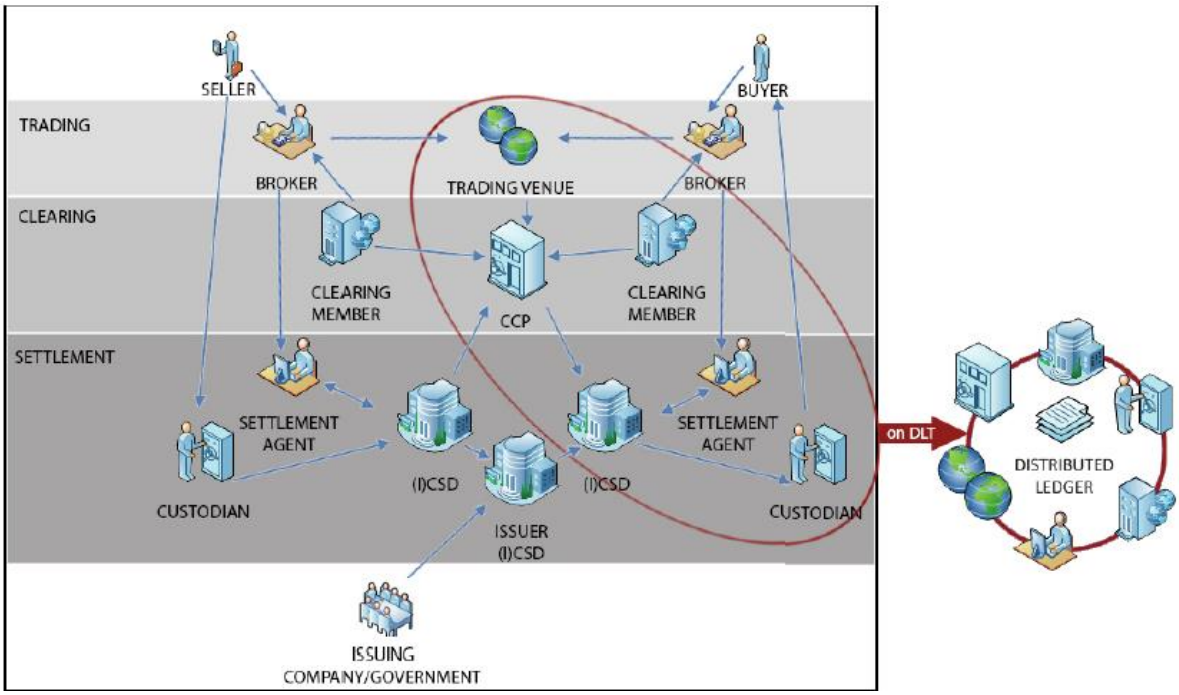

Figure 18 : Situation avec une mutualisation des données par dépositaire central.[25]

[25] Source : Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016). *Distributed ledger technologies in securities post-trading: Revolution or evolution?.* European Central Bank. En ligne: https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpops/ecbop172.en.pdf

Le troisième scénario *(Figure 19)* est le cas où l'implémentation des DLTs a un impact important sur le clearing et le settlement. Un nombre limité de DLTs serait proposé couvrant la totalité du marché (spécifiquement en Europe où 2-3 DLTs maximum seraient disponibles). La présence de nombreux intermédiaires serait remise en question, leurs fonctions pouvant être directement assurées de manière automatique dans la base de données notamment grâce aux smart-contrats. La réconciliation serait nettement réduite, les intermédiaires ne devant plus qu'assurer l'interopérabilité entre quelques systèmes. Comme les régulateurs auraient accès aux données en temps réel et de manière presque complète, les coûts d'audit et de reporting seront eux aussi nettement diminués.

Le deuxième scénario *(Figure 20)* correspond à l'entre deux : une situation dans laquelle le post-trading verrait l'émergence d'un nombre inférieur de DLTs par rapport au nombre actuel de dépositaires centraux (mais pas aussi limité que dans la troisième situation), permettant de réduire davantage la réconciliation, le nombre d'intermédiaires, et les coûts d'audit et de reporting que dans la première situation mais moins que dans la troisième.

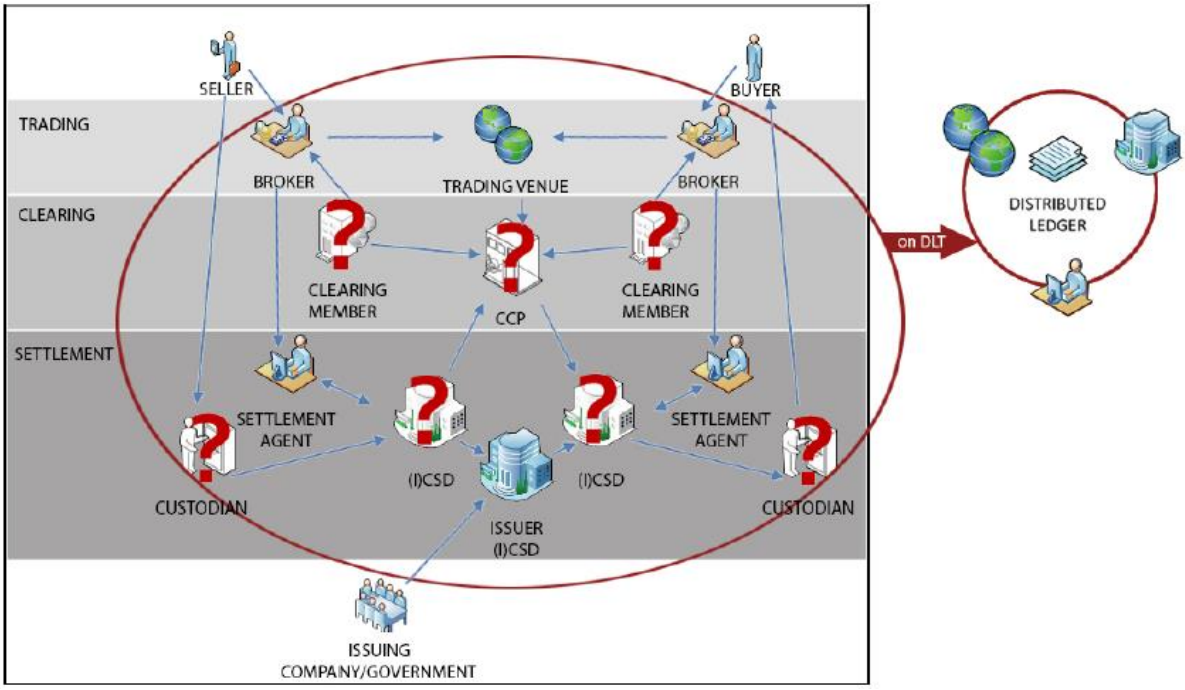

Figure 19 : Situation où les DLTs ont un impact important dans le clearing & settlement.[26]

[26] Source : Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016). *Distributed ledger technologies in securities post-trading: Revolution or evolution?.* European Central Bank. En ligne: https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpops/ecbop172.en.pdf

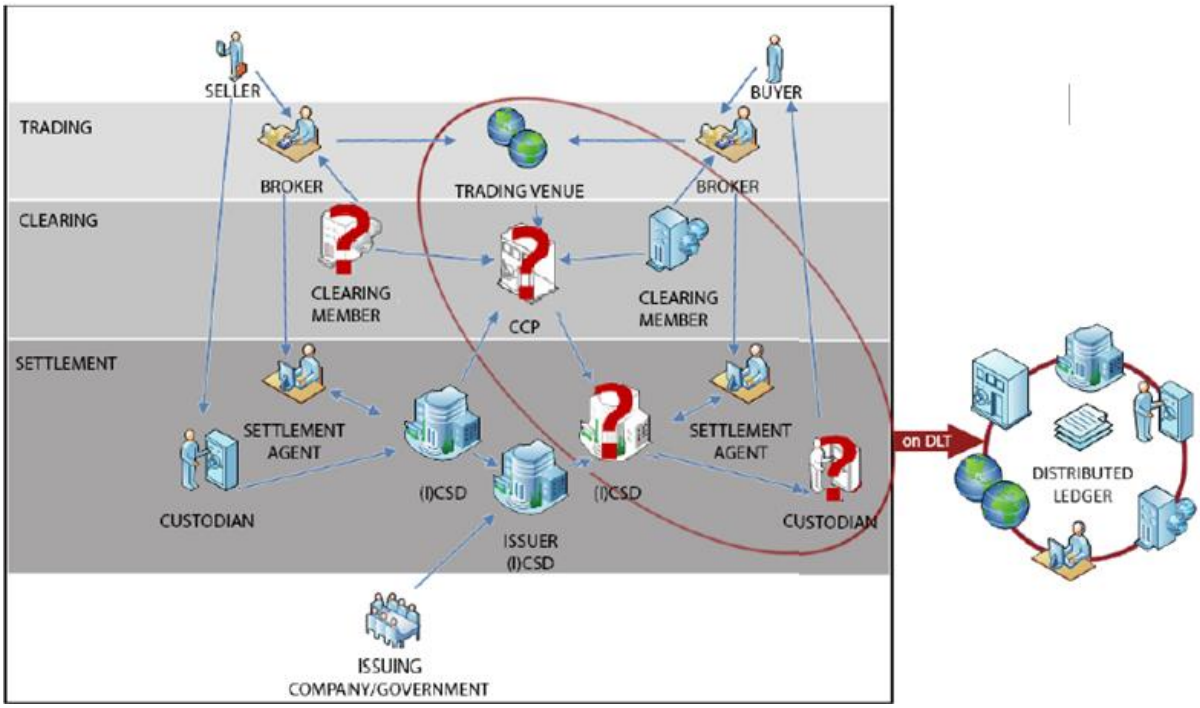

Figure 20 : Situation où les DLTs ont un impact intermédiaire.[27]

VI.2. Estimation de la grandeur des économies globales

Pour pouvoir réaliser la quantification de l'implémentation des DLTs, nous avons analysé les rapports annuels de plus de 60 (I)CSDs et CCPs couvrant 80% de la capitalisation mondiale.

VI.2.1. Réduction des coûts de personnel :

Sur base des rapports annuels publiés par les acteurs du clearing et du settlement, le montant total dépensé en frais de personnel avoisine les 1.54 milliard d'euros *(Tableau 1)*. A l'échelle du marché pris entièrement, ce coût représente environ 1.93 milliard d'euros (1.54 milliards représentant 80% du marché).

[27] Source : Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016). *Distributed ledger technologies in securities post-trading: Revolution or evolution?.* European Central Bank. En ligne: https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpops/ecbop172.en.pdf

Organisation	Frais de personnel	Organisation	Frais de personnel	Organisation	Frais de personnel
Europe		SIX SIS Ltd	44,715,000	CDS	12,693,240
Clearstream Holding	156,290,000	CDCP SR	2,210,985	DTCC (CSD activity : DTC)	247,913,753
OeKb	51,563,000	VPS	16,258,974	DTCC (CCP activity : NSCC & FICC)	274,270,226
Euroclear Plc	326,763,037	MKK	8,003,092	BMV	9,635,086
Cyprus Stock Exchange CSD	893,343	CDHV	237,264	B3	84,271,256
Central Depository AD-BG	641,580	NSD	23,840,955	**Asie & Océanie**	
SKDD	1,637,062	Eurex Clearing A.G.	8,826,400	HKEX-Group (HKSCC/CCASS)	48,130,775
VP Securities	17,150,380	CCP A.	670,091	SGX	35,688,658
Iberclear	9,886,000	LCH Group Holdings Ltd	24,165,000	ASX	9,683,700
Nasdaq CSD SE	2,405,650	BME Clearing	2,091,771	JASDEC	18,470,840
AthexCSD	3,101,000	AthexClear	765,227	NSDL	5,265,324
Keler	7,511,300	Keler CCP	283,151	CDSL	3,604,838
Monte Titoli	25,148,200	EuroCCP	7,525,000	CCIL	3,381,311
VP Lux	472,307	CC&G	5,249,220	NSCCL	876,860
Malta Stock Exchange CSD	391,383	KDPW CCP	997,861	ICCL	675,696
KDPW CSD	7,330,535	Six-x Clear	2,987,510	**Afrique**	
Interbolsa	3,873,620	NCC	7,229,628	Strate	10,485,600
Prague CSD	3,893,395	**Amérique**		**Total**	1,540,056,082

Tableau 1 : Tableau résumant les coûts de personnels par organisation.[28]

Scénario 1 : Schneider, J., & al. (2016) estiment dans leur rapport que les coûts de personnel peuvent diminuer de 50 à 70%. Toutefois, ils considèrent un point de vue optimiste de l'impact des DLTs dans le clearing et le settlement. Pour le premier scénario, où est considéré un impact limité de la blockchain, nous pouvons estimer une réduction des coûts de personnel d'environ 30%. Soit une réduction annuelle de 460 millions d'euros dans le cas des 60 organisations et environ 600 millions d'euros pour le marché global.

Scénario 3 : dans le cas du 3eme scénario, où est considéré un impact important des DLTs dans le clearing et le settlement de titres, les estimations de Schneider, J., & al. (2016) peuvent être reprises, soit une diminution de 70% des coûts de personnel. Ce qui engendre une économie de 1.08 milliard et 1.35 milliard d'euros, respectivement pour l'ensemble des 60 entreprises et pour le marché global.

[28] Source : l' auteur.

Scénario 2 : le deuxième scénario correspondant à une situation intermédiaire entre le modèle 1 et 3, une diminution de 50% des coûts de personnels peut être considérée engendrant une baisse des coûts de 800 et 960 millions d'euros, respectivement pour les 60 organisations et le marché global.

VI.2.2. Réduction des coûts généraux :

La réduction des coûts généraux découle de deux choses : premièrement, de la diminution des erreurs et des ressources nécessaires pour les résoudre et, deuxièmement, suite aux réductions des coûts de personnel. En effet, si une entreprise réduit sa quantité de main d'œuvre, ses frais d'exploitation vont eux aussi diminuer. Elle aura besoin de moins de places, réduisant ses loyers, ses consommations comme l'eau et l'électricité, la quantité nécessaire de fournitures et d'équipements, etc. Toutefois, la réduction des coûts généraux est moindre que la réduction des coûts de personnel. En effet, les frais généraux n'augmentent pas proportionnellement au nombre d'employés, comparativement à un train où la quasi-totalité des coûts est supportée pour servir le premier client (le coût pour servir les suivants étant très faible puisque tout est déjà en place). Nos analyses de rapports annuels nous ont permis d'estimer un montant de 1.26 milliard d'euros de frais généraux, soit environ 1.6 milliard d'euros pour le marché global *(Tableau 2)*.

Organisation	Frais généraux	Organisation	Frais généraux	Organisation	Frais généraux
Europe		SIX SIS Ltd	52,240,255	CDS	17,255,520
Clearstream Holding	28,655,000	CDCP SR	5,380,162	DTCC (CSD activity : DTC)	226,583,639
OeKb	23,137,000	VPS	6,162,971	DTCC (CCP activity : NSCC & FICC)	250,672,442
Euroclear Plc	258,002,563	MKK	7,341,101	BMV	3,472,360
Cyprus Stock Exchange CSD	365,299	CDHV	359,296	B3	161,297,082
Central Depository AD-BG	153,150	NSD	13,151,520	**Asie & Océanie**	
SKDD	1,064,267	Eurex Clearing A.G.	4,051,454	HKEX-Group (HKSCC/CCASS)	16,537,675
VP Securities	86,190	CCP A.	2,804,827	SGX	21,186,200
Iberclear	5,315,752	LCH Group Holdings Ltd	15,435,000	ASX	4,388,846
Nasdaq CSD SE	2,603,291	BME Clearing	1,258,712	JASDEC	57,377,280
AthexCSD	2,437,000	AthexClear	4,303,450	NSDL	5,655,987
Keler	8,782,300	Keler CCP	642,349	CDSL	3,859,947
Monte Titoli	10,069,400	EuroCCP	3,411,000	CCIL	3,453,843
VP Lux	784,592	CC&G	2,356,292	NSCCL	4,315,046
Malta Stock Exchange CSD	304,351	KDPW CCP	1,828,874	ICCL	728,658
KDPW CSD	5,980,112	Six-x Clear	4,262,885	**Afrique**	
Interbolsa	2,483,462	NCC	5,369,608	Strate	2,876,400
Prague CSD	2,007,509	**Amérique**		**Total**	1,262,251,919

Tableau 2 : Tableau résumant les coûts généraux par entreprise.[29]

Scénario 1 : nous pouvons estimer que dans le cas où l'impact des DLTs serait limité, elles permettraient de réduire les coûts généraux de 20%. Soit une diminution de 250 millions d'euros pour les 60 organisations et de 320 millions d'euros pour l'ensemble du marché.

Scénario 2 : dans le cas du modèle intermédiaire, nous pouvons estimer une diminution de 30%. Soit un montant de 370 millions et de 480 millions d'euros respectivement pour les entreprises étudiées et le marché global.

Scénario 3 : dans le cas où les DLTs auraient un impact important, nous pouvons estimer une diminution de 40%. Soit une réduction de 500 millions d'euros pour les 60 entreprises et de 640 millions d'euros pour l'ensemble du marché.

[29] Source : l'auteur.

VI.2.3. Réduction des coûts des systèmes informatiques :

Comme nous l'avons déjà mentionné, actuellement, chaque entité utilise sa propre base de données et doit donc, d'une part, effectuer la réconciliation, et d'autre part, assurer l'interopérabilité entre les différents systèmes. En mutualisant les données, les DLTs permettent de considérablement réduire la nécessité de réconcilier les données et en implémentant des standards et des systèmes communs, la nécessité d'assurer l'interopérabilité. De plus, l'ensemble des participants reposeront leurs activités sur une même base informatique, les DLTs permettront l'utilisation d'applications communes réduisant le coût de développement et d'achat de ces dernières. Les 60 organisations que nous avons étudiées reportent un coût associé aux systèmes informatiques de 634 millions d'euros *(Tableau 3),* soit un coût de 800 millions d'euros pour l'ensemble du marché.

Organisation	Frais d'IT	Organisation	Frais d'IT	Organisation	Frais d'IT
Europe		SIX SIS Ltd	55,882,905	CDS	7,082,160
Clearstream Holding	68,250,000	CDCP SR	649,481	DTCC (CSD activity : DTC)	60,848,400
OeKb	6,708,000	VPS	4,916,315	DTCC (CCP activity : NSCC & FICC)	67,317,321
Euroclear Plc	57,892,560	MKK	1,979,390	BMV	3,712,394
Cyprus Stock Exchange CSD	24,719	CDHV	16,770	B3	52,278,733
Central Depository AD-BG	223,380	NSD	13,249,854	**Asie & Océanie**	
SKDD	148,911	Eurex Clearing A.G.	3,557,662	HKEX-Group (HKSCC/CCASS)	22,869,000
VP Securities	16,541,525	CCP A.	349,998	SGX	26,767,661
Iberclear	2,395,169	LCH Group Holdings Ltd	22,650,000	ASX	6,760,000
Nasdaq CSD SE	1,289,319	BME Clearing	252,487	JASDEC	43,667,192
AthexCSD	1,223,000	AthexClear	249,730	NSDL	3,262,815
Keler	4,561,340	Keler CCP	-	CDSL	1,397,115
Monte Titoli	9,917,600	EuroCCP	5,476,000	CCIL	2,620,944
VP Lux	274,104	CC&G	5,854,610	NSCCL	2,220,474
Malta Stock Exchange CSD	40,478	KDPW CCP	769,273	ICCL	824,332
KDPW CSD	25,153,950	Six-x Clear	10,664,820	**Afrique**	
Interbolsa	853,091	NCC	3,362,870	Strate	6,133,600
Prague CSD	818,815	**Amérique**		**Total**	633,960,268

Tableau 3 : Tableau résumant les frais d'IT par entreprise.[30]

[30] Source : l'auteur.

Scénario 1 : Dans ce cas-ci, les DLTs ne permettent que de mutualiser les données le long de la chaine d'un seul (I)CSD, ne permettant d'éliminer qu'en partie la réconciliation et de ne faciliter qu'en partie l'interopérabilité. Schneider, J., & al. (2016) estiment la réduction potentielle dans les systèmes informatiques de 50 à 70% mais comme nous l'avons déjà fait remarquer, ils considèrent un point de vue optimiste. Dans cette configuration-ci, nous estimons une réduction de 30%, soit une diminution de 190 millions d'euros pour les 60 organisations et 240 millions d'euros pour l'ensemble du secteur.

Scénario 2 : le deuxième scénario correspond au point de vu intermédiaire. Dans ce modèle, nous estimons une diminution de 50% des frais d'IT : des économies de 317 millions d'euros et de 400 millions d'euros respectivement pour les entreprises étudiées et pour l'ensemble du marché.

Scénario 3 : dans le troisième scénario, nous reprenons les estimations de Schneider, J., & al. (2016) estimant une réduction de 70% des frais d'IT. Soit une réduction d'environ 450 millions d'euros pour les 60 entreprises et d'environ 550 millions d'euros pour le secteur.

VI.2.4. Réduction des coûts d'audit et de reporting :

Comme nous l'avons déjà évoqué, en s'implémentant comme nœud dans le système, les régulateurs et les auditeurs ont accès à une information de meilleure qualité et en temps réel améliorant leurs services et diminuant leurs coûts. D'après leurs rapports annuels, les entreprises étudiées reportent un montant de 43 millions d'euros en coûts de contrôle *(Tableau 4)*, soit un montant de 55 millions d'euros pour l'ensemble du secteur.

Organisation	Frais de contrôle	Organisation	Frais de contrôle	Organisation	Frais de contrôle
Europe		SIX SIS Ltd	372,320	CDS	-
Clearstream Holding	1,465,000	CDCP SR	54,546	DTCC (CSD activity : DTC)	7,584,580
OeKb	527,000	VPS	654,710	DTCC (CCP activity : NSCC & FICC)	8,390,920
Euroclear Plc	1,966,313	MKK	54,048	BMV	1,854,824
Cyprus Stock Exchange CSD	19,031	CDHV	-	B3	4,960,137
Central Depository AD-BG	6,630	NSD	1,008,765	**Asie & Océanie**	
SKDD	202,574	Eurex Clearing A.G.	74,884	HKEX-Group (HKSCC/CCASS)	1,672,825
VP Securities	597,870	CCP A.	-	SGX	2,597,101
Iberclear	1,211,860	LCH Group Holdings Ltd	135,000	ASX	89,655
Nasdaq CSD SE	775,965	BME Clearing	110,230	JASDEC	1,000,000
AthexCSD	97,000	AthexClear	200,853	NSDL	373,451
Keler	731,600	Keler CCP	-	CDSL	210,074
Monte Titoli	202,400	EuroCCP	793,000	CCIL	227,377
VP Lux	-	CC&G	916,562	NSCCL	122,720
Malta Stock Exchange CSD	1,860	KDPW CCP	-	ICCL	81,152
KDPW CSD	-	Six-x Clear	201,375	**Afrique**	
Interbolsa	431,304	NCC	908,640	Strate	-
Prague CSD	378,628	**Amérique**		**Total**	43,264,782

Tableau 4 : Tableau résumant les coûts d'audit et de reporting.[31]

Scénario 1 : Treat, D., Brodersen, C., Blain, C., Kurbanov, R. (2017) estiment que les DLTs ont le potentiel de réduire les coûts de reporting de 70% et les coûts d'audit de 30 à 50%. Toutefois, comme pour Schneider, J., & al. (2016), ils ont une vision optimiste de l'impact de la blockchain dans le clearing et le settlement puisqu'ils estiment qu'elle aura un impact disruptif dans le secteur avec des économies de 70% ou plus. Dans le cas du premier modèle, on peut estimer une diminution de 30% des frais de contrôle. Soit 13 millions d'euros pour les 60 organisations et 16.5 millions d'euros pour l'ensemble du marché.

Scénario 2 : dans ce scénario-ci, nous pouvons estimer une diminution de 45% des coûts de reporting et d'audit. Soit une diminution d'environ 19 millions pour les entreprises considérées et de 23 millions pour le secteur.

[31] Source : l'auteur.

Scénario 3 : dans le cas du troisième modèle, nous pouvons reprendre les estimations de Treat, D., Brodersen, C., Blain, C., Kurbanov, R. (2017) : une réduction de 60% des coûts de contrôle. Soit une diminution d'environ 26 millions d'euros et d'environ 33 millions d'euros pour respectivement les entreprises étudiées et le marché entier.

VI.2.5. Réduction du coût d'opportunité des capitaux maintenus dans les chambres de compensation :

Avec l'implémentation de la blockchain, il est théoriquement possible de rendre la livraison de titres instantanée éliminant le clearing puisqu'il n'y a plus besoin de réduire les risques de défaut pendant les 2 jours d'attente de la livraison. Toutefois, il est peu probable que les participants décident de réduire le cycle à T+0 (instantané), il est beaucoup plus probable qu'ils décident de maintenir celui-ci à T+1. Deux raisons majeures expliquent ceci. Premièrement, pour des raisons de coûts. En effet, avec le système actuel, à la fin de chaque journée boursière, les chambres de compensation effectuent le netting (voir point III.1.2.) ; ce qui permet de réduire la quantité d'actifs à livrer et par conséquent les coûts de livraison. Permettant de réduire, d'une part, les frais payés aux dépositaires centraux sont réduits et, d'autres part, les coûts en liquidité et en titres[32]. Selon DTCC (2018a), le netting permet de réduire 98% des obligations de livraison. En implémentant un cycle de livraison instantané, certes les risques seront réduits, mais les coûts de settlement augmenteront de manière prohibitive. Deuxièmement, pour des raisons de gestion des liquidités. En effet, aujourd'hui le temps de 2 jours de livraison permet aux participants de disposer de suffisamment de temps pour apporter les fonds ou les titres avant le moment de la livraison. En rendant le délai instantané, les participants devront prévoir a priori l'objet du contrat et non plus a posteriori après avoir conclu l'accord de l'échange, ce qui est beaucoup plus complexe. Deux éléments viennent appuyer cette hypothèse. Premièrement, le fait que la bourse de Moscow a changé son cycle de livraison de T+0 à T+2 en 2013, entre autres pour les raisons invoquées *(FinTech Futures (2013)).* Deuxièmement, le fait qu'aujourd'hui les technologies

[32] En effet, lorsque les investisseurs ne disposent pas des fonds ou des titres, afin d'assurer la bonne livraison de ces derniers et d'éviter des pénalités, ils effectuent des emprunts. En réduisant la quantité de fonds et de titres à livrer, çà diminue la probabilité de ne pas disposer de ceux-ci au moment requis et, donc, cela réduit les frais d'emprunt.

sont théoriquement déjà capables de pouvoir assurer un cycle de livraison instantané, même si les DLTs rendent une telle structure plus facile *(Morgan Stanley (2016)).*

Avant son passage à un cycle de T+2 en 2017, DTCC a fait auditer l'impact de ce changement par le Boston Consulting Group (2012) qui a estimé que la réduction du cycle de livraison d'un jour permettait de réduire le montant des marges et des fonds bloqués dans sa chambre de compensation de DTCC, la NSCC, de 15 à 25%. Si le changement permet de réduire le temps de livraison de 2 jours alors les fonds contribués sont réduits de 25 à 37%.

En considérant pour nos estimations que le cycle de livraison est maintenu à T+1 comme nous le supposons, la blockchain permettra de réduire d'un jour (deux dans le cas du Japon et du Brésil qui pratiquent actuellement un cycle de 3 jours *(JPX (2018) ; MondoVisione (2018))* la nécessité de maintenir des marges et des fonds dans les chambres de compensation. A travers les rapports annuels des CCPs, on peut estimer la quantité totale de fonds contribués pour couvrir les activités de clearing et settlement liées aux titres à 79 milliards d'euros *(Tableau 5)*. En appliquant les estimations du Boston Consulting Group, soit une diminution de 15 à 27% des fonds pour toutes les entités étudiées, sauf pour les japonaises, « *JASDEC* » et « *JSCC* », et pour la brésilienne, *« B3 »*, pour qui la diminution est de 25 à 37%, on peut estimer une diminution du montant total des fonds contribués de 12.8 milliards à 22.3 milliards d'euros. En prenant le coût moyen du capital des acteurs du secteur financier au cours des dix dernières années, estimé par Ernst and Young (2018) à 9.7%, on peut calculer que l'implémentation de la blockchain permettrait d'économiser aux clearing members 1.28 milliard à 2.22 milliards d'euros de coût d'opportunité. Si on transpose ces chiffres à l'échelle globale, cela représenterait une économie de 1.6 à 2.8 milliards d'euros.

La réduction du cycle de livraison est indépendante de la structure que prendra le marché avec l'implémentation des DLTs (scénario 1, 2, ou 3). En effet, face aux pressions pour accélérer le cycle de livraison *(DTTC (2018a) ; Peterhoff, D., & al. (2014))*, il est très probable que les acteurs du post-trading profitent de l'intégration d'une nouvelle structure et de l'adoption de nouveaux standards communs pour mettre en place le cycle de T+1.

Organisation	Marges & fonds de défaut	Organisation	Marges & fonds de défaut	Organisation	Marges & fonds de défaut
Europe		Six-x Clear	1,338,920,000	ASX	2,656,589,072
Eurex Clearing A.G.	1,869,415,200	NCC	3,606,811,277	JASDEC	442,039,320
CCP A.	27,500,000	**Amérique**	-	JSCC	837,262,866
LCH Group Holdings Ltd	25,905,000,000	CDS	348,943,350	CCIL	6,639,237,561
BME Clearing	2,782,380,150	DTCC (CCP activity : NSCC & FICC)	8,000,000,000	NSCCL	46,638,367
AthexClear	109,799,000	BMV	132,931,998	ICCL	32,306,979
Keler CCP	6,641,033	B3	8,275,583,525		
EuroCCP	550,235,000	**Asie & Océanie**	-	**Total**	79,040,814,271
CC&G	5,100,000,000	HKEX-Group (HKSCC/CCASS)	10,019,207,000		
KDPW CCP	136,739,069	SGX	176,633,505		

Tableau 5 : Tableau résumant la valeur des fonds immobilisés dans les chambres de compensation.[33] [34]

VI.2.6. Conclusion :

En agrégeant les différentes économies pour les trois scénarios, l'utilisation des DLTs dans le clearing et le settlement permettra d'économiser à l'échelle globale, de 2.8 à 4 milliards d'euros, de 3.5 à 4.7 milliards d'euros, et de 4.2 à 5.4 milliards d'euros, respectivement pour le premier, les deuxième et troisième scénarios *(Figure 21 & Figure 22).*

Le chiffre d'affaires agrégé des différents (I)CSDs et CCPs étudiés représente 5.5 milliards d'euros. A l'échelle mondiale, le post-trading est donc un marché qui compte pour environ 7 milliards d'euros. En termes relatifs, l'utilisation des DLTs permettra aux (I)CSDs et CCPs d'économiser de 40 à 57% pour le premier scénario, de 50 à 67% pour le deuxième, et de 60 à 77% pour le troisième *(Figure 23)*.

[33] Les marges et fonds de défaut de DTTC peuvent paraitre faibles à côté de certains autres CCPs compte tenu de la taille du marché américain. Ceci s'explique par le fait que les Etats-Unis pratiquent déjà un temps de livraison de T+1 pour les obligations, les 20 milliards de dollars de collatéraux associés à cette classe d'actifs n'ont donc pas été pris en considération.

[34] Source : l'auteur.

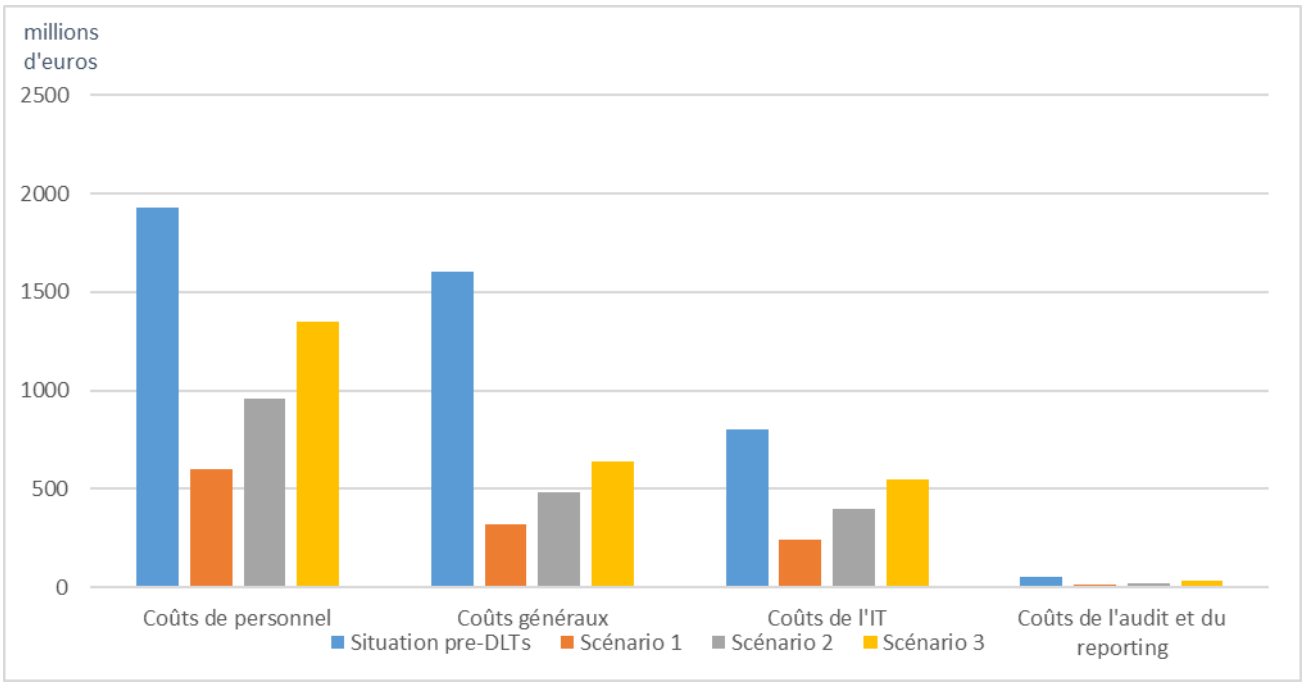

Figure 21 : Graphique des économies issues de l'implémentation des DLTs dans le clearing et le settlement pour chaque scénario.[35]

.

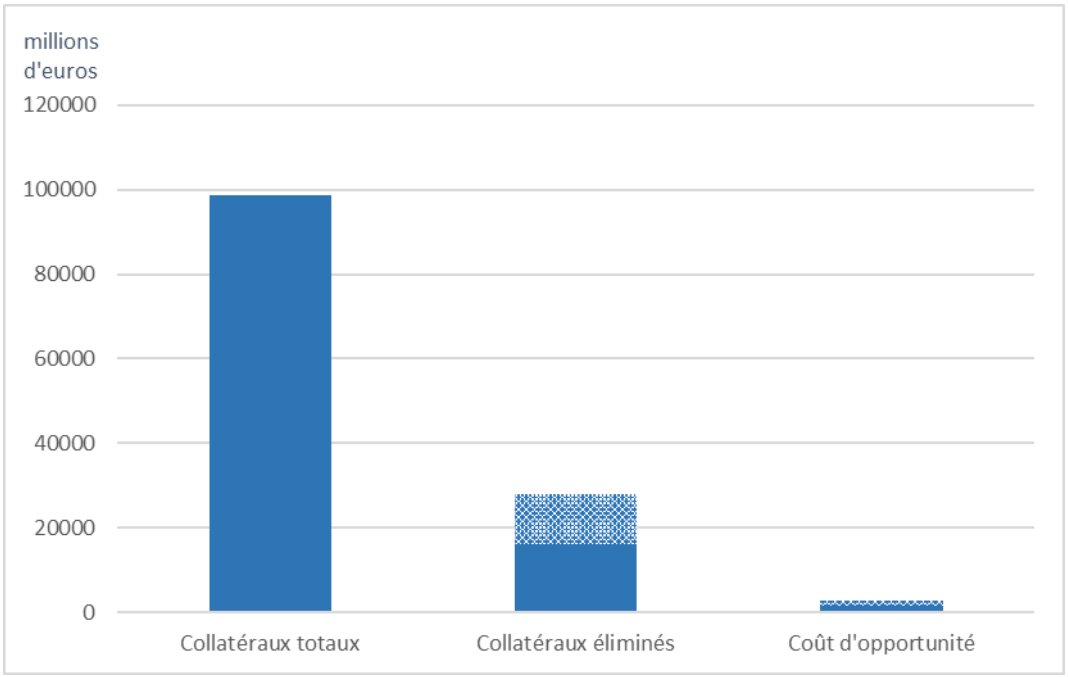

Figure 22 : Graphique de l'impact de la réduction du cycle de livraison sur les collatéraux et le coût d'opportunité en découlant.[36]

[35] Source : l'auteur.
[36] Source : l'auteur.

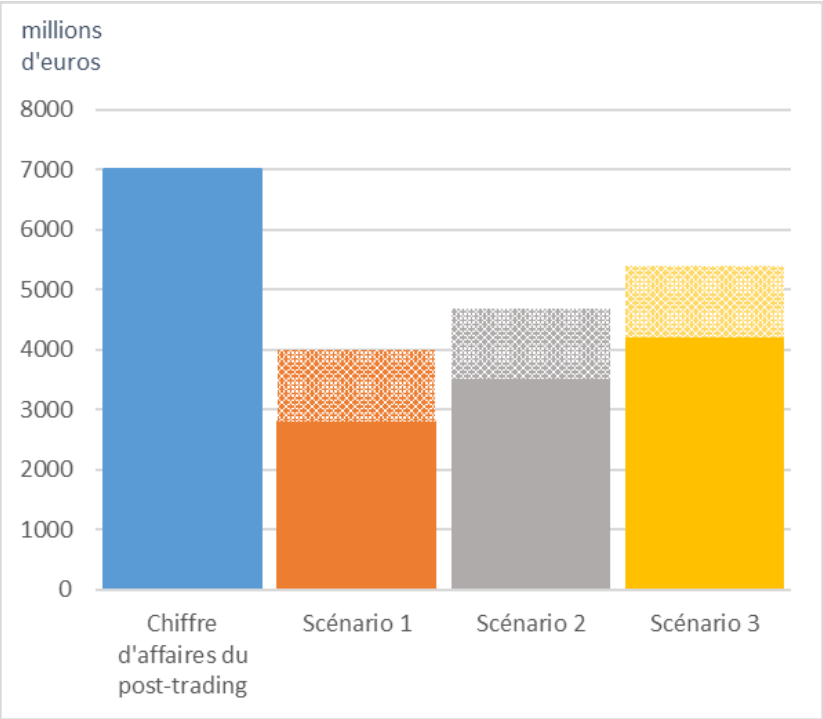

Figure 23 : Graphique comparant les économies pour chaque scénario par rapport au chiffre d'affaires du clearing et settlement.[37]

VI.2.7. Méthodologie utilisée et limites de l'approche :

VI.2.7.1. Méthodologie :

Les dépositaires centraux et les chambres de compensation ont une structure particulière : ils n'existent aucun d'entre eux juridiquement indépendant dans le domaine des titres. Les (I)CSDs et les CCPs sont détenus soit par la banque centrale de leur pays d'activité (par exemple, *« NBB-SSS »* en Belgique pour les obligations d'état), soit par une bourse (par exemple, *« Eurex »* et *« Clearstream »* détenus par *« Deutsche Börse Group »* ou *« Monte Titoli »*, *« CC&G »* et *« LCH Group »* détenus par *« London Stock Exchange »*), ou soit par un consortium de banques (par exemple, *« DTCC »* et *« NSCC »* aux Etats-Unis, ou *« Euroclear »* en Europe). Cette structure implique que des rapports annuels détaillés sur une entité prise individuellement ne sont pas toujours disponibles et il est alors nécessaire d'estimer les coûts à partir des rapports d'un groupe pris globalement. Lorsque c'est le cas, les coûts relatifs au clearing et/ou au settlement de titres ont été considérés comme proportionnels à

[37] Source : l'auteur.

la part des revenus issus du clearing et/ou du settlement de titres dans les revenus du groupe.

Certaines organisations ne reportent pas, non plus, directement leurs coûts de maintien des infrastructures informatiques. Pour les estimer, les amortissements et dépréciations ont été utilisés. Là encore, la différence entre les *« fournitures et équipements »* et les *« hardwares »*, et entre les divers *« actifs intangibles »* n'est pas toujours faite. Après l'analyse de nombreux rapports, il a été remarqué que généralement les hardwares représentaient pour 50% des fournitures et équipements et les softwares pour 70% des actifs intangibles (*« goodwill »* non compris). Lorsqu'aucun détail supplémentaire n'était disponible, ces chiffres ont donc été utilisés.

Pour estimer les marges et les contributions, dans les chambres de compensation, liées au clearing de titres, à défaut d'informations plus précises, leur part a été estimée proportionnelle à la valeur des titres compensés par rapport à la valeur totale des compensations. Ce qui est un meilleur estimateur que les revenus car les clearing members sont requis de déposer des collatéraux proportionnellement aux risques et à la valeur de leurs positions prises.

Enfin, lorsque les rapports annuels n'étaient pas émis en euros, la moyenne arithmétique du taux de change du premier jour et du dernier jour de l'année couverte par les rapports a été considérée comme étant représentative du taux de change de cette période.

VI.2.7.2. Limites :

La première limite de la méthode utilisée est le fait que les données soient restreintes aux rapports annuels. Leur précision est donc dépendante des détails de ces derniers mais aussi de leur disponibilité. En effet, pour certains marchés comme la Chine ou la Corée du Sud, les rapports n'étaient pas disponibles, ce qui explique que 80% et pas 100% du marché a été estimé.

Deuxièmement, comme mentionné dans le point précédent, certains pays utilisent un CSD intégré à leur banque centrale pour émettre leurs obligations d'état. Vu la difficulté, voire

l'impossibilité, de distinguer les activités de banques centrales des activités de CSD, dans ces cas-là, les dépositaires centraux n'ont pas été étudiés.

Finalement, les économies offertes par l'implémentation des DLTs dans le clearing et le settlement vont plus loin que juste dans les dépositaires centraux et les chambres de compensations. En effet, elles bénéficient aussi aux intermédiaires qui utilisent leurs services, qui ne doivent, par exemple, plus effectuer de réconciliation. Cependant, face au nombre important d'activités que ces intermédiaires exercent et le manque d'informations relatives exclusivement aux clearing et settlement de titres, ces économies n'ont pas pu être estimées.

VI.3. Impact de l'utilisation des DLTs sur le cours de l'action d'une entreprise active dans le clearing et le settlement

VI.3.1. Choix de l'entreprise :

En raison de divers problèmes, le choix de l'entreprise à analyser, c'est porté sur « Deutsche Börse Group » (*« DBG »)* qui opère le clearing de titres à travers sa filiale *« Xetra »* et le settlement de titres à travers *« Clearstream »*. Parmi les problèmes, on peut, premièrement, citer la structure particulière du post-trading (voir point VI.2.7.) : il n'est pas possible de trouver une entreprise active dans le secteur qui est directement cotée en bourse. Ceci restreint le choix de l'entreprise que nous pouvons analyser, éliminant des acteurs majeurs du secteur comme « DTCC » ou « Euroclear » dont les actions ne sont pas cotées et sont détenues par un consortium de banques. A l'inverse, DBG est quant à elle cotée et nous pourrons donc dériver le cours de l'action de Xetra et Clearstream de celui de DBG. Deuxièmement, DBG met à disposition les rapports annuels parmi les plus détaillés du secteur, permettant d'obtenir des estimations plus précises. Troisièmement, DBG couvre entièrement un marché (les marchés allemand et luxembourgeois) et y propose et le clearing et le settlement de titres. Le choix de l'entreprise à analyser aurait aussi pu s'orienter vers *« The London Stock Exchange »* étant, lui-aussi, coté et proposant aussi le clearing et le settlement de titres. Toutefois, ses marchés couverts sont beaucoup plus disparates et l'analyse en est rendue plus compliquée et moins précise. En effet, il fournit le

clearing de titres pour les marchés couverts par *« Euronext »* mais le settlement de titres est, quant à lui, offert par *« Euroclear », et* il propose, en plus, le clearing et le settlement de titres pour le marché italien. Quatrièmement, avec les différents scénarios évoqués un nombre important d'intermédiaires risque de disparaitre, il est donc nécessaire d'en choisir un suffisamment grand que pour rester dans les trois scénarios. DBG est le deuxième plus gros fournisseur de post-trading en Europe, il est donc très probable que ce soit le cas.

VI.3.2. Méthode utilisée :

D'après mes cours de *« Entrepreneurial finance »* et de *« Corporate finance »*, il existe trois méthodes pour évaluer le prix d'une action : la méthode des multiples, de la somme des revenus futurs actualisés, et de reproduction *(Funhoff, A., Grégoire, P. (2017) ; Colmant, B., Riachi, I. (2017)).*

La méthode des multiples est la plus simple, elle consiste à calculer un ratio, comme le *« price-to-earnings ratio »*, et à pouvoir facilement déterminer la position d'une entreprise en comparant son ratio avec celui du marché ou celui d'autres entreprises. Dans notre cas, une possibilité serait de calculer le price-to-earnings ratio actuel, effectuer les changements apportés par l'implémentation des DLTs, et appliquer le ratio aux nouveaux revenus afin de calculer le nouveau prix des actions. Toutefois, cette méthode prend difficilement en compte les changements futurs et suppose que la situation, au moment de laquelle on applique le ratio, est définitive. Or, dans notre cas, DBG va faire face à une croissance de ses parts de marchés avec l'absorption de concurrents dans les scénarios 2 et 3, avant de revenir à son taux de croissance de maturité. En utilisant la méthode des ratios, cette variation ne serait pas prise en compte, surestimant la valeur des actions.

La méthode de la reproduction consiste à évaluer l'entreprise (et donc ses actions en divisant la valeur de cette dernière par le nombre d'actions émises) comme étant égale au coût que cela représenterait de reconstruire l'entreprise. Elle émet l'hypothèse que ce sont les actifs de l'entreprise qui lui permettent de créer de la richesse et donc que l'entreprise devrait valoir la somme de ses actifs. Toutefois, cette technique est très peu utilisée car elle souffre de nombreux biais. Un nombre important d'éléments est impossible ou très difficile à évaluer tel que le marketing, la valeur de la marque ou encore les stratégies mises en

place. De plus, cette technique fait supposer que deux entreprises avec la même valeur d'actifs devraient valoir la même chose. Or, si l'une d'entre elle produit plus de richesses avec les mêmes actifs, elle devrait avoir une plus grande valeur car elle a une meilleure rentabilité. Face aux difficultés que rencontre cette méthode, elle ne sera pas utilisée dans le cadre de ce mémoire.

Enfin, la dernière approche consiste à évaluer les actions d'une entreprise sur base de la valeur présente des revenus générés dans le futur. Cette méthode fait l'hypothèse que les investisseurs achètent l'action dans un but d'investissement (la garder pour une certaine période et non l'acheter pour la revendre à un prix plus élevé) et que le prix de l'action doit donc refléter ce qu'elle leur rapportera. Cette approche à l'avantage, contrairement à celle des ratios, de pouvoir prendre en compte des changements dans les flux, elle est donc plus dynamique. Il existe trois méthodes : celle des bénéfices de l'entreprise, celle des dividendes et celle des revenus totaux distribués pour les actionnaires. Dans le premier cas, la valeur de l'action est estimée à partir de la somme de la valeur actuelle des bénéfices futurs. Toutefois, cette technique a tendance à surestimer la valeur des actions car l'ensemble des bénéfices ne sont pas à destination des actionnaires. En effet, les entreprises ont tendance à retenir une partie de leurs bénéfices afin de les réinvestir dans leurs activités pour maintenir leur taux de croissance. Ceci est particulièrement vrai dans le secteur financier où il est nécessaire de maintenir une partie des bénéfices afin d'atteindre les niveaux de capitaux minimums requis par les régulateurs *(Colmant, B., Riachi, I. (2017)).* La méthode des dividendes futurs estime la valeur d'une action à partir de la somme de la valeur actualisée des dividendes futurs. A l'inverse de la méthode précédente, celle-ci a tendance à sous-estimer la valeur des actions. Effectivement, les dividendes ne sont pas l'unique solution dont dispose une entreprise pour distribuer des capitaux aux actionnaires et considérer seulement les dividendes sous-estimerait ces distributions. La méthode des revenus totaux distribués pour les actionnaires estime la valeur de l'action comme étant égale à la somme de la valeur actuelle de l'ensemble des revenus futurs distribués pour les actionnaires selon la formule :

$$\text{prix de l'action} = \frac{\sum \ valeur\ actuelle\ des\ revenus\ distribués}{k-g}$$

où *k* représente le rendement requis par les investisseurs et *g* le taux de croissance. C'est cette dernière méthode qui sera utilisée car elle paraît être la plus complète et la plus adaptée étant donné son côté dynamique.

VI.3.3. Estimation du prix de la sous-action du clearing et settlement de titres :

Le clearing et le settlement de titres étant intégrés aux activités de DBG, la première étape consiste à isoler la part du prix lié à ces activités du prix de l'action du groupe entier. Pour ce faire, on considère que le prix actuel de l'action (environ 105 euros) est bien évalué et représente une juste estimation du potentiel futur de l'entreprise. A partir de la méthode sélectionnée précédemment, nous pouvons déterminer le rendement requis (k) par les investisseurs. Grâce aux informations contenues dans les rapports annuels *(Tableau 6)* de DBG, on peut déterminer les revenus distribués aux actionnaires comme étant égaux aux revenus par action multipliés par le ratio de distribution. Ce dernier étant considéré égal au ratio de distribution moyen au cours des 10 dernières années et équivalant à 77%. Le taux de croissance à long terme des revenus distribués (g) peut, quant à lui, être obtenu en calculant le taux de croissance composé annuellement permettant de passer des bénéfices de 2009 à ceux de 2018. Ce dernier vaut 5.79%. Grâce à ces informations nous pouvons calculer k : 105 $= \frac{4.5 * 0.77}{k - 0.0579} \Leftrightarrow k = 0.0909$ et obtenons une valeur estimée de 9.09%.

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Chiffre d'affaires (en millions)	2061.7	2106.3	2233.3	1932.3	1912.3	2043	2367.4	2388.7	2462.3	2779.7
Bénéfices (en millions)	496.1	417.8	848.8	645	478.4	788.5	665.5	722.1	874.3	824.3
Nombre d'actions (en millions)	185.9	185.9	183.4	184.1	184.1	184.2	186.7	186.8	186.3	183.3
Dividendes par action	2.1	2.1	2.3	2.1	2.1	2.1	2.25	2.35	2.45	2.7
Dividendes spéciaux (en millions)	-	-	183.4	-	-	-	-	-	-	-
Montant du rachat d'actions (en millions)	-	-	111.7	199.4	-	-	-	-	200	200
Distribution totale par action	2.1	2.1	3.91	3.18	2.1	2.1	2.25	2.35	3.52	3.79
Bénéfices par action	2.67	2.25	4.57	3.44	2.6	4	3.6	3.87	4.68	4.46
Ratio	0.79	0.93	0.86	0.93	0.81	0.53	0.63	0.61	0.75	0.85

Tableau 6 : Tableau résumant les rapports annuels de Deutsche Börse Group.[38]

Maintenant que nous avons déterminé le taux de rendement exigé implicitement par les actionnaires, il est nécessaire de s'assurer qu'il puisse aussi être utilisé pour le clearing et le settlement de titres. C'est-à-dire que ces activités offrent un même niveau de risque que l'ensemble du groupe, sans quoi, il faudra réestimer le taux de rendement calculé à la baisse ou à la hausse. Pour ce faire, nous allons comparer la variation des revenus du post-trading avec ceux du groupe. Dans un premier temps, il est nécessaire d'estimer la part des bénéfices liés au clearing et settlement de titres. L'information n'étant pas directement disponible, la part des bénéfices issue de ces activités a été considérée comme étant proportionnelle à la part du chiffre d'affaires du clearing dans Xetra et du settlement dans Clearstream *(Tableau 7).* De plus, DBG ne publie que le bénéfice net du groupe pris entièrement et pas pour chaque filiale, nous comparerons donc la variation de l'EBIT du groupe par rapport à celle du clearing et du settlement plutôt que les variations de bénéfices. La variation moyenne de l'EBIT de DBG étant de 32% et celle liée aux activités de clearing et de settlement de titres de 30% *(Tableau 8)*, on peut en conclure que le niveau de

[38] Source : l'auteur.

risque est similaire et donc que le taux de rendement de 9.09% exigé par les investisseurs peut aussi être utilisé pour le clearing et le settlement de titres.

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Chiffre d'affaires de Clearstream	720.8	760.7	776	660.9	653.9	698	746.4	781.9	886.9	964.7
EBIT de Clearstream	334.7	299.3	370	316.9	150.8	319.4	288.8	335.4	484.6	455.6
Part du settlement de titres dans Clearstream	77.04%	74.96%	72.07%	65.59%	68.88%	68.83%	70.22%	66.77%	63.3%	55.94%
EBIT du settlement de titres	257.85	224.35	266.68	207.86	103.87	219.83	202.79	223.96	306.75	254.77
Chiffre d'affaires de Xetra	251	262.3	275	213	151.7	161.9	184.8	164.9	176.5	228.6
EBIT de Xetra	94.2	105.1	124	91.2	60.5	88	100.6	62.8	88.3	102.5
Part du clearing de titres dans Xetra	19.04%	17.23%	16.15%	16.2%	18.46%	18.47%	18.61%	16.19%	19.89%	16.28%
EBIT du clearing de titres	17.94	18.11	20.02	14.77	11.17	16.25	18.73	10.17	17.56	16.68
EBIT du clearing et settlement de titres	275.79	242.46	286.7	222.63	115.04	236.08	221.51	234.14	324.31	271.46

Tableau 7 : Tableau résumant les bénéfices du clearing et du settlement de titres.[39]

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Var moy (en valeur absolue)
Variation de l'EBIT de DBG	-	-15.78%	103.16%	-24.01%	-25.83%	64.82%	-15.6%	8.5%	21.08%	-5.72%	32%
Variation de l'EBIT du clearing et du settlement de titres	-	-12.09%	18.25%	-22.35%	-48.33%	105.22%	-6.17%	5.69%	38.52%	-16.3%	30%

Tableau 8 : Tableau résumant les variations d'EBIT du groupe et du clearing et du settlement de titres.[40]

[39] Source : l'auteur.
[40] Source : l'auteur.

Maintenant que le rendement exigé (k) par les investisseurs a été évalué, nous pouvons calculer le taux de croissance (g) des activités de clearing et de settlement de titres de DBG. A partir de l'EBIT, ce dernier est estimé comme étant de 0% entre 2009 et 2018 *(Tableau 7)*. Le dernier élément à déterminer est les revenus distribués. A partir des données au niveau du groupe on constate que les taxes et intérêts comptent pour environ 30% de l'EBIT. En appliquant cette valeur pour le clearing et le settlement de titres, on trouve que le bénéfice pour ces deux activités équivaut à 190 millions d'euros en 2018, soit un revenu par action de 1.04 euro. Toutefois, DBG ne distribue pas entièrement ces bénéfices aux actionnaires, il est nécessaire de prendre en compte le ratio de distribution que l'on a précédemment évalué à 77%. En utilisant la méthode sélectionnée, nous pouvons donc estimer la valeur de la sous-action du clearing et du settlement de titres comme étant équivalente à : prix de l'action = $\frac{1.04 * 0.77}{0.0909-0}$ = 8.79 euros.

VI.3.4. Impact de l'implémentation des DLTs sur le prix de la sous-action du clearing et du settlement :

Scénario 1 :

Dans le cas du premier scénario et en reprenant les hypothèses déjà faites précédemment (voir point VI.1. et VI.2.), les DLTs permettront d'économiser 30% des coûts de personnel, 20% des coûts généraux, 30% des coûts de contrôle et de reporting, et 30% des coûts d'IT. En plus de cela, il est fort probable que la réduction des coûts entraine une diminution des prix pour l'investisseur final, augmentant la valeur totale du marché. On estime cet impact à 2% les trois premières années, avant d'atteindre de nouveau la maturité et son taux de croissance de 0%. Toutefois, l'implémentation des DLTs implique aussi un coût. En utilisant les données de *« ASX » (« the Australian Stock Exchange »)* qui est aujourd'hui l'entreprise du secteur du post-trading la plus avancée au niveau des blockchains, l'investissement représente environ 100 millions d'euros *(Del Castillo, M. (2018))*. D'après les estimations

(Tableau 9), dans le cas du scénario 1, le prix de l'action serait de 12.20 euros, soit une augmentation de 39%[41].

Année	0	1	2	3
Chiffre d'affaires (en millions)	576.91	588.45	603.16	618.24
Coûts du personnel (en millions)	-165	-115.5	-115.5	-115.5
Coûts généraux (en millions)	-30	-24	-24	-24
Coûts du contrôle (en millions)	-1,5	-1.05	-1.05	-1.05
Coûts de l'IT (en millions)	-72	-50.4	-50.4	-50.4
Investissement dans les DLTs (en millions)	-100			
EBITDA (en millions)	200.41	397.5	412.21	427.29
Dépréciations et amortissements (en millions)	-34.8	-34.8	-34.8	-34.8
EBIT (en millions)	173.61	362.7	377.41	392.49
Taxes et intérêts	30%	30%	30%	30%
Bénéfices (en millions)	121.53	253.89	264.19	274.74
Dividendes par action	0.66	1.39	1.44	1.5
Dividendes distribués	0.51	1.07	1.11	1.15
Taux d'actualisation	1	1.0909	1.19	1.3
Valeur actuelle des dividendes distribués	0.51	0.98	0.93	0.89
Valeur finale				9.78
Valeur de l'action	12.20			

Tableau 9 : Estimation du prix de l'action dans le cas du premier modèle.[42]

Scénario 2 :

Dans le cas du deuxième scénario et en reprenant les hypothèses déjà faites précédemment (voir point V.1. et V.2.), les DLTs permettront d'économiser 50% des coûts de personnel, 30% des coûts généraux, 45% des coûts de contrôle et de reporting, et 50% des coûts d'IT. En plus de sans doute augmenter la taille du marché en abaissant les coûts comme dans le scénario 1, le deuxième entrainera l'élimination des plus petits acteurs du clearing et du settlement. D'après les chiffres d'affaires respectifs, c'est un montant de 223 millions d'euros, soit 8.3% du marché européen, qui sera redistribué entre les acteurs restants. On

[41] La valeur finale étant calculée à partir de la formule : prix de l'action = $\frac{revenus\ distribués}{k-g}$

[42] Source : l'auteur.

peut donc supposer une croissance du chiffre d'affaires de l'activité de post-trading de DBG de 5% les trois premières années avant de retourner à son taux de croissance de maturité. D'après nos estimations *(Tableau 10)*, le prix de l'action deviendrait alors de 15.08 euros, soit une augmentation de 72%.

Année	0	1	2	3
Chiffre d'affaires (en millions)	576.91	605.76	636.04	667.85
Coûts du personnel (en millions)	-165	-82.5	-82.5	-82.5
Coûts généraux (en millions)	-30	-21	-21	-21
Coûts du contrôle (en millions)	-1.5	-0.825	-0.825	-0.825
Coûts de l'IT (en millions)	-72	-36	-36	-36
Investissement dans les DLTs (en millions)	-100			
EBITDA (en millions)	208.41	465.43	495.72	527.52
Dépréciations et amortissements (en millions)	-34.8	-34.8	-34.8	-34.8
EBIT (en millions)	173.61	430.63	460.92	492.72
Taxes et intérêts	30%	30%	30%	30%
Bénéfices (en millions)	121.53	301.44	322.64	344.9
Dividendes par action	0.66	1.64	1.76	1.88
Dividendes distribués	0.51	1.27	1.36	1.45
Taux d'actualisation	1	1.0909	1.19	1.3
Valeur actuelle des dividendes distribués	0.51	1.16	1.14	1.12
Valeur finale				12.28
Valeur de l'action	15.08			

Tableau 10 : Estimation du prix de l'action dans le cas du second modèle.[43]

Scénario 3 :

Dans le cas du troisième scénario et en reprenant les hypothèses déjà faites précédemment (voir point V.1. et V.2.), les DLTs permettront d'économiser 70% des coûts de personnel, 40% des coûts généraux, 60% des coûts de contrôle et de reporting, et 70% des coûts d'IT. Dans ce scénario-ci, seuls les acteurs majeurs du clearing et du settlement de titres resteront dans le marché européen. C'est un montant de 400 millions d'euros qui sera alors partagé entre

[43] Source : l'auteur.

les entreprises restantes, soit environ 15% du marché. Sans oublier, la croissance du marché avec la baisse des coûts, on peut donc supposer que le chiffre d'affaires lié aux activités de post-trading de DBG augmentera de 10% les trois premières années avant d'atteindre de-nouveau son taux de croissance de maturité de 0%. D'après nos estimations *(Tableau 11)*, le prix de l'action atteindrait alors les 19.34 euros, soit une augmentation de 120%.

Année	0	1	2	3
Chiffre d'affaires (en millions)	576.91	634.6	698.06	767.67
Coûts du personnel (en millions)	-165	-49.5	-49.5	-49.5
Coûts généraux (en millions)	-30	-18	-18	-18
Coûts du contrôle (en millions)	-1.5	-0.6	-0.6	-0.6
Coûts de l'IT (en millions)	-72	-21.6	-21.6	-21.6
Investissement dans les DLTs (en millions)	-100			
EBITDA (en millions)	208.41	544.9	608.36	678.17
Dépréciations et amortissements (en millions)	-34.8	-34.8	-34.8	-34.8
EBIT (en millions)	173.61	510.1	573.56	643.37
Taxes et intérêts	30%	30%	30%	30%
Bénéfices (en millions)	121.53	357.07	401.49	450.36
Dividendes par action	0.66	1.95	2.19	2.46
Dividendes distribués	0.51	1.5	1.69	1.89
Taux d'actualisation	1	1.0909	1.19	1.3
Valeur actuelle des dividendes distribués	0.51	1.37	1.42	1.46
Valeur finale				16.03
Valeur de l'action	19.33			

Tableau 11 : Estimation du prix de l'action dans le cas du troisième modèle.[44]

VI.3.5. Conclusion :

Comme nous venons de le calculer, les DLTs auront un impact important sur le cours de l'action d'une entreprise active dans le secteur du clearing et du settlement de titres. Dans le cas de la sous-action, ils permettront d'augmenter la valeur de l'action de 39, 72, et 120%

[44] Source : l'auteur.

respectivement pour le premier, le deuxième, et le troisième scénario. A l'échelle de DBG, l'action pourrait croître des 105 euros actuels à 108.5 euros pour le premier scénario, 111.3 euros pour le deuxième et 115.5 euros pour le troisième, soit une augmentation de respectivement 3.25%, 6% et 10% *(Figure 24).* Ces croissances sont d'autant plus intéressantes compte tenu des pressions, déjà évoquées, sur les entreprises du secteur financier. On peut, par exemple, penser aux banques qui détiennent DTCC ou Euroclear.

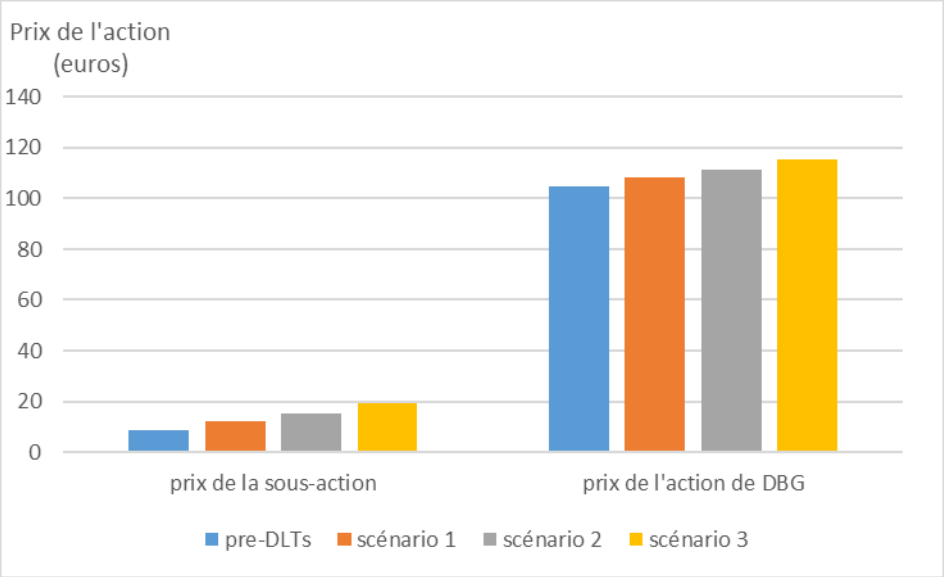

Figure 24 : Graphique de l'impact des DLTs sur le prix de la sous-action et sur le prix de l'action de DBG.[45]

[45] Source : l'auteur.

VII. Impact sociétal de l'utilisation des DLTs dans le clearing et le settlement de titres

Aujourd'hui, la responsabilité sociétale est un élément prépondérant dans les choix des politiques et des entreprises, le profit seul ne constitue plus l'unique argument de prise de décisions. Dans ce contexte, et étant donné que l'éthique et la responsabilité sont deux domaines d'expertise de la LSM, il est important, afin de couvrir complètement l'implémentation des DLTs dans le clearing et le settlement de titres, d'aborder son impact sociétal. Cette problématique sera orientée vers deux sujets : l'impact de l'implémentation des DLTS dans le clearing et le settlement de titres sur l'écologie et son impact sur l'emploi.

VII.1. Impact écologique

Une des principales critiques de la blockchain *« bitcoin »* est son coût énergétique énorme. Coppola, F. (2018), pour le magazine *Forbes*, parle d'ailleurs du côté énergivore de la blockchain comme étant son talon d'Achille. Des chercheurs de l'université d'Hawaï ont estimé que les DLTs pourraient participer au réchauffement climatique en contribuant à dépasser les 2°C de réchauffement planétaire *(Mora, C., & al. (2018)).* Deux chercheurs de l'université de l'Ohio ont, quant à eux, comparé le coût énergétique de miner un dollar de valeur de bitcoin par rapport à celui de miner un dollar de valeur d'or et de cuivre. Le résultat de leur recherche est que miner un dollar de bitcoin consomme 17 MJ (*« mégajoules »)* d'électricité quand miner un dollar de cuivre et d'or consomme respectivement 4MJ et 5MJ d'électricité *(Krause, M. J., Tolaymat, T. (2018)).* D'après le site *« digiconomist.net (s.d. a) »*, qui est spécialisé dans le recensement de la consommation électrique de la blockchain bitcoin, cette dernière consomme environ 60 TWh (*« térawattheure »)* par an pour exécuter quotidiennement en moyenne 300,000 transactions, soit environ la consommation de la production annuelle de 10 réacteurs nucléaires[46]. A un autre niveau de comparaison, si la blockchain bitcoin était un pays, elle

[46] D'après *Wikipédia (2018d)*, la centrale nucléaire de Tihange produit 18 TWh par an avec 3 réacteurs nucléaires, d'où une production annuelle de 6 TWh par réacteur.

serait le 43ème plus gros consommateur d'électricité et en utiliserait presque autant que la Suisse *(Figure 25)*.

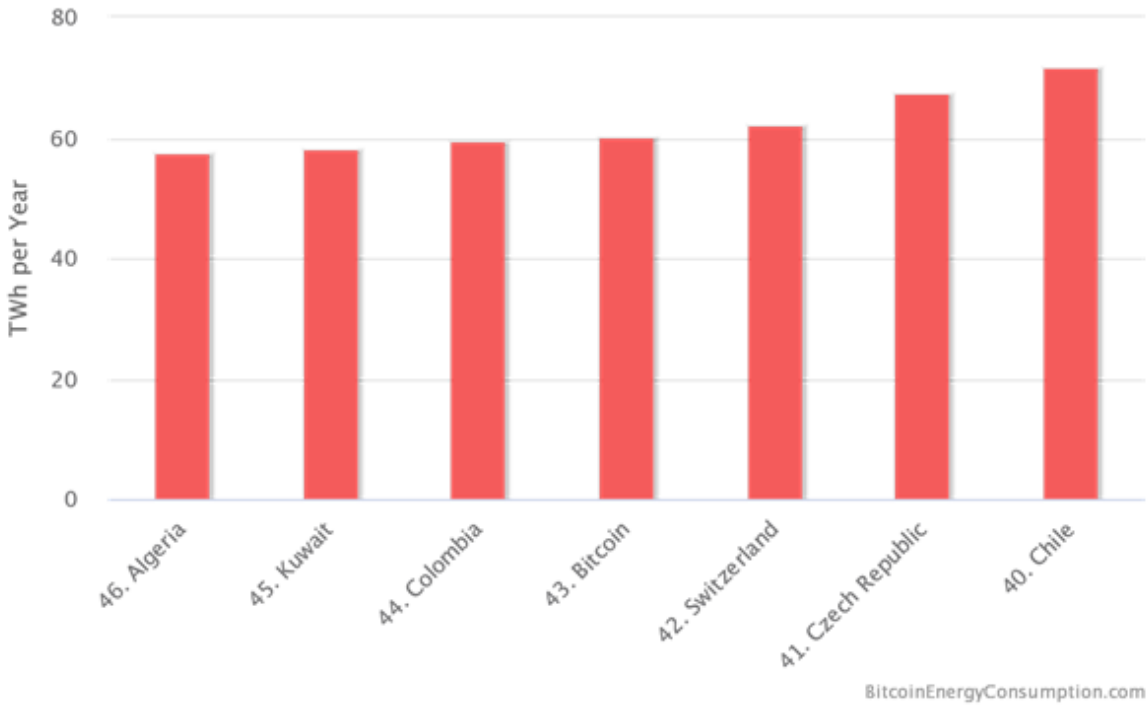

Figure 25: Graphique comparant la consommation électrique de la blockchain « bitcoin » avec celle des pays.[47]

Au niveau du clearing et du settlement de titres, si on transposait la quantité d'électricité nécessaire pour exécuter la moyenne des 100 millions de transactions quotidiennes du marché américain *(DTCC (2018a)),* depuis la quantité d'électricité utilisée pour les transactions en bitcoin, on arriverait à une valeur colossale de 20,000 TWh d'électricité consommées annuellement. Ce qui représente la production d'environ 3,333 réacteurs nucléaires. D'après les rapports de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (2019), en 2019, il n'y a que 451 réacteurs nucléaires opérationnels dans le monde. Soit plus de sept fois moins que la quantité nécessaire pour faire fonctionner la blockchain bitcoin dans le post-trading de titres pour le marché américain.

Kelly-Pitou, K. (2018), spécialiste des énergies et professeur à l'université de Pittsburgh, relativise l'impact écologique de la blockchain en avançant comme argument : *« qu'il ne faut pas regarder à la consommation électrique de la blockchain mais à son émission de gaz*

[47] Source : digiconomist.net (s.d. a). *Bitcoin energy consumption index*. En ligne: https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption

carboniques ». Selon elle : « Les mineurs cherchent à maximiser leurs bénéfices et donc s'orientent vers des pays avec des coûts énergétiques faibles. En général, pour pouvoir offrir de l'électricité à faibles coûts, ces pays doivent s'orienter vers des énergies peu onéreuses à produire telles les énergies renouvelables ». Kelly-Pitou, K. (2018) cite comme exemple l'Islande, pays dans lequel on retrouve beaucoup de mineurs et dont la production d'électricité est totalement verte. Même s'il est vrai que, suite aux innovations des dernières années, le coût de production de l'électricité à partir d'énergies renouvelables est égal, voire inférieur, aux moyens classiques (fossiles et nucléaires) *(Open Energy Information (s.d.)),* son argumentation ne tient pas[48]. Effectivement, considérer l'émission de gaz carboniques plutôt que la consommation électrique ne fait que cacher le problème de la blockchain. L'utilisation d'énergies renouvelables par les mineurs implique que les autres activités qui utiliseraient ces énergies vertes doivent se réorienter vers des énergies plus polluantes. De plus, digiconomist.net (s.d. a) reporte que la plupart des mineurs (47.6%) se trouvent en Chine, pays qui produit la majeure partie de son électricité à partir du charbon *(Wikipédia (2019)), et se*lon l'Agence Internationale de l'Energie (2000), le charbon est le moyen de production d'électricité le plus polluant *(Figure 26).*

[48] La transition économique reste difficile car les énergies renouvelables sont dépendantes des éléments ce qui implique qu'elles sont intermittentes et que l'on ne peut pas ajuster l'offre à la demande quand on le veut.

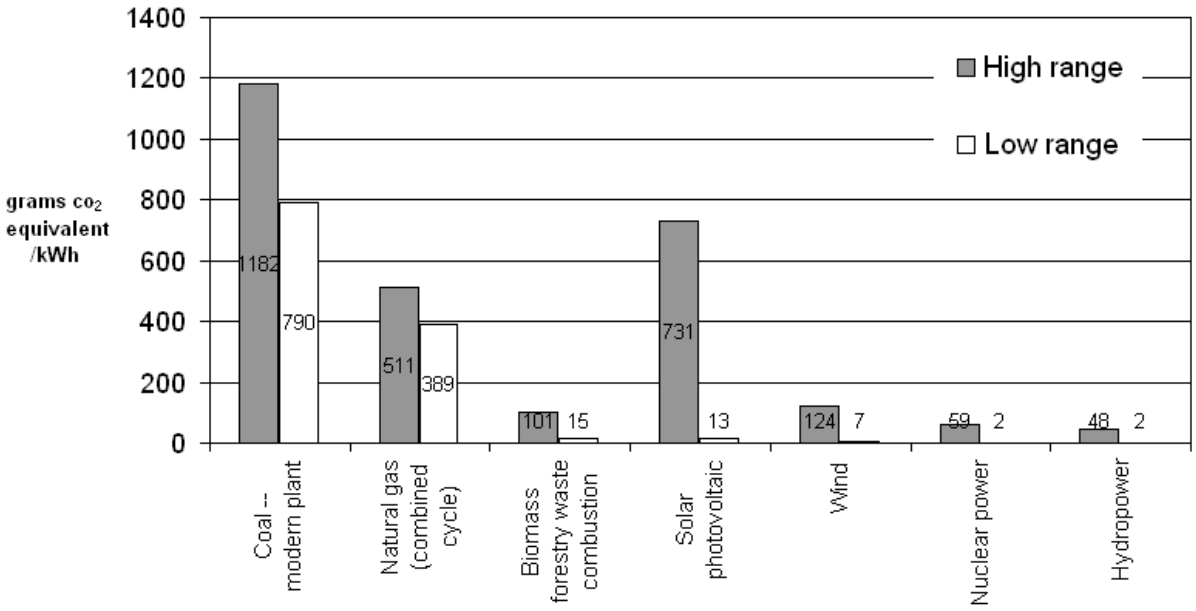

Figure 26 : Graphique comparant la quantité d'émission de CO2 par source de production d'électricité.[49]

Il est, cependant, nécessaire de relativiser car le côté énergivore de la blockchain bitcoin provient de son mode de consensus : le PoW. En effet, la blockchain bitcoin est totalement publique et ouverte, les participants ne peuvent donc avoir confiance les uns envers les autres puisqu'ils ne se connaissent pas. Pour eux, l'important est d'avoir confiance en la résilience du système et non pas dans les tiers. Afin d'assurer cette résilience, il est nécessaire de mettre en place un système de sécurité élevé, dans ce cas-ci énergivore (voir point III.1.). Dans le monde de la finance, les participants ne sont pas inconnus les uns des autres puisque, afin d'assurer la stabilité du secteur, ils sont autorisés spécialement par les régulateurs (licence bancaire). Les participants n'ont donc pas besoin de placer entièrement leur confiance dans le système et peuvent donc remplacer une partie de celle-ci dans les tiers directement. Par conséquent, un niveau de sécurité aussi élevé et aussi énergivore que le PoW n'est pas nécessaire. Les participants ont même un incitant à ne pas utiliser ce mode de consensus car il ralentit la vitesse d'exécution, limite le nombre de transactions qui peuvent être traitées par le système et augmente leurs coûts. Pour bien comprendre l'impact du choix du mode de consensus sur la consommation électrique des DLTs, on peut citer comme autre exemple la blockchain « *Ethereum* ». Cette dernière utilise le mode de

[49] Source: Agence Internationale de l'Energie (2000). *Greenhouse Gas Emissions from Electricity Production.*

consensus du PoS (voir point III.4.) et exécute quotidiennement en moyenne 1.3 millions transactions *(Hertig, A. (s.d.)),* pour une consommation électrique d'environ 6.73 TWh *(digiconomist.net (s.d. b)).* Soit une consommation électrique 8.92 fois inférieure au PoW pour un nombre de transactions exécutées plus de 4 fois supérieur. Cela représenterait la production de 86.28 réacteurs nucléaires pour exécuter les 100 millions de transactions quotidiennes de DTCC avec le PoS de l'Ethereum, soit 38.63 fois moins que le PoW du Bitcoin.

Aujourd'hui, Corda est la DLT la plus prometteuse du post-trading (voir point V.3.), elle fonctionne sur le principe du *« need-to-know » (Carneciu, M. (2017)),* c'est-à-dire que seules les parties qui ont un intérêt dans la transaction et une ou plusieurs parties neutres (CSDs, régulateurs) prennent part à sa validation. Comme l'indique Corda (s.d.), ceci permet d'éliminer le mining qui engendre la plus grosse partie des coûts. Malheureusement, aucune donnée sur la consommation électrique de cette DLT n'est disponible car cette dernière est encore en test, mais contenu de la discussion précédente et de l'élimination du mining comme mode de consensus, on peut réellement supposer qu'elle sera nettement moins énergivore qu'Ethereum ou Bitcoin.

VII.2. Impact sur l'emploi

D'après les rapports annuels des CSDs et CCPs, il y aurait près de 20,000 employés dans le secteur du clearing et du settlement de titres dans le monde. En utilisant les montants d'économies identifiés dans les 3 scénarios (voir point VI.2.), l'implémentation des DLTs dans le post-trading pourrait menacer de 6,000 à 14,000 emplois, voire davantage avec les répercussions dans les autres niveaux de la chaine du trading (banques, bourses, …). L'implémentation des DLTs poursuivrait donc la tendance générale du secteur financier d'automatiser de plus en plus les processus. Toutefois, même si sur le court terme cet impact indésirable peut faire peur, il faut relativiser. En effet, la finance a commencé son processus d'automatisation dans les années 80-90, en remplaçant l'échange à la criée par des systèmes informatiques de trading. Une telle innovation était synonyme de milliers d'emplois perdus avec l'élimination de la majeure partie des brokers et dealers. Cependant,

si on regarde le graphique de l'évolution de l'emploi dans le secteur financier, fourni par le gouvernement américain, celui-ci n'a cessé d'augmenter depuis 1980 pour presque doubler aujourd'hui *(Figure 27).* En remplaçant les processus manuels longs et sources d'erreurs, l'informatisation du trading a largement accéléré et simplifié le processus, diminuant les coûts et finalement augmentant la quantité des échanges. En plus de combler la perte d'emplois par la croissance de l'activité, de nouveaux types de jobs et de nouveaux produits financiers ont été créés offrant de nouveaux emplois aux travailleurs.

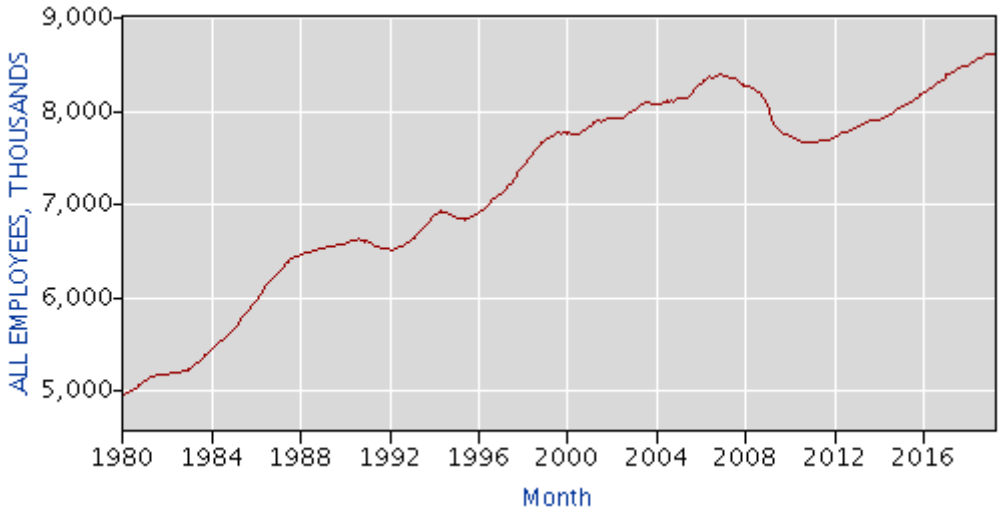

Figure 27 : Graphique de l'évolution de l'emploi dans le secteur financier américain.[50]

Un deuxième élément à prendre en compte est l'évolution des attentes des travailleurs. Comme le souligne l'étude d'ADP (2016), 89% des jeunes ne recherchent plus simplement un travail qui leur permettent de subvenir à leurs besoins, mais d'autres valeurs entrent désormais en ligne de compte comme l'émancipation personnelle et morale. Or, l'implémentation des DLTs dans le clearing et le settlement de titres va principalement diminuer le nombre d'erreurs qui requièrent un travail redondant et hautement manuel pour les résoudre. Les emplois supprimés à la suite de l'adoption de cette nouvelle technologie consisteront, donc, principalement en des travaux jugés inintéressants par les employés modernes. Toutefois, cette technologie signifie aussi toujours plus de qualifications et de spécialisations pour les travailleurs qui devront être capables de la

[50] Source : Bureau of Labor Statistics (s.d.). *Employment, Hours, and Earnings from the Current Employment Statistics Survey (National).* United States Department of Statistics. En ligne: https://data.bls.gov/pdq/SurveyOutputServlet

comprendre pour pouvoir l'utiliser et la développer. L'implémentation des DLTs sur le cout terme peut faire peur, mais, sur le long terme, aura probablement un impact positif sur l'emploi.

VIII. Conclusion

Ce mémoire avait pour objectif d'estimer l'impact de l'implémentation des DLTs/blockchains dans le clearing et le settlement de titres. Pour ce faire, plusieurs questions avaient été émises : Quelles sont les opportunités d'économies ? Quelle serait la grandeur des économies potentielles ? Quel pourrait être son impact sur le prix de l'action d'une entreprise active dans le secteur ? Quel pourrait être son impact sociétal ?

Tout d'abord, en utilisant les avantages de l'implémentation des DLTs dans le post-trading, mis en avant par la littérature existante et les études quantitatives déjà publiées sur le sujet, nous avons identifié cinq zones potentielles d'économies : les coûts de personnel, les coûts généraux, les coûts d'IT, les coûts de contrôle et d'audit, et le manque à gagner dû à l'immobilisation de capitaux.

Ensuite, à partir des rapports annuels des entreprises actives dans le secteur, nous avons estimé à l'échelle globale ce que représentait chaque poste de coûts. Puis, nous avons développé trois scénarios représentant trois situations dans lesquelles le secteur du clearing et du settlement pouvait se retrouver après l'implémentation des DLTs. Sur base des zones d'économies identifiées et de la valeur des postes de coûts, nous avons estimé que le premier scénario permettrait de réaliser des économies de 2.8 à 4 milliards d'euros, le deuxième de 3.5 à 4.7 milliards d'euros, et le troisième de 4.2 à 5.4 milliards d'euros. Ce qui représente en valeur relative, respectivement de 40 à 57%, de 50 à 67%, et de 60 à 77% du chiffre d'affaires total du secteur.

Après quoi, nous avons cherché à répondre à la question : quel pourrait être l'effet de l'implémentation des DLTs sur le prix de l'action d'une entreprise active dans le secteur ? En réutilisant les zones d'économies identifiées et les trois scénarios développés, nous avons estimé que l'implémentation des DLTs permettrait d'augmenter le prix de l'action de *Deutsche Börse Group*¸ évalué par le marché à 105 euros au moment de ce mémoire, de 3.41 euros pour le premier scénario, 6.29 euros pour le second, et 10.54 euros pour le troisième. D'un point de vue relatif, ceci représenterait une augmentation de respectivement 3.25%, 6%, et 10%. On peut en conclure, au vu des pressions sur les ROE mises en avant dans la

partie sur le clearing et le settlement, que les DLTs offrent une réelle opportunité aux acteurs de ce secteur pour redynamiser leurs revenus.

Enfin, nous nous sommes intéressés à l'impact sociétal de l'utilisation des DLTs dans le post-trading. Effectivement, les DLTs sont reconnues pour être énergivores et nos recherches précédentes ont conclu que cette technologie conduirait à la suppression d'emplois. Dans le premier cas, nous avons mis en évidence que la consommation électrique de la blockchain était dépendante de son mode de consensus et qu'un mode de consensus trop énergivore n'était ni nécessaire ni désirable dans le clearing et le settlement de titres. Dans le second cas, nous nous sommes intéressés à l'évolution de l'emploi depuis le commencement de l'informatisation du secteur financier et nous avons remarqué que le nombre de travailleurs a presque doublé ces vingt dernières années. Ceci nous a menés à la conclusion qu'il ne fallait pas craindre l'implémentation des DLTs pour l'emploi car sur le moyen et long termes son impact serait positif.

Par ailleurs, il serait intéressant de compléter ce mémoire en analysant l'impact que pourraient avoir les DLTs dans le clearing et settlement de produits dérivés et les répercussions sur les autres acteurs de la chaine de l'échange d'actifs. Ceci permettrait de fournir une estimation exhaustive de l'impact des DLTs dans l'ensemble du secteur du clearing et du settlement.

Bibliographie

1) ADP Research Institute (ADP) (2016). *Evolution of Work 2.0: The me vs. We mindset.*
2) Agence International de l'Energie Atomique (2019). *Nuclear Power Reactors in the World*. Reference data Series No. 2. 2019 Edition. En ligne : https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/RDS-2-39_web.pdf
3) Agence Internationale de l'Energie (2000). *Greenhouse Gas Emissions from Electricity Production.*
4) Aite Group (2014). *Reconciliation Technology Solutions in 2014: Recs Get Ready to Rumble … .*
5) Alexander, L. (2018). *Blockchains and distributed ledgers in retrospective and perspective*. The Journal of Risk Finance, Vol. 19 Issue: 1, pp.4-25. En ligne : https://doi.org/10.1108/JRF-02-2017-0035
6) Association for Financial Market in Europe (AFME) (2015). *Post Trade explained: The role of post-trade services in the financial sector.* En ligne : https://www.afme.eu/en/reports/publications/post-trade-explained-the-role-of-post-trade-services-in-the-financial-sector/
7) Athey, S., Parashkevov, I., Sarukkai, V., Xia, J. (2016). *Bitcoin Pricing, Adoption, and Usage: Theory and Evidence.* Standford: Institute for Economic Policy Research (SIEPR). En ligne : https://siepr.stanford.edu/sites/default/files/publications/17-033_1.pdf
8) Bank for International Settlements (BIS) (2017). *Distributed ledger technology in payment, clearing and settlement: An analytical framework*. En ligne: https://www.bis.org/cpmi/publ/d157.pdf
9) Bank of England (s.d.). *Why does money depend on trust?* En ligne : https://edu.bankofengland.co.uk/knowledgebank/why-does-money-depend-on-trust/
10) Barontini, C., Holden, H. (2019). *Proceeding with caution: a survey on central Bank digital currency*. BIS paper, No. 101, Monetary and Economic Department. En ligne : https://www.bis.org/publ/bppdf/bispap101.pdf

11) Benos, E., Garrat, R., Gurrola-Perez, P. (2017). *The economics of distributed ledger technology for securities settlement.* Bank of England. Staff working paper No. 670. En ligne : https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/working-paper/2017/the-economics-of-distributed-ledger-technology-for-securities-settlement

12) BitFury Group (2015). *Proof of Stake versus Proof of Work.* En ligne : https://bitfury.com/content/downloads/pos-vs-pow-1.0.2.pdf

13) BitFury Group, Garzik, J. (2015a). *Public versus Private Blockchains. Part 1: Permissioned Blockchains.* En ligne : https://bitfury.com/content/downloads/public-vs-private-pt1-1.pdf

14) BitFury Group, Garzik, J. (2015b). *Public versus Private Blockchains. Part 2: Permissionless Blockchains*. En ligne : https://bitfury.com/content/downloads/public-vs-private-pt2-1.pdf

15) Blockchain.com (s.d.). *Graphique du nombre de transactions confirmées par jour.* En ligne : https://www.blockchain.com/fr/charts/n-transactions

16) Bui, A. (s.d.). *Problèmes des Généraux Byzantins.* Université de Reims. En ligne : http://mathinfo.univ-reims.fr/IMG/pdf/byzantin.pdf

17) Bureau of Labor Statistics (s.d.). *Employment, Hours, and Earnings from the Current Employment Statistics Survey (National).* United States Department of Statistics. En ligne : https://data.bls.gov/pdq/SurveyOutputServlet

18) Buterin, V. (2013). *Ethereum white paper: A next generation smart-contract & decentralized application platform.* En ligne : http://blockchainlab.com/pdf/Ethereum_white_paper-a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platform-vitalik-buterin.pdf

19) Buterin, V. (2016). *A proof-of-stake design philosophy.* Medium. En ligne : https://medium.com/@VitalikButerin/a-proof-of-stake-design-philosophy-506585978d51

20) Carneciu, M. (2017). *Optimising post-trade processing using Distributed Ledger Technology.* Imperial College London: Department of Computing: Mémoire.

21) Catalini, C., Gans, J. S. (2017). *Some simple Economics of the Blockchain*. En ligne : https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2874598

22) Coingecko.com (s.d.). *Bitcoin-USD Dollar Graphique (BTC/USD) – Capitalisation du marché.* En ligne : https://www.coingecko.com/fr/pi%C3%A8ces/bitcoin/usd

23) Collomb, A., Sok, K. (2016). *Blockchain/Distributed Ledger Technology (DLT): What Impact on the Financial Sector?.* Digiworld Economic Journal, No. 103, 3rd Q. 2016, p. 93.

24) Colmant, B., Riachi, I. (2017). *Corporate Finance.* Université Catholique de Louvain-la-Neuve : Louvain School of Management.

25) Coppola, F. (2018). *Bitcoin's need for electricity is its 'Achilles heel'*. Forbes. En ligne : https://www.forbes.com/sites/francescoppola/2018/05/30/bitcoins-need-for-electricity-is-its-achilles-heel/#1900f0212fb1

26) Corda (s.d.). *Corda Technology*. En ligne : https://www.corda.net/discover/technology.html

27) CSDR (2014). *Règlement (UE): No 909/2014 du Parlement européen et du Conseil du 23 juillet 2014 concernant l'amélioration du règlement de titres dans l'Union européenne et les dépositaires centraux de titres, et modifiant les directives 98/26/CE et 2014/65/UE ainsi que le règlement (UE) n ° 236/2012 Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE.*

28) Del Castillo, M. (2018). *ASX details $23B opportunity behind upgrate to tech inspired by bitcoin.* Forbes. En ligne : https://www.forbes.com/sites/michaeldelcastillo/2018/08/15/asx-details-23b-opportunity-behind-upgrade-to-tech-inspired-by-bitcoin/#47cdbaf77a37

29) Depository Trust & Clearing Corporation (DTCC) (2018a). *Modernizing the U.S. equity markets post-trade infrastructure*. White paper Jan 2018. En ligne : http://www.dtcc.com/dtcc-connection/articles/2018/february/06/modernizing-the-us-equity-markets-post-trade-infrastructure

30) Depository Trust & Clearing Corporation (DTTC) (2016). *Embracing the disruption: Tapping the potential of distributed ledgers to improve the post-trade landscape.* En ligne : https://www.finextra.com/finextra-downloads/newsdocs/embracing%20disruption%20white%20paper_final_jan-16.pdf

31) Depository Trust & Clearing Corporation (DTTC) (2018b). *What we learned from our DLT capability study.* En ligne : http://www.dtcc.com/dtcc-

connection/articles/2018/november/08/what-we-learned-from-our-dlt-capability-study

32) Deutsche Börse Group (DBG) (2018). *Financial reports: Annual report 2018.* En ligne : https://deutsche-boerse.com/dbg-en/investor-relations/financial-reports/annual-report

33) Devopedia (2018). *"Types of blockchains.".* Version 8. En ligne : https://devopedia.org/types-of-blockchains

34) digiconomist.net (s.d. a). *Bitcoin energy consumption index*. En ligne : https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption

35) digiconomist.net (s.d. b). *Ethereum energy consumption index*. En ligne : https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption

36) Drescher, D. (2017). *Blockchain Basics : A non-technical introduction in 25 steps*. Apress. Frankfurt am Main, Germany.

37) Elitefixtures (2018). *Bitcoin mining costs throughout the world*. En ligne : https://www.elitefixtures.com/blog/post/2683/bitcoin-mining-costs-by-country/

38) EMIR (2012). *Règlement (UE): No 648/2012 of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on OTC derivatives, central counterparties and trade repositorie (2012).*

39) Ernst and Young (2018). *Global banking outlook 2018: Pivoting toward an innovation-led strategy.* En ligne: https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-global-banking-outlook-2018/$File/ey-global-banking-outlook-2018.pdf

40) European Association of CCP Clearing Houses (EACH) (s.d). *About Clearing.* En ligne : http://www.eachccp.eu/about-clearing/

41) European Central Bank (ECB) (2017). *The potential impact of DLTs on securities post-trading harmonisation and on the wider EU financial market integration*. Advisory Group on Market Infrastructures for Securities and Collateral. En ligne : https://www.ecb.europa.eu/paym/intro/governance/shared/pdf/201709_dlt_impact_on_harmonisation_and_integration.pdf

42) European Post-Trade Forum (EPTF) (2017). *Detailed analysis of the European Post Trade Landscape*. Annex 3. En ligne : https://ec.europa.eu/info/publications/170515-eptf-report_en

43) Figuet, J.M. (2016). *Bitcoin et Blockchain: Quelles opportunités?.* Association d'économie financière : Revue d'économie financière, No. 123, 3rd Q. 2016, p. 325-338.

44) Filippi, P. D., Wright, A. (2018). *Blockchain and the law. The rule of code*. Cambridge : Harvard University Press.

45) FinTech Futures (2013). *Moscow Exchange adopts T+2 settlement*. BankingTech.com. En ligne : https://www.bankingtech.com/2013/03/moscow-exchange-adopts-t2-settlement/

46) Francioni, R., Schwartz, R. A., Byrne, J., & Welkoborsky, S. (2017). *Equity markets in transition: The value chain, price discovery, regulation, and beyond*. Springer.

47) Funhoff, A., Grégoire, P. (2017). *Entrepreneurial Finance*. Université Catholique de Louvain-la-Neuve : Louvain School of Management

48) Haber, S., Stornetta, W. S. (1991). *How to Time-Stamp a Digital Document*. En ligne : https://www.anf.es/pdf/Haber_Stornetta.pdf

49) Hertig, A. (s.d.). *How will Ethereum scale?.* Coindesk. En ligne : https://www.coindesk.com/information/will-ethereum-scale

50) Ito, J., Narula, N., Ali, R. (2017). *The Blockchain will do the Financial System what the Internet did to the Media.* Hardvard Business Review. En ligne: https://hbr.org/2017/03/the-blockchain-will-do-to-banks-and-law-firms-what-the-internet-did-to-media

51) Japan Exchange Group (JPX) (2018). *Implementation Date of T+2 Stock Settlement Cycle*. En ligne : https://www.jpx.co.jp/english/news/0010/20180528e.html

52) Kelly-Pitou, K. (2018). *Stop worrying about how much energy bitcoin uses.* The conversation.com. En ligne : http://theconversation.com/stop-worrying-about-how-much-energy-bitcoin-uses-97591

53) Krause, M. J., Tolaymat, T. (2018). *Quantification of energy and carbon costs for mining cryptocurrencies*. Nature : International journal of Science : Nature sustainability. En ligne : https://www.nature.com/articles/s41893-018-0152-7

54) Le Borne, F., Treat, D., Dimidschstein, F., Brodersen, C. (2016). *Swift on distributed ledger technologies: Delivering an industry-standard platform through community collaboration.* Swift and Accenture. En ligne : http://www.ameda.org.eg/files/SWIFT_DLTs_position_paper_FINAL1804.pdf

55) Litpon, A. (2017). *Blockchains and distributed legers in retrospective and perspective*. The Journal of Risk Finance, Vol. 19 Issue: 1, pp.4-25.

56) Loader, D. (2014). *Clearing, settlement and custody.* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

57) Ma, J. Gans, J. S., Tourky, R. (2018). *Market Structure in Bitcoin mining.* The National Bureau of Economic Research. Working paper N° 24242.

58) Mainelli, M., Milne, A. (2016). *The impact and potential of blockchain on securities transaction life cycle.* SWIFT Institute. https://ssrn.com/abstract=2777404

59) Marmoz, F., & al. (2019). *Blockchain et droit*. 1e Ed. Paris: Dalloz.

60) McPartland, J. (2005). *Clearing and settlement demystified*. Chicago Fed Letter, Federal Reserve Bank of Chicago. En ligne : https://www.chicagofed.org/publications/chicago-fed-letter/2005/january-210

61) Mills, D., & al. (2016). *Distributed Ledger Technology in payments, clearing, and settlement.* Finance and Economics Discussion Series Divisions of Research & Satistics and Monetary Affairs. Federal Reserve Board, Washington, D.C. En ligne: https://www.federalreserve.gov/econresdata/feds/2016/files/2016095pap.pdf

62) MondoVisione (2018). *Adoption of T+2 Settlement cycle in the Brazilian Capital Market*. En ligne : http://www.mondovisione.com/media-and-resources/news/adoption-of-t2-settlement-cycle-in-the-brazilian-capital-market/

63) Mora, C., & al. (2018). *Bitcoin emissions alone could push global warning above 2°C.* Nature: International journal of Science : Nature climate change. En ligne : https://www.nature.com/articles/s41558-018-0321-8#data-availability

64) Morgan Stanley (2016). *Global Financials/Fintech: Global Insight: Blockchain in Banking: Disruptive Threat or Tool?*. En ligne : https://www.febelfin.be/sites/default/files/InDepth/310016810-morgan-stanley-blockchain-report_0.pdf

65) Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A peer-to-peer Electronic Cash System*. En ligne : https://bitcoin.org/bitcoin.pdf

66) Open Energy Information (s.d.). *Transparent Cost Database: Graph of the cost of energy production by production source.* En ligne : https://openei.org/apps/TCDB/#

67) Pares, P. (2016*). Introduction à la Blockchain*. Gitbook. En ligne : https://www.bestcours.com/divers/646-introduction-a-la-blockchain-pdf.html

68) Paul, G., Sarkar,P., Mukherjee, S. (2014). *Towards a More Democratic Mining in Bitcoins.* Information Systems Security. Springer International Publishing, p. 185–203.

69) Peterhoff, D., & al. (2014). *The capital markets industry: the times they are a changing'*. Olyver Wyman et Swift. https://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/global/en/files/insights/financial-services/2015/March/The_Capital_Markets_Industry.pdf

70) Pinna, A., Ruttenberg, W. (2016). *Distributed ledger technologies in securities post-trading: Revolution or evolution?.* European Central Bank. En ligne : https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpops/ecbop172.en.pdf

71) Polrot, S. (2016). *"Smart-contract", où l'engagement auto-exécutant*. Ethereum France. En ligne : https://www.ethereum-france.com/smart-contract-ou-le-contrat-auto-executant/

72) R3.com (s.d.). *Factsheet*. En ligne : https://www.r3.com/wp-content/uploads/2018/09/US_18_R3_FS_v7.pdf

73) Rehlon, A and Nixon, D. (2013). *Central counterparties: What are they, why do they matter and how does the Bank supervise them?.* Bank of England Quarterly Bulletin. En ligne : https://www.bankofengland.co.uk/quarterly-bulletin/2013/q2/central-counterparties-what-are-they-why-do-they-matter-and-how-does-the-bank-supervise-them

74) Robinson, E., Leising, M. (2015). *Blyhte Masters tells banks the blockchain changes everything. Bloomberg Markets.* En ligne : https://www.bloomberg.com/news/features/2015-09-01/blythe-masters-tells-banks-the-blockchain-changes-everything

75) Rotsart de Hertaing, A., Hannesse, T. (2018). *Les banques doivent-elles craindre les blocktechs et leur technologie blockchain?.* Université Chatolique de Louvain-la-Neuve : Louvain School of Management: Mémoire.

76) Santander Innoventures, Olyver Wyman, Anthemis Group (2015). *The Fintech 2.0 Paper: rebooting financial services.* En linge : http://santanderinnoventures.com/wp-content/uploads/2015/06/The-Fintech-2-0-Paper.pdf

77) Schaper, T. (2008). *Trends in European cross-border securities settlement–TARGET2-securities and the code of conduct.* Enterprise Applications and Services in the Finance Industry (Vol. 4), pp 50-65, Springer.

78) Shneider, J., & al. (2016). *Profiles in innovation: Blockchain - putting theory into practice.* The Goldman Sachs Group, Inc. En ligne : https://www.finyear.com/attachment/690548/

79) Simply Explained - Savjee (2018). *Proof-of-Stake (vs proof-of-work).* [vidéo]. En ligne: https://www.youtube.com/watch?v=M3EFi_Pohps

80) Szabo, N. (1998). *Bit gold.* Une archive est disponnile sur le blog: http://unenumerated.blogspot.com/2005/12/bit-gold.html

81) Taliaferro, P., & al. (2015). *Charting a path to a Post-Trade utility: How mutualized trade processing can reduce costs and help rebuild global bank ROE*. Broadridge. En ligne : https://www.broadridge.com/_assets/pdf/gated/broadridge-charting-a-path-to-a-post-trade-utility-white-paper.pdf

82) Thake, M. (2018). *What's the difference between blockchain and DLT?.* Medium. En ligne : https://medium.com/nakamo-to/whats-the-difference-between-blockchain-and-dlt-e4b9312c75dd

83) The Boston Consulting Group (2012*). Cost benefit analysis of shortening the settlement cycle.* Commissioned by The Depository Trust and Clearing Corporation. En ligne : https://www.bcg.com/documents/file119009.pdf

84) The Economist (2015). *The trust machine: The technology behind bitcoin could transform how the economy works*. 31 octobre 2015.

85) Treat, D., Brodersen, C., Blain, C., Kurbanov, R. (2017). *Banking on Blockchain: a value analysis for investment Banks*. Accenture & McLagan. En ligne : https://www.accenture.com/t20171108T095421Z__w__/ph-en/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Consulting/Accenture-Banking-on-Blockchain.pdf

86) UK Government (2016). *Distributed Ledger Tecnhology: beyond block chain.* En ligne : https://www.gov.uk/government/news/distributed-ledger-technology-beyond-block-chain

87) Van de Velde, J., & al. (2016). *Bloccкhain in Capital Markets: The Prize and the Journey.* Euroclear & Oliver Wyman. En ligne : https://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/global/en/2016/feb/BlockChain-In-Capital-Markets.pdf

88) Verdier, M. (2018). *La blockchain et l'intermédiation financière*. Revue d'économie financière, 129,(1), 67-87. doi:10.3917/ecofi.129.0067.

89) Wang, L., Liu, Y. (2015). *Exploring Miner Evolution in Bitcoin Network. Passive and Active Measurement*. Springer International Publishing, p. 290–302.

90) Wikipédia (2016). *Dépositaire Central*. Dernières modifications faites le 26 octobre 2016. https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9positaire_central

91) Wikipédia (2018a). *Aléa moral.* Dernières modifications faites le 23 décembre 2018. https://fr.wikipedia.org/wiki/Al%C3%A9a_moral

92) Wikipédia (2018b). *Clearing (Finance).* Dernières modifications faites le 18 novembre 2018. https://en.wikipedia.org/wiki/Clearing_(finance)

93) Wikipédia (2018c). *Blockchain.* Dernières modifications faites le 21 décembre 2018. En ligne: https://fr.wikipedia.org/wiki/Blockchain

94) Wikipédia (2018d). *Centrale nucléaire de Tihange*. Dernières modifications faites le 31 décembre 2018. En ligne: https://fr.wikipedia.org/wiki/Centrale_nucl%C3%A9aire_de_Tihange

95) Wikipédia (2019). *Electricity sector in China*. Dernières modifications faites le 18 mars 2019. En ligne: https://en.wikipedia.org/wiki/Electricity_sector_in_China

96) Work Economic Forum (WEF) (2016*). The future of financial infrastructure: An ambitious look at how blockchain can reshape financial services.* En ligne : https://www.weforum.org/reports/the-future-of-financial-infrastructure-an-ambitious-look-at-how-blockchain-can-reshape-financial-services