

Louvain School of Management

Diversification de portefeuille en utilisant des cryptomonnaies :

Analyse empirique des performances d'un portefeuille diversifié en incluant un indice de cryptomonnaies de 2018 à 2023.

Auteur : Paulus Romain
Promoteur(s) : D'Hondt Catherine
Année académique 2023-2024
Master en ingénieur de gestion à finalité spécialisée,
Financial management

Résumé

Notre étude a examiné le marché global des cryptomonnaies et leur intégration dans des portefeuilles d'investissement composés d'actifs traditionnels à travers une analyse statistique descriptive, une analyse de corrélation et une analyse de performance. Nous avons confirmé que les cryptomonnaies présentent une rentabilité et une volatilité élevées, avec des rendements ajustés aux risques également élevés. Cependant, les distributions des rendements des cryptomonnaies montrent une asymétrie négative et des valeurs extrêmes comparées aux actifs traditionnels. Notre analyse de corrélation a révélé que les cryptomonnaies sont faiblement corrélées avec les autres actifs, même en période de crise. En termes de performance, les portefeuilles incluant des cryptomonnaies ont une valeur totale plus élevée, mais les rendements ajustés aux risques sont relativement similaires à ceux des portefeuilles traditionnels. Contrairement à certaines hypothèses de la littérature, nous n'avons pas constaté un potentiel de diversification supérieur avec l'ajout de cryptomonnaies dans les portefeuilles d'investissement.

Remerciements

J'aimerais tout d'abord remercier ma famille et mes amis pour leur soutien lors de la rédaction de ce mémoire.

Dans un second temps, j'aimerais remercier mon employeur qui m'a permis d'adapter mon emploi du temps afin de pouvoir présenter ce travail lors de la session de janvier 2024.

Et finalement, j'aimerais remercier Madame D'Hondt pour son rôle de promotrice.

Table des matières

1	Introduction générale	1
2	Revue de littérature	2
2.1	Contexte général du marché des cryptomonnaies	2
2.1.1	Prémises du marché des cryptomonnaies	2
2.1.2	Etat actuel du marché global des cryptomonnaies	3
2.2	Analyse du comportement du marché des cryptomonnaies	4
2.2.1	Contexte général de l'étude	4
2.2.2	Analyse des statistiques descriptives.....	5
2.2.3	Analyse de corrélations	6
2.3	Evaluer le potentiel du marché des cryptomonnaies dans les stratégies d'allocation de portefeuille d'investissement.....	7
2.3.1	Contexte général de l'étude.....	7
2.3.2	Données et modèles d'allocation d'actifs.....	8
2.3.3	Résultats empiriques	9
2.4	Conclusions et hypothèses	11
3	Analyse empirique	12
3.1	Méthodologie	12
3.1.1	Sélection de données et descriptions	12
3.1.2	Statistiques descriptives	16
3.1.3	Analyse de corrélation.....	17
3.1.4	Analyse de performance des portefeuilles d'investissement.....	18
3.2	Statistiques descriptives	23
3.2.1	Rendement moyen.....	24
3.2.2	Maximum/Minimum	25
3.2.3	Volatilité/Sharpe ratio	25
3.2.4	Distribution.....	26
3.2.5	Conclusion.....	28
3.3	Analyse de corrélation.....	29
3.3.1	Résultats	29
3.3.2	Interprétation et conclusion	30
3.4	Analyse de performance	31

3.4.1	Construction des portefeuilles d'investissements	31
3.4.2	Indicateurs de performance	33
3.5	Limites de l'étude.....	38
3.5.1	Période couverte durant l'étude.....	38
3.5.2	Marché des cryptomonnaies.....	38
4	Conclusion générale.....	39
5	Bibliographie.....	40
6	Annexe	41
6.1	Annexe I.....	41
6.1.1	Distribution S&P Global Developed Sovereign Bond Index.....	41
6.1.2	Distribution S&P Cryptocurrency Broad Digital Market Index	41
6.1.3	Distribution EURO.....	42
6.1.4	Distribution iShares Global Corp Bond UCITS ETF USD Hedged (Acc)	42
6.1.5	Distribution Gold.....	43
6.1.6	Distribution JPY	43
6.1.7	Distribution MSCI Emerging Markets Index (MXEF)	44
6.1.8	Distribution MSCI World Index (MXWO).....	44
6.1.9	Distribution Oil	45
6.1.10	Distribution FTSE EPRA Nareit Global REITs Index (ENGX).....	45

Liste des tableaux

Tableau 1 : Statistiques descriptives des actifs étudiés	24
Tableau 2 : Indice de corrélation des actifs étudiés entre eux	29
Tableau 3 : P-valeur du test de corrélation	29
Tableau 4 : Portefeuille équipondéré, poids des actifs	31
Tableau 5: Pondération des actifs en fonction de la période d'investissement du portefeuille efficient de Markowitz incluant les cryptomonnaies	31
Tableau 6 : Pondération des actifs en fonction de la période d'investissement du portefeuille efficient de Markowitz n'incluant pas les cryptomonnaies	32
Tableau 7 : Valeur totale des différents portefeuilles d'investissement par période et les rendements associés	33
Tableau 8: Ratio de Sharpe par période d'investissement et par stratégie d'investissement	34
Tableau 9 : Ratio de Sharpe ajusté par période d'investissement et par stratégie d'investissement	35
Tableau 10 : N effectif par période d'investissement et par stratégie d'investissement	36
Tableau 11: Ratio de diversification par période d'investissement et par stratégie d'investissement.....	37

Listes des graphiques et illustrations

Figure 1: Analyses des statistiques descriptives (Brière, Oosterlinck, & Szafarz, 2015).....	5
Figure 2: matrice de corrélation des actifs entre eux (Brière, Oosterlinck, & Szafarz, 2015) ...	6
Figure 3 : Prix historiques des différents actifs en partant d'une base de 100 USD.....	23
Figure 4 : Distribution normalisée des actifs (points)	26
Figure 5 : Distribution normalisée des actifs (lignes)	26

1 Introduction générale

Le Bitcoin connaît son essor au cours de l'année 2017. Au 1^{er} janvier, celui-ci valait l'équivalent de 916.63 EUR et finira l'année à 11 795.03 EUR en culminant à une valeur de 16 590.71 EUR¹ le 16 décembre de cette même année. Plusieurs années avant cet essor, la cryptomonnaie la plus connue faisait déjà couler beaucoup d'encre entre ses détracteurs et ses fervents défenseurs. D'un côté, ce marché serait simplement une bulle financière qui est vouée à s'effondrer dans un futur proche et n'est que le résultat de spéculations sans fondement. De l'autre, les cryptomonnaies seraient les nouveaux actifs d'investissement d'aujourd'hui et doivent être considérées lors de la conception de son portefeuille. Le 29 décembre 2017, le Nasdaq publiait un article écrit par Street Authority², 'Is Bitcoin A Bubble ?'. Cet article nous montre la complexité de se positionner sur cette question, tant les caractéristiques de cet actif sont uniques. Ces questions peuvent également s'étendre à tout le marché actuel de cryptomonnaies. L'objectif de ce mémoire n'est pas de se positionner sur la possibilité de bulles financières, de défendre ou dénoncer les dangers des cryptomonnaies, mais d'analyser de manière empirique comment se comporte le marché global des cryptomonnaies et quels sont les impacts d'une inclusion de ces actifs dans un portefeuille composé d'actifs traditionnels sur les 5 dernières années.

Enormément d'études ou de publications s'intéressent déjà à ce sujet, mais généralement par le biais de cryptomonnaies bien connues comme le Bitcoin, l'Ethereum ou sur une sélection de plusieurs cryptomonnaies spécifiques. L'objectif de cette étude est d'aborder la thématique d'un point de vue global, à l'échelle du marché et non en utilisant des actifs spécifiques.

Afin de répondre à cet objectif, notre travail se concentrera sur 3 axes :

- Une analyse de statistiques descriptives ayant pour but de comprendre le comportement intrinsèque du marché des cryptomonnaies ;
- Une analyse de performance en incluant le marché des cryptomonnaies à un portefeuille d'investissement composé d'actifs traditionnels
- Une analyse du potentiel de diversification des cryptomonnaies

¹ Ces prix historiques ont été récoltés sur Yahoo Finance.

² Street Authority est une division de recherche financière de Investing Daily (Société de conseils financiers)

2 Revue de littérature

2.1 Contexte général du marché des cryptomonnaies

2.1.1 Prémisses du marché des cryptomonnaies

Le concept de cryptomonnaie a été pour la première fois introduit par David Chaum en 1983 dans un article appelé 'Blind Signatures for Intraceable Payments'. Il évoque tout d'abord que l'automatisation des moyens de paiements de façon électronique pour les biens et services est en cours. Cette nouvelle technologie pourrait créer un conflit en termes de confidentialité de la vie privée et sur l'utilisation que pourrait avoir cette technologie à des fins criminelles. Il imagine donc un nouveau moyen de paiement cryptographique basé sur une 'signature aveugle' qui possède 3 caractéristiques principales pour répondre à ces préoccupations (Chaum, 1982) :

- Incapacité d'un tiers partie de déterminer le bénéficiaire, quand et quelle quantité a été payée par un individu
- Possibilité pour un individu de donner une preuve de paiement, ou de déterminer l'identité du bénéficiaire sous certaines circonstances exceptionnelles
- Possibilité de mettre fin à l'utilisation des moyens de paiement déclarés volés

Il lancera la première cryptomonnaie 'eCash' en 1990. Les prémisses des cryptomonnaies venaient de voir le jour. Il faudra attendre 2008 pour assister à un choc sur le marché.

Ce choc arrivera à la suite de la publication par Satoshi Nakamoto d'un article qui allait marquer un tournant dans l'histoire des cryptomonnaies : 'Bitcoin : A Peer-to-Peer Electronic Cash System'. Dans cet article il soulignera que le système actuel de paiement par internet n'est pas efficient pour 2 raisons principales (Nakamoto, 2008) :

- Impossibilité d'avoir des transactions irréversibles, ce qui augmente les coûts de transaction du fait que les institutions financières en tant que troisième partie doivent proposer des solutions de médiation de litige.
- Inexistence d'un mécanisme permettant d'effectuer des paiements sur un canal de communication sans une 3^{ième} partie de confiance.

Il décrira ensuite sa solution au problème de la double dépense en utilisant un serveur d'horodatage distribué de pair à pair pour générer une preuve informatique de l'ordre chronologique des transactions, la blockchain.

Le 3 janvier 2009, le premier bloc de bitcoin est miné, ce qui marque la création du réseau des Bitcoin et entrainera la création et le succès de centaines d'autres cryptomonnaies basées sur la blockchain de Nakamoto.

2.1.2 Etat actuel du marché global des cryptomonnaies

Depuis le minage du premier bloc de Bitcoin le marché des cryptomonnaies à connu une croissance fulgurante comme vous pouvez le voir dans le graphique (CoinMarketCap, 2024) ci-dessous :



Comme le mentionne Watorek et al., le marché des cryptomonnaies a connu une évolution remarquable au cours des dernières années, passant d'un petit marché périphérique à un marché d'une capitalisation boursière de taille moyenne (Watorek, et al., 2021). La littérature scientifique caractérise de manière générale le marché des cryptomonnaies comme étant un marché nouveau, qui n'a pas encore atteint sa maturité, avec des rendements élevés mais des risques associés également élevés.

De plus, il existe autour de ce marché énormément de questions quant à sa stabilité. On peut voir que des milliers de cryptomonnaies sont créées chaque années mais, d'un autre côté, des milliers de ces actifs disparaissent également. De plus, des questions sur les risques de liquidité associés à ces actifs sont également généralement soulevées.

Pour conclure, l'état actuel du marché des cryptomonnaies se caractérise par un marché ayant un fort potentiel de développement comme nous avons pu le remarquer lors de ces 10 dernières années mais également énormément d'incertitudes. Ces incertitudes sont liées aux caractéristiques intrinsèques à ces actifs mais également à la maturité de ce marché. Le manque de recul que nous avons sur ce marché ne permet pas d'assurer une prévisibilité du comportement futur de celui-ci comparativement aux marchés traditionnels dont nous avons une connaissance beaucoup plus approfondie quant à leur fonctionnement, que ce soit en période d'expansion ou de crise par exemple.

La revue littéraire de l'article de Brière et al. dans la section suivante nous permettra d'avoir une meilleure compréhension des comportements de ce marché.

2.2 Analyse du comportement du marché des cryptomonnaies

Dans cette section, nous allons nous intéresser à l'article « Virtual Currency, Tangible Return : Portfolio Diversification with Bitcoin » co-écrit par Marie Brière, Kim Oosterlinck et Ariane Szafarz et publié dans le Journal of Asset Management en 2015. Dans les prochaines sections, vous pourrez retrouver un résumé des principales thématiques de l'article et de ses conclusions.

2.2.1 Contexte général de l'étude

En 2015, à la suite des crises économiques majeures telles que la Grande Récession et la crise des Sub-Primes, les investisseurs ont commencé à rechercher de nouvelles opportunités d'investissement. Comme mentionné dans le rapport de la Banque Centrale Européenne sur les "Virtual Currency Schemes" publié en 2012, le Bitcoin a suscité un intérêt croissant et ce également du côté des médias qui ont participé à sa popularisation et à son utilisation comme moyen de paiement sur internet. Dans ce contexte émergent du Bitcoin, cet article vise à combler les lacunes dans la littérature concernant ses caractéristiques d'investissement.

L'étude se concentre sur les caractéristiques financières intrinsèques au Bitcoin et à l'intégration de celui-ci dans un portefeuille d'investissement diversifié comprenant des actifs traditionnels tels que des actions mondiales, des obligations et des devises stables, ainsi que des investissements alternatifs tels que des matières premières, des fonds spéculatifs et de l'immobilier. Chaque catégorie d'actifs est représentée par plusieurs indices financiers permettant de comparer le Bitcoin aux divers marchés accessibles pour un investisseur américain classique.

Nous nous sommes intéressés aux 2 axes suivants de cette étude :

- L'analyse des statistiques descriptives des différents actifs ;
- L'analyse de corrélations entre les différents actifs ;

La revue littéraire de ces 2 sections va nous permettre d'émettre des hypothèses quant aux caractéristiques du marché des cryptomonnaies en se basant sur les résultats obtenus avec le Bitcoin aux prémices de son développement.

Nous n'avons pas considéré l'analyse de l'inclusion du Bitcoin dans les portefeuilles diversifiés composés d'actifs traditionnels qui a été conduites par les auteurs car la méthodologie utilisée diffère de manière significative avec l'analyse que nous voulons proposer.

2.2.2 Analyse des statistiques descriptives

Dans cette première partie analytique, les rendements hebdomadaires des 13 actifs (12 actifs traditionnels ou alternatifs et le Bitcoin) étudiés sont analysés selon 10 indicateurs de statistiques descriptives durant la période allant du 23 juillet 2010 au 27 décembre 2013 :

	BTC	EUR	JPY	Stocks Dvp	Stocks Emg	Gvt Bonds Dvp	Gvt Bonds Emg	IL Bonds Wld	Corpo Bonds Wld	Gold	Oil	Real Estate	Hedge Funds
Mean	7.79%	-0.02%	0.11%	0.30%	0.09%	0.05%	0.11%	0.10%	0.12%	0.04%	0.20%	0.10%	0.03%
Ann. Mean	404.89%	-1.20%	5.93%	15.64%	4.91%	2.45%	5.88%	5.16%	6.38%	2.20%	10.24%	5.19%	1.75%
Median	3.32%	-0.01%	0.00%	0.43%	0.10%	0.07%	0.20%	0.05%	0.14%	0.19%	0.25%	0.22%	0.12%
Maximum	137.62%	4.17%	3.97%	8.27%	9.46%	2.25%	3.23%	2.28%	1.83%	7.14%	13.51%	5.91%	0.90%
Minimum	-41.78%	-3.19%	-3.55%	-8.81%	-11.62%	-2.85%	-5.90%	-3.51%	-2.55%	-7.11%	-14.57%	-9.04%	-2.49%
Std. Dev.	24.43%	1.39%	1.31%	2.20%	2.58%	0.84%	1.04%	0.96%	0.70%	2.47%	3.56%	2.03%	0.46%
Volatility	176.15%	10.03%	9.43%	15.89%	18.61%	6.05%	7.53%	6.89%	5.06%	17.82%	25.68%	14.61%	3.33%
Skewness	1.85	0.31	0.14	-0.44	-0.28	-0.24	-1.07	-0.22	-0.29	-0.21	-0.17	-0.64	-1.35
Kurtosis	9.10	2.95	2.96	5.34	6.35	3.31	8.96	3.42	3.69	3.61	5.13	5.48	7.36
Sharpe Ratio	2.30	-0.14	0.61	0.97	0.25	0.37	0.75	0.72	1.22	0.11	0.39	0.34	0.47
Observations	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179	179

Figure 1: Analyses des statistiques descriptives (Brière, Oosterlinck, & Szafarz, 2015).

Les conclusions tirées de cette analyse révèlent que le cours moyen du Bitcoin connaît une augmentation spectaculaire, atteignant des rendements annuels moyens de 404 % par an, mais cette croissance s'accompagne également d'une volatilité annuelle élevée équivalente à 176 %. Ces chiffres mettent en lumière les risques associés à l'investissement dans le Bitcoin. Les innovations financières sont souvent difficiles à évaluer, et les actifs liés à ces innovations peuvent présenter des caractéristiques de bulle, comme le soulignent Frehen et al. (2013). Les rendements observés dans l'étude peuvent donc être influencés par la nouveauté et pourraient ne pas se répéter dans les périodes ultérieures.

La présence de risques extrêmes significatifs est également reflétée dans des valeurs de kurtosis élevées, atteignant 9,10, comparables à celles des obligations d'État émergentes (8,96). L'asymétrie élevée, mesurée à 1,85, est également remarquable et suscite l'intérêt des analystes financiers. Des niveaux d'asymétrie positive aussi élevés sont généralement associés à des stratégies sophistiquées telles que les investissements dans la volatilité, conçus pour protéger les portefeuilles financiers contre les crises, comme le mentionnent Brière et al. (2010). Ces données, bien que préliminaires, suggèrent que le Bitcoin pourrait servir de couverture partielle contre les crises.

De plus, du point de vue des rendements ajustés au risque, il est observé que le Sharpe ratio du Bitcoin dépasse celui des autres classes d'actifs. Cette constatation met en évidence l'attrait particulier des investissements en Bitcoin par rapport à d'autres classes d'actifs.

2.2.3 Analyse de corrélations

La deuxième partie de l'analyse s'intéresse la matrice de corrélation des rendements hebdomadaires des 13 actifs durant la période allant du 23 juillet 2010 au 27 décembre 2013. Les signes ***/**/* indiquent que les coefficients de corrélations estimés sont différents de 0 avec un seuil de significativité de, respectivement, 1%/5%/10% :

	Bitcoins	Euro	Yen	Stocks Dvp	Stocks Emg	Gvt Bonds Dvp	Gvt Bonds Emg	IL Bonds Wld	Corpo Bonds Wld	Gold	Oil	Real Estate
Bitcoins												
Euro	▼ -4											
Yen	▼ -6	▲ 21***										
Stocks Dvp	▼ 5	▼ -53***	▲ 4									
Stocks Emg	▼ 4	▼ -45***	▲ 6	▲ 80***								
Gvt Bonds Dvp	▼ 8	▼ -64***	▼ -74***	▲ 16**	▲ 20***							
Gvt Bonds Emg	▼ 3	▼ -27***	▼ -5	▲ 34***	▲ 53***	▲ 39***						
IL Bonds Wld	▲ 14*	▼ -60***	▼ -44***	▲ 23***	▲ 30***	▲ 84***	▲ 48***					
Corpo Bonds Wld	▲ 10	▼ -70***	▼ -38***	▲ 38***	▲ 49***	▲ 81***	▲ 61***	▲ 81***				
Gold	▲ 14*	▼ -38***	▼ -36***	▲ 21***	▲ 31***	▲ 49***	▲ 31***	▲ 50***	▲ 48***			
Oil	▼ -1	▼ -34***	▼ -6	▲ 50***	▲ 47***	▲ 14*	▲ 20***	▲ 23***	▲ 21***	▲ 30***		
Real Estate	▼ 0	▲ 13*	▲ 15**	▲ 63***	▲ 66***	▼ -11	▲ 46***	▲ 2	▲ 14*	▼ 0	▲ 28***	
Hedge Funds	▼ 9	▼ -34***	▲ 15**	▲ 77***	▲ 71***	▲ 7	▲ 32***	▲ 23***	▲ 37***	▲ 17**	▲ 49***	▲ 60***

Figure 2: matrice de corrélation des actifs entre eux (Brière, Oosterlinck, & Szafarz, 2015)

Les résultats tirés de cette analyse mettent en évidence que le Bitcoin présente des corrélations relativement faibles avec d'autres types d'actifs. Seuls deux actifs affichent une corrélation significative avec le Bitcoin, à savoir l'or (14%) et les obligations indexées sur l'inflation (14%). Cette constatation n'est pas surprenante étant donné que la prévisibilité totale de l'offre de Bitcoin est souvent considérée comme un moyen de se prémunir contre l'inflation, ce qui constitue un attrait pour de nombreux investisseurs, comme l'ont souligné diverses sources telles que la Banque Centrale Européenne en 2012 et Harper en 2013.

Toutefois, il convient d'interpréter avec prudence ces faibles corrélations relevées entre le Bitcoin et les autres instruments d'investissement, car elles ont été calculées sur une période de marché haussier. Il est bien connu que les corrélations peuvent être instables et peuvent évoluer de manière significative pendant les périodes de crise, comme l'ont démontré diverses études telles que celles menées par Goetzmann et al. en 2005. Dès lors, la période d'observation relativement courte ne permet pas de déterminer si les corrélations entre le Bitcoin et d'autres actifs restent faibles lorsque les marchés connaissent une tendance baissière.

2.3 Evaluer le potentiel du marché des cryptomonnaies dans les stratégies d'allocation de portefeuille d'investissement

Dans cette section, nous allons nous intéresser à l'étude « Investing with Cryptocurrencies – evaluating potential for portfolio allocation strategies » co-écrit par Alla Petukhina, Simon Trimborn, Wolfgang Karl Härdle et Hermann Elender datant du 18 septembre 2020. Cette étude analyse le potentiel des cryptomonnaies pour différentes stratégies d'allocation de portefeuilles d'investissements en se basant sur des données couvrant la période allant du 1^{er} janvier 2015 au 31 décembre 2019. Dans les prochaines sections, vous pourrez retrouver un résumé des principales thématiques de l'étude et de ses conclusions.

2.3.1 Contexte général de l'étude

L'étude s'inscrit dans un contexte où les cryptomonnaies ont vu leur capitalisation boursière fortement augmenter durant les années précédant celle-ci. Bien que les prix de ces actifs soient très volatils, leurs rendements moyens élevés ont suscité l'intérêt des gestionnaires de portefeuilles et de risques en tant qu'options d'investissement alternatives.

Dans ce contexte, l'étude s'intéresse à différentes questions concernant le marché des cryptomonnaies et l'inclusion de celles-ci dans un portefeuille d'investissement que ce soit du point de vue des investisseurs (pour qui l'investissement dans les cryptomonnaies est-il intéressant ? Pour quel type d'investisseurs est-ce le plus utile ? Est-ce que les investisseurs doivent se concentrer sur une cryptomonnaies spécifique ou une sélection large ?) ou du point de vue de la conception des portefeuilles (quelle est l'exposition idéale aux cryptomonnaies ? Est-ce que les cryptomonnaies sont suffisamment liquides ? Comment les cryptomonnaies affectent les rendements d'un portefeuille).

Dans notre revue de littérature, nous allons principalement nous intéresser aux sections suivantes de cette recherche :

- Les modèles d'allocations d'actifs étudiés et les données utilisées lors de l'étude ;
- Les méthodes de mesures de performances utilisées lors de l'étude ;
- Les résultats empiriques de l'étude.

2.3.2 Données et modèles d'allocation d'actifs

Avant d'aborder les modèles d'allocation d'actifs, il est essentiel de se pencher sur les données utilisées dans cette étude, à savoir les actifs eux-mêmes. Pour l'analyse empirique, les chercheurs ont recueilli des données quotidiennes sur les prix d'un ensemble de cryptomonnaies et d'actifs financiers conventionnels, y compris des investissements alternatifs, pour la période allant du 1er septembre 2015 au 31 décembre 2019.

L'étude considère 52 cryptomonnaies et 16 actifs traditionnels représentant 5 classes d'actifs distinctes (des actions, des obligations, des devises monétaires, des matières premières et de l'immobilier) pour la conception des portefeuilles d'investissement. Pour évaluer les performances de chaque modèle d'allocation d'actifs, les actifs traditionnels seront toujours considérés et les cryptomonnaies seront considérées dans les portefeuilles incluant les cryptomonnaies pour pouvoir étudier les effets de cette inclusion.

D'un point de vue des méthodes d'allocations d'actifs, 5 groupes et 9 méthodes d'allocations d'actifs sont utilisés dans le cadre de cette étude. Pour notre revue littéraire, nous nous intéresserons principalement à 2 portefeuilles spécifiques utilisant la méthode d'allocation d'actifs de Markowitz appelée portefeuille tangent : celui incluant les cryptomonnaies et celui composé uniquement d'investissements traditionnels.

Ensuite, il est important de noter que chaque modèle d'allocation d'actifs utilisé sera soumis à plusieurs rééquilibrages lors des périodes étudiées. L'étude considère différentes fréquences de rééquilibrages, c'est-à-dire que ceux-ci sont réalisés soit chaque mois, soit chaque semaine ou journalièrement. Pour les différents rééquilibrages, les données de l'année précédant chaque rééquilibrage (252 jours ouvrables) seront utilisées afin d'estimer les paramètres nécessaires pour mettre en œuvre chaque stratégie et déterminer les poids de chaque actif dans les portefeuilles d'investissement.

En complément du rééquilibrage des actifs et des diverses stratégies d'allocation d'actifs, le modèle LIBRO est également utilisé. Ce modèle vise à limiter la surpondération des actifs illiquides dans le portefeuille en introduisant des contraintes de pondération liées à la liquidité lors de l'optimisation du portefeuille.

Dans le cadre de cette revue, nous ne ferons pas de revue des résultats obtenus en ajoutant les contraintes relatives au modèle LIBRO.

2.3.3 Résultats empiriques

Dans cette section, les auteurs évaluent les différentes performances des portefeuilles afin de répondre aux diverses questions posées dans l'introduction concernant le marché des cryptomonnaies et l'inclusion de celles-ci dans un portefeuille d'investissement et ce en considérant 2 dimensions :

- Comment les performances de risques ajustés se comparent-elles entre les différentes stratégies et mesures de performances ?
- Quels sont les bénéfices de diversifications générés par chaque méthode ?

2.3.3.1 Mesures de performances

Tout d'abord, une analyse des frontières efficaces de risque-rendement de Markowitz est effectuée. Dans cette analyse les auteurs constatent que l'inclusion des cryptomonnaies conduit à une nette extension des frontières. Avec des risques faibles, les portefeuilles contenant des cryptomonnaies donnent un niveau de rendement similaire à celui sans cryptomonnaies car celles-ci sont très peu ou pas présente dans ce type de portefeuille. Cependant, des rendements attendus beaucoup plus élevés peuvent être recherchés lorsque les cryptomonnaies sont incluses de manière significative dans les portefeuilles d'investissement.

Ensuite, les différentes stratégies ont été comparées en utilisant différents indicateurs de performances, nous nous focaliserons sur la valeur totale, le ratio de Sharpe et le ratio de Sharpe ajusté. Les principaux résultats sont les suivants :

- Valeur totale : sur l'ensemble de la période étudiée, en ignorant les contraintes de liquidité, bien que les cryptomonnaies se négocient bien en dessous de leurs pics historiques à la fin de la période étudiée, la plupart des portefeuilles contenant des cryptomonnaies surperforment généralement les portefeuilles de référence composés uniquement d'éléments conventionnels (Petukhina, Trimborn, Elendner, & Härdle, 2020). Plus particulièrement, pour les portefeuilles maximisant le ratio de Sharpe, le portefeuille incluant les cryptomonnaies surperforme le portefeuille composé d'actifs traditionnels et ce pour toutes les différentes périodes de rééquilibrage considérées dans cette étude (chaque mois, chaque semaine ou chaque jour).
- Ratio de Sharpe : en termes de de rendements ajusté au risque (Sharpe ratio et Sharpe ratio ajusté) les résultats divergent en fonction des périodes de rééquilibrages. En effet, on peut constater que quand le rééquilibrage est effectué chaque mois, le portefeuille maximisant le ratio de Sharpe (sans inclure les contraintes LIBRO) sans

cryptomonnaies obtient de meilleur ratio de rendements ajusté au risque que celui les incluant. A l'inverse, quand le rééquilibrage est effectué chaque semaine ou chaque jour, le portefeuille incluant les cryptomonnaies surperforme celui composé d'investissements traditionnels.

2.3.3.2 Mesures de diversification

Dans cette section, nous allons nous intéresser à l'analyse de diversification au travers d'indicateurs spécifiques utilisés dans l'étude comme le N effectif et le ratio de diversification. D'une manière générale, l'inclusion de cryptomonnaies dans un portefeuille d'investissement donne des mesures de performances de diversifications supérieures au portefeuille composé uniquement d'investissements traditionnels. En effet, les conclusions de cette étude concernant le modèle du portefeuille tangent de Markowitz mettent en évidence une différence significative de diversification entre les portefeuilles avec et sans cryptomonnaies. Par exemple, l'intégration des cryptomonnaies dans le portefeuille construit selon la méthodologie de Markowitz entraîne une augmentation du ratio de diversification qui passera de 5,39 à 8,03. Concernant le N effectif, le portefeuille incluant les cryptomonnaies obtient également de meilleurs résultats en passant de 3.11 à 3.26. Les résultats obtenus permettent d'affirmer que l'ajout de cryptomonnaies améliore considérablement le potentiel de diversification du portefeuille. De plus, les auteurs obtiennent des résultats identiques concernant les portefeuilles étant rééquilibrés chaque semaine ou chaque jour.

2.4 Conclusions et hypothèses

Tout d'abord, l'article de Brière, Oosterlinck et Szafarz nous permet, du fait de leurs différentes analyses, d'émettre des hypothèses, par extension, vis-à-vis du comportement du marché global des cryptomonnaies.

Tout d'abord, en relation avec l'analyse statistique descriptive :

- H1) Le marché global des cryptomonnaies se caractérise par des rendements et une volatilité plus élevée que les investissements traditionnels ;
- H2) Le marché global des cryptomonnaies est particulièrement attractif comparativement aux investissements traditionnels d'un point de vue des rendements ajustés aux risques ;
- H3) La distribution des rendements du marché global des cryptomonnaies se caractérise par la présence de risques extrêmes significatifs qui se reflète par des valeurs élevées de Kurtosis comparativement aux investissements traditionnels ;
- H4) La distribution des rendements du marché global des cryptomonnaies se caractérise par une asymétrie élevée comparativement aux investissements traditionnels.

Pour ce qui concerne l'analyse de corrélation entre le Bitcoin et les investissements traditionnels, nous formulons par extrapolation l'hypothèse suivante :

- H5) Le marché global des cryptomonnaies est peu ou non-corrélé aux investissements traditionnels

Dans un second temps, l'étude de l'analyse des performances d'un portefeuille expliquée sous la section 2.3 nous a permis d'émettre les hypothèses suivantes :

- H6) Les portefeuilles d'investissement incluant des cryptomonnaies surperforment les portefeuilles composés uniquement d'investissements traditionnels d'un point de vue de la valeur totale de ces portefeuilles.
- H7) Les portefeuilles d'investissement incluant des cryptomonnaies ne surperforment pas les portefeuilles composés uniquement d'investissements traditionnels d'un point de vue des rendements ajustés aux risques de ces portefeuilles.
- H8) Les portefeuilles d'investissement incluant cryptomonnaies surperforment les portefeuilles composés uniquement d'investissements traditionnels d'un point de vue du potentiel de diversification.

3 Analyse empirique

3.1 Méthodologie

Les objectifs principaux de cette étude résident dans la compréhension des comportements intrinsèques au marché des cryptomonnaies sur la période allant du 7 décembre 2018 au 1^{er} décembre 2023 et de l'appréciation de l'influence des cryptomonnaies sur les performances d'un portefeuille diversifié durant une période s'étendant sur cinq ans, précisément du 11 décembre 2020 au 1^{er} décembre 2023. Afin de pouvoir proposer une réponse à cet objectif et aux différentes hypothèses découlant de notre revue de littérature, nous avons établi un cadre méthodologique s'inspirant de l'étude conduite par Brier et al. en 2015 ainsi que celle conduite par Pethukina et al. en 2020. Dans les sous-sections suivantes vous pourrez retrouver l'explication exhaustive de la méthodologie qui sera appliquée lors de notre analyse empirique, c'est-à-dire :

- La méthodologie de la sélection des données et de leurs descriptions ;
- La méthodologie applicable à l'analyse statistique descriptive ;
- La méthodologie applicable à l'analyse de corrélation ;
- La méthodologie concernant le modèle d'allocation d'actifs ;
- La méthodologie applicable à l'analyse de performance des différents portefeuilles.

3.1.1 Sélection de données et descriptions

Afin de mener à bien notre analyse, il nous sera nécessaire d'analyser des actifs représentant des investissements traditionnels (tant des actifs traditionnels qu'alternatifs) ainsi que des actifs représentant le marché des cryptomonnaies. En plus de nous permettre d'analyser des actifs distincts, notre sélection doit nous permettre de constituer deux portefeuilles d'investissements distincts : l'un composé d'actifs diversifiés, en excluant le marché des cryptomonnaies, et l'autre incluant ce dernier.

À cet égard, nous procéderons à une explication de notre sélection de données, visant à obtenir une diversification particulièrement étendue, ainsi qu'à notre choix d'indice de cryptomonnaies, visant à ce qu'il reflète fidèlement ce marché global.

3.1.1.1 Actifs traditionnels

Pour la sélection de nos actifs traditionnels, nous adopterons la stratégie décrite par Brière et al. en 2015, qui s'intéresse à un investisseur américain ayant un portefeuille diversifié. Pour obtenir un portefeuille diversifié, les auteurs de l'étude utilisent des indices permettant de représenter le marché global des différentes classes d'actifs étudiées. Il est néanmoins important de noter que toutes les mêmes classes d'actifs que dans l'étude de Pethukina et al. sont représentées, ce qui nous permettra de tester les hypothèses émises dans le cadre de cette étude. Nous avons donc utilisé les données suivantes pour notre analyse :

- Pour inclure des matières premières dans notre portefeuille, nous allons inclure l'or et le pétrole (WTI) dans celui-ci. Nous avons récolté les prix historiques en USD de ces matières premières, respectivement sur Bloomberg (XAU BGN) et sur FRED (base de données du département recherche de la 'Federal Reserve Bank of St. Louis'). Nous avons nommé ces actifs respectivement « Gold » et « Oil » dans nos tableaux de résultats.
- Pour inclure des actions classiques dans notre portefeuille, nous avons distingué les marchés développés et les marchés émergents. Ainsi, nous avons utilisé 2 index différents : le MSCI World Index (MXWO) et MSCI Emerging Markets Index (MXEF). Nous avons récolté les prix historiques sur Bloomberg. Le MSCI World Index est composé de moyennes et larges capitalisations représentées au travers de 23 pays des marchés développés, et est composé de 1509 actifs ce qui représente approximativement 85% de la capitalisation boursière de chaque pays³. Le MSCI Emerging Markets Index est quant à lui composé également des grandes et moyennes capitalisations représentées au travers de 24 pays des marchés émergents et est composé de 1437 actifs ce qui représente approximativement 85% de la capitalisation boursière de chaque pays⁴. Nous avons nommé ces actifs respectivement « MSCI World » et « MSCI Emerging » dans nos tableaux de résultats.

³ Ces informations sont fournies par MSCI dans leur fiche d'information mensuelle datée au 30 novembre 2023. <https://www.msci.com/documents/10199/178e6643-6ae6-47b9-82be-e1fc565ededb>, consulté le 12 décembre 2023.

⁴ Ces informations sont fournies par MSCI dans leur fiche d'information mensuelle datée au 30 novembre 2023. <https://www.msci.com/documents/10199/c0db0a48-01f2-4ba9-ad01-226fd5678111>, consulté le 12 décembre 2023

- Pour incorporer les obligations gouvernementales à notre portefeuille nous allons utiliser le ‘S&P Global Developed Sovereign Bond Index’. Cet indice obligataire est conçu pour suivre les performances des titres en monnaies locale émis publiquement par les pays développés pour leurs marchés nationaux⁵. Nous nommerons cet actif « S&P Dev Gov Bond Index » dans nos tableaux de résultats.
- Pour les obligations d’entreprises nous avons sélectionné le ‘iShares Global Corp Bond UCITS ETF USD Hedged (Acc)’ qui cherche à répliquer la performance d’obligations de sociétés opérant dans les marchés développés et émergents⁶. Nous avons collecté les prix historiques via le site internet de BlackRock qui publie ceux-ci. Nous nommerons cet actif « IShares Global corporate bonds » dans nos tableaux de résultats.
- Pour ce qui est des obligations liées à l’inflation, nous avons décidé de les exclure de notre portefeuille d’investissement dû au fait que nous ne pouvions avoir accès à des données complètes ou représentatives du secteur via Bloomberg ou d’autres fournisseurs de données.
- Au niveau de placements sur des actifs alternatifs, nous avons décidé d’exclure les Hedge Funds de notre portefeuille d’investissement dû au fait que nous ne pouvions avoir accès à des données complètes ou représentatives du secteur via Bloomberg ou d’autres fournisseurs de données.
- Afin d’inclure différentes monnaies, nous avons, comme Brier & al., incorporé le Yen Japonais (JPY) ainsi que l’Euro (EUR) dans notre portefeuille. Nous avons récolté les taux hebdomadaires sur Bloomberg. Nous nommerons ces actifs « EUR » et « JPY » dans nos tableaux de résultats.

⁵ Ces informations sont fournies par le S&P dans leur fiche d’information mensuelle datée au 30 novembre 2023. https://www.spglobal.com/spdji/en/idsenhancedfactsheet/file.pdf?calcFrequency=M&force_download=true&hostIdentifier=48190c8c-42c4-46af-8d1a-0cd5db894797&indexId=91993079, consulté le 12 décembre 2023.

⁶ Ces informations sont fournies par BlackRock dans leur fiche d’information mensuelle datée au 30 novembre 2023. <https://www.blackrock.com/fr/particuliers/literature/fact-sheet/crpu-ishares-global-corp-bond-ucits-etf-fund-fact-sheet-fr-fr.pdf>, consulté le 12 décembre 2023.

- Nous avons également ajouté l'indice FTSE EPRA Nareit Global REITs Index (ENGX) à notre portefeuille qui représente le marché de l'immobilier à travers le monde. Cet indice couvre tant les marchés développés qu'émergents de l'immobilier⁷. Nous avons également récolté les prix historiques de cet index sur Bloomberg. Nous nommerons cet actif « Real Estate » dans nos tableaux de résultats.
- Finalement, nous avons sélectionné les taux des bons du trésor américain avec une maturité de 3 mois du 7 décembre 2018 au 1 décembre 2023 comme taux sans risque. Nous avons récolté les taux historiques sur la plateforme FRED (base de données du département recherche de la 'Federal Reserve Bank of St. Louis').

3.1.1.2 Cryptomonnaies

Dans le cadre de cette étude nous désirons représenter le marché global des cryptomonnaies et non uniquement le Bitcoin comme Brière et al. ou une sélection spécifique de cryptomonnaies comme Pethukina et al. qui avaient sélectionné 52 cryptomonnaies.

Pour représenter les cryptomonnaies dans notre portefeuille, nous avons donc sélectionné le S&P Cryptocurrency Broad Digital Market Index qui, comme décrit dans la fiche d'information de l'Index daté du 30 novembre 2023, 'suit les performances des actifs numériques cotés sur les bourses numériques et reconnues qui répondent aux critères minimum de liquidité (3 mois MDVT⁸ supérieur à 100 000USD) et de capitalisation boursière (supérieure à 100M USD) qui sont couverts par leurs fournisseurs de prix'⁹. Cet Index nous donne une vue globale du marché des cryptomonnaies et de son évolution. Nous nommerons cet actif « Crypto » dans nos tableaux de résultats.

⁷ Ces informations sont fournies par FTSE Russell dans leur fiche d'information mensuelle datée au 30 novembre 2023. Vous pouvez retrouver cette fiche d'informations en utilisant sur le lien suivant : <https://research.ftserussell.com/Analytics/Factsheets/Home/DownloadSingleIssue?issueName=ENXG&IsManual=false>

⁸ MDVT : Valeur quotidienne médiane échangée

⁹ Ces informations sont fournies par le S&P dans leur fiche d'information mensuelle datée au 30 novembre 2023. Vous pouvez retrouver cette fiche d'informations en utilisant sur le lien suivant : https://www.spglobal.com/spdji/en/idsenhancedfactsheet/file.pdf?calcFrequency=M&force_download=true&hostIdentifier=48190c8c-42c4-46af-8d1a-0cd5db894797&languageId=1&indexId=92411306

3.1.2 Statistiques descriptives

Le but de l'analyse statistique descriptive est de vérifier les 4 premières hypothèses quant au marché global des cryptomonnaies émises dans le cadre de la revue de littérature de Brier et al., c'est-à-dire :

1. Le marché global des cryptomonnaies se caractérise par des rendements et une volatilité plus élevée que les investissements traditionnels ;
2. Le marché global des cryptomonnaies est particulièrement attractif comparativement aux investissements traditionnels d'un point de vue des rendements ajustés aux risques;
3. La distribution des rendements du marché global des cryptomonnaies se caractérise par la présence de risques extrêmes significatifs qui se reflète par des valeurs élevées de Kurtosis comparativement aux investissements traditionnels ;
4. La distribution des rendements du marché global des cryptomonnaies se caractérise par une asymétrie extrêmement élevée comparativement aux investissements traditionnels.

Pour cela, nous avons identifié les différences de comportements entre les actifs traditionnels et les cryptomonnaies sur la période allant du 7 décembre 2018 au 1^{er} décembre 2023 en se basant sur la même méthodologie.

Pour ce faire, nous avons comparé les performances de chaque actif et différentes statistiques descriptives relatives aux rendements hebdomadaires des cryptomonnaies par rapport aux investissements traditionnels, c'est-à-dire : la moyenne, le maximum, le minimum, la volatilité, le Skewness ainsi que le Kurtosis. Nous avons également comparé les rendements ajustés aux risques en utilisant le ratio de Sharpe comme indicateur de performance.

3.1.3 Analyse de corrélation

Le but de cette analyse de corrélation est de vérifier l'hypothèse émise quant au marché global des cryptomonnaies dans le cadre de la revue de littérature de Brier et al., c'est-à-dire que le marché global des cryptomonnaies est peu corrélé aux investissements traditionnels.

Pour analyser les corrélations entre les différents actifs sélectionnés dans notre portefeuille d'investissement, un test de signification statistique des corrélations entre les différentes variables a été effectué. Ce test se compose de 5 étapes :

1. Déterminer le coefficient de corrélation de Pearson. Ce coefficient peut être calculé grâce à la formule suivante :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \text{ avec}$$

- r le coefficient de corrélation de Pearson
 - n le nombre d'observations de l'échantillon
 - X la première variable
 - Y la seconde variable
2. Après le calcul des coefficients de corrélation, le test d'hypothèse peut commencer avec :

$$H_0 : \text{Pas de corrélation entre les deux variables} : \rho = 0$$

$$H_1 : \text{Corrélation entre les deux variables} : \rho \neq 0$$

3. Les hypothèses seront ensuite testées avec un test de t. La formule pour calculer la valeur de t est la suivante :

$$t_{n-2} = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2}$$

4. Il faut ensuite déterminer le degré de liberté (df) :

$$df = n - 2$$

5. Finalement, avec une table, il est possible de calculer la signification statistique et déterminer si l'hypothèse H_0 est à rejeter ou non. Dans le cadre de ce test, le seuil de significativité est de :

$$\alpha = 0.05$$

3.1.4 Analyse de performance des portefeuilles d'investissement

3.1.4.1 Modèle d'allocation d'actifs

Pour pouvoir analyser les portefeuilles composés d'actif traditionnels ainsi que ceux comportant des cryptomonnaies, nous allons devoir construire ceux-ci. Pour ce faire nous allons utiliser une méthodologie similaire à celle utilisé par Petukhina et al.

Tout d'abord, il est important de noter que chaque modèle d'allocation d'actifs utilisé sera soumis à plusieurs rééquilibrages lors de la période étudiée. Ces rééquilibrages auront lieu toutes les 26 semaines afin de limiter l'impact des coûts de transactions qui ne sont pas considérés dans le cadre de cette étude. En effet, dans le modèle de Petukhina et al., les rééquilibrages ont lieu de manière plus fréquente (chaque mois, chaque semaine ou chaque jour) et ont donc un impact plus important sur les performances effectives des portefeuilles. Dès lors, une analyse des coûts de transactions potentiels est faite parallèlement via divers indicateurs de performances. Dans le contexte de notre étude, nous n'analyserons pas ces différents coûts de transactions potentiels liées aux rééquilibrages.

Ensuite, notre jeu de données a été séparé en 2 échantillons distincts : un échantillon permettant d'estimer les paramètres initiaux du modèle se composant des données, allant du 7 décembre 2018 au 4 décembre 2020, et un second échantillon, composé des données allant du 11 décembre 2020 au 1 décembre 2023, utilisé pour tester les performances des différents portefeuilles.

De plus, nous utiliserons le principe de fenêtre coulissante où 2 ans de données précédant la période de rééquilibrage seront utilisés pour l'estimation des nouveaux paramètres applicable au modèle. Les périodes d'investissements seront donc décomposées de la manière suivante :

- Période 1 : investissements débutants le 4 décembre 2020 jusqu'au 4 juin 2021 en considérant les rendements obtenus du 7 décembre 2018 au 4 décembre 2020 pour définir les différents poids de chaque actif dans le portefeuille d'investissement ;
- Période 2 : investissements débutants le 4 juin 2021 jusqu'au 3 décembre 2021 en considérant les rendements obtenus du 7 juin 2019 au 4 juin 2021 pour définir les différents poids de chaque actif dans le portefeuille d'investissement ;
- Période 3 : investissements débutants le 3 décembre 2021 jusqu'au 3 juin 2022 en considérant les rendements obtenus du 6 décembre 2019 au 3 décembre 2021 pour définir les différents poids de chaque actif dans le portefeuille d'investissement ;

- Période 4 : investissements débutants le 3 juin 2022 jusqu'au 2 décembre 2022 en considérant les rendements obtenus du 5 juin 2020 au 3 juin 2022 pour définir les différents poids de chaque actif dans le portefeuille d'investissement ;
- Période 5 : investissements débutants le 2 décembre 2022 jusqu'au 2 juin 2023 en considérant les rendements obtenus du 4 décembre 2020 au 2 décembre 2022 pour définir les différents poids de chaque actif dans le portefeuille d'investissement ;
- Période 6 : investissements débutants le 2 juin 2023 jusqu'au 1^{er} décembre 2023 en considérant les rendements obtenus du 4 juin 2021 au 2 juin 2023 pour définir les différents poids de chaque actif dans le portefeuille d'investissement.

Enfin, le modèle de construction des portefeuilles d'investissement utilisé sera celui du portefeuille efficient de Markowitz et celui des portefeuilles équipondérés comme portefeuilles de référence. Ces 2 modèles seront soumis au rééquilibrage défini ci-dessus. Comme Petukhina et al., nous avons choisi de considérer le portefeuille efficient de Markowitz car de nombreux gestionnaires s'appuient encore sur les règles de risque-rendement combinant les actifs en un portefeuille efficace offrant un rendement cible ajusté au risque (Härdle et Simar, 2015). Ces portefeuilles sont optimaux si les rendements financiers suivent une distribution normale ou si le risque peut être entièrement capturé par la volatilité (Petukhina, Trimborn, Elendner, & Härdle, 2020). Si ces conditions ne sont pas respectées, ces portefeuilles servent d'approximation qui accepte les inconvénients largement discutés dans la littérature : une forte concentration du portefeuille et une forte sensibilité à des petits changements dans les estimations des paramètres (moyenne et l'écart type des actifs) comme expliqué par Jorion (1985), Simaan (1997), Kan et Zhou (2007).

Concernant les portefeuilles analysés, il y aura donc des portefeuilles composés uniquement d'investissements traditionnels ainsi que des portefeuilles composés de ces actifs mais également d'un indice du marché global des cryptomonnaies.

De plus, comme dans la revue de littérature, nous ne considérerons pas les contraintes de liquidité du modèle LIBRO pour la pondération de nos portefeuilles. En effet, ce modèle prévoit d'empêcher une pondération trop élevée des actifs peu liquides. Dans notre étude nous utilisons exclusivement des actifs bien connus ne souffrant pas de ce problème de liquidité.

Après avoir obtenu les allocations des portefeuilles pour la période de test des performances des portefeuilles nous allons pouvoir nous intéresser dans la section suivante aux indicateurs de performances qui seront utilisés afin de vérifier les hypothèses émises dans la revue de littérature.

3.1.4.2 Indicateurs de performance

Dans cette section nous allons décrire la méthodologie que nous avons utilisée afin de vérifier les hypothèses émises dans notre revue de littérature concernant l'analyse de l'impact de l'ajout du marché des cryptomonnaies à un portefeuille d'investissement composé d'actifs traditionnels.

Pour mener à bien la vérification des hypothèses que nous avons émises, nous avons utilisé une méthodologie similaire à celle de Petukhina et al. en utilisant des indicateurs de performances spécifiques à chaque caractéristique développée dans les hypothèses émises quant à l'inclusion de cryptomonnaies dans un portefeuille d'investissement. Dans les sous-sections suivantes, nous avons décrit ces indicateurs de performance ainsi que leur méthode de calcul.

3.1.4.2.1 Valeur Totale

Tout d'abord, concernant l'hypothèse de performance d'un point de vue de la valeur totale du portefeuille, nous comparerons les valeurs des différents portefeuilles à la fin de chaque période d'investissement avec un portefeuille initial équivalent à 100 000 USD. Pour cela, nous calculerons la valeur totale de chaque actif à la fin de chaque période ($V_{i,t}$) composant le portefeuille :

$$V_{i,t+1} = V_{i,t} * (1 + R_{i,t}), \quad \text{avec}$$

- $V_{i,t}$, la valeur de l'actif dans le portefeuille au moment t ;
- $R_{i,t}$, le rendement de l'actif sur la période t.

Il est important de noter qu'à chaque début de période, comme expliqué dans la section 3.1.4.1, les valeurs initiales des actifs sont recalculées en faisant un rééquilibrage de ceux-ci.

Ensuite, afin de calculer la valeur totale du portefeuille à chaque fin de période d'investissement, nous additionnerons les différents actifs qui composent le portefeuille :

$$V_{P,T} = \sum_i V_{i,T}$$

Ensuite, concernant l'hypothèse de performance d'un point de vue des rendements ajustés au risques des portefeuilles, nous utiliserons 2 indicateurs que nous expliquons dans la prochaine sous-section.

3.1.4.2.2 Ratio de Sharpe et ratio de Sharpe ajusté

Le ratio de Sharpe (SR_P) permet de calculer les rendements excédentaires d'un portefeuille d'investissement et ce par rapport au risque associé à ce portefeuille. Pour le calculer, la formule suivante est utilisée :

$$SR_P = \frac{R_P - R_f}{\sigma_P}, \text{ avec}$$

- R_P , le rendement du portefeuille d'investissement P
- R_f , le rendement de l'actif sans risque
- σ_P , l'écart-type du portefeuille d'investissement P

Concernant l'interprétation de cet indicateur de performance, en comparant 2 portefeuilles d'investissement distincts, le portefeuille ayant la valeur la plus élevée de ratio de Sharpe est le portefeuille avec un rendement ajusté au risque le plus performant.

Une des faiblesses de cet indicateur de performance est le fait qu'il considère que les rendements suivent une distribution normale or, généralement, les distributions des actifs financiers ne suivent pas une distribution normale. C'est pourquoi, en plus du calcul du ratio de Sharpe, nous avons calculé le ratio de Sharpe ajusté (ASR_P) qui considère la nature non-gaussienne de la distribution des rendements. Cet indicateur se calcule suivant la formule suivante :

$$ASR_P = SR_P * \left[1 + \left(\frac{S_P}{6} \right) SR_P - \left(\frac{K_i}{24} \right) SR_P^2 \right], \text{ avec}$$

- S_P , l'asymétrie (Skewness) de la distribution des rendements du portefeuille P ;
- K_i , l'aplatissement (Kurtosis) de la distribution des rendements du portefeuille P.

Comme le ratio de Sharpe, en comparant 2 portefeuilles d'investissement distincts, le portefeuille ayant la valeur la plus élevée de ratio de Sharpe ajusté est le portefeuille avec un rendement ajusté au risque le plus performant.

Finalement, concernant l'hypothèse de surperformance d'un point de vue du potentiel de diversification de chaque portefeuille d'investissement, nous utiliserons les indicateurs décrits dans la prochaine sous-section.

3.1.4.2.3 N effectif et Ratio de Diversification

Le N effectif moyen, qui est une mesure proposée par Strongin et al. en 2000, s'interprète comme étant le nombre d'actifs également pondérés qui offriraient les mêmes avantages en terme de diversification qu'un portefeuille équipondéré. En effet, un N effectif égal à 1 représente une concentration d'un seul actif dans le portefeuille tandis que le score maximal du N effectif est équivalent au nombre d'actifs pouvant composer le portefeuille (N). Ce score maximal sera atteint quand le portefeuille sera équipondéré. Pour calculer cet indicateur de performance nous avons utilisé la formule suivante :

$$N_{eff}(w_t) = \frac{1}{\sum_{i=1}^N w_{i,t}^2}, \quad \text{avec}$$

- $w_{i,t}^2$, la pondération de l'actif i dans le portefeuille à l'instant t

Le N effectif se concentre uniquement sur le poids de chaque actif composant le portefeuille. Dès lors, afin de considérer d'autres variables pour évaluer le potentiel de diversification des différents portefeuilles, nous nous sommes intéressés au ratio de diversification également utilisé comme indicateur de performances dans l'étude de Petukhina et al.

Celui-ci est une mesure de diversification, proposée par Choueifaty et al. en 2011, qui mesure la proportion de la volatilité moyenne pondérée d'un portefeuille par rapport à la volatilité globale. Il est calculé de la façon suivante :

$$DR(w_t) = \frac{w_t^T \sigma_t}{\sqrt{w_t^T \Sigma_t w_t}}, \quad \text{avec}$$

- Σ_t , la matrice de covariance des actifs à l'instant t

Dans le cas où les actifs sont parfaitement corrélés entre eux, l'indicateur est égal à 1 et à l'inverse, dans le cas d'actifs parfaitement non-corrélés entre eux, celui-ci sera égal à \sqrt{N} . Dans le cadre de notre analyse du potentiel de diversification, le portefeuille ayant obtenu le plus haut score de ratio de diversification sera celui proposant le meilleur potentiel de diversification et ce en considérant les différentes volatilités et corrélations propres à chaque actif.

3.2 Statistiques descriptives

Dans cette section, nous allons analyser le comportement statique des cryptomonnaies comparativement aux actifs traditionnels sélectionnés dans notre portefeuille d'investissement. Notre analyse des rendements hebdomadaires porte sur une durée de 5 ans commençant le 7 décembre 2018 au 1^{er} décembre 2023 (soit 260 semaines).

Mais tout d'abord, afin d'illustrer les prix historiques des différents actifs ainsi que les différences dans l'évolution de ceux-ci à travers le temps, nous avons tracé un graphique¹⁰ en partant d'un prix de départ identique de 100 USD pour chaque actif :

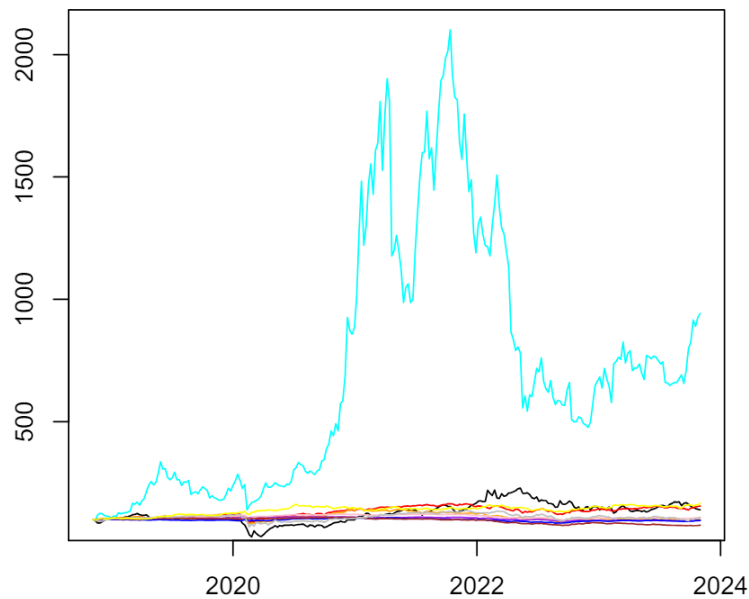


Figure 3 : Prix historiques des différents actifs en partant d'une base de 100 USD

Ce graphique nous permet de mieux comprendre l'évolution des prix historiques des différents actifs étudiés et plus particulièrement l'évolution du marché des cryptomonnaies et celui du pétrole. En effet, nous pouvons noter une très forte montée du cours des cryptomonnaies début 2020 jusqu'à mai 2021, qui s'accompagnera d'une forte descente jusque juillet 2021, suivi d'une nouvelle montée jusque novembre 2021 qui s'accompagnera également d'une forte baisse jusque décembre 2022. Le pétrole est quant à lui marqué par une forte baisse en mars 2020 liée à la crise du Covid-19 pour finalement connaître une montée jusque juillet 2022. Ces différentes variations auront un impact direct sur nos analyses et il est important d'en prendre connaissance.

¹⁰ Code couleurs des graphes : Gold (jaune), Oil (noir), MSCI World (rouge), MSCI Emerging (orange), Obligations gouvernementales (mauve), obligations d'entreprises (rose), Euro (bleu), Yen japonais (brun), Immobilier (gris), cryptomonnaies (bleu cyan).

Ensuite, comme mentionné dans la partie méthodologie, nous allons nous servir des différents indicateurs statistiques afin de vérifier nos hypothèses et de mieux comprendre les différences de comportements entre les cryptomonnaies et les différents actifs traditionnels étudiés. Vous trouverez ci-dessous les calculs effectués durant notre analyse :

	Gold	Oil	MSCI World	MSCI emerging	S&P Dev Gov Bond Index	IShares Global corporate bonds	EUR	JPY	Real Estate	Crypto
Mean	0,22%	0,46%	0,20%	0,03%	(0,01)%	0,04%	(0,01)%	(0,10)%	0,10%	1,33%
Annual Mean	11,17%	9,30%	9,71%	0,88%	(0,52)%	2,18%	(0,69)%	(4,83)%	2,80%	105,67%
Median	0,28%	0,71%	0,34%	0,28%	0,02%	0,15%	(0,04)%	(0,14)%	0,21%	1,37%
Max	8,64%	83,20%	10,98%	7,77%	1,69%	3,58%	4,24%	5,63%	21,33%	34,76%
Min	(8,60)%	(38,59)%	(12,45)%	(11,94)%	(1,88)%	(6,85)%	(3,77)%	(2,98)%	(25,26)%	(42,38)%
Std.Dev (weekly)	2,04%	8,55%	2,69%	2,55%	0,59%	0,95%	1,04%	1,14%	3,71%	9,45%
Volatility (annually)	14,71%	61,63%	19,39%	18,41%	4,28%	6,82%	7,49%	8,22%	26,72%	68,15%
Skewness	0,02	3,16	(0,52)	(0,57)	0,05	(2,07)	0,12	0,75	(0,51)	(0,38)
Kurtosis	2,46	35,37	5,40	2,37	0,55	15,76	2,21	2,77	14,64	2,88
Sharpe	0,63	0,12	0,40	(0,06)	(0,57)	(0,04)	(0,35)	(0,82)	0,03	1,52
Observation	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260

Tableau 1 : Statistiques descriptives des actifs étudiés

3.2.1 Rendement moyen

Comme nous pouvions nous y attendre en observant le graphique représentant l'évolution du cours du marché des cryptomonnaies, nous constatons un rendement moyen, que ce soit hebdomadaire ou annuel, largement supérieur aux actifs traditionnels. En effet, un rendement annuel moyen de 105.67% revêt un caractère exceptionnel, là où le meilleur rendement observé dans notre étude est de 11.27% pour l'or, soit un peu moins de 10 fois moins de rendement annuel. Comme observé dans l'étude de Brier & al., avec un rendement annuel de 404% pour le Bitcoin, les cryptomonnaies affichent depuis plusieurs années des rendements extrêmement intéressants mais, comme cela sera expliqué dans la section volatilité, un risque très élevé également. Cet indicateur statistique nous permet de valider partiellement notre première hypothèse émise dans le cadre de l'analyse de statistiques descriptives des différents actifs inclus dans notre étude.

3.2.2 Maximum/Minimum

Comme attendu, les rendements maximum et minimum (respectivement 34,76% et -42,38%) de l'indice de cryptomonnaies sont largement supérieurs aux actifs traditionnels, à l'exception du pétrole où l'on observe des rendements allant de 83,20% à -38,59% lors de la période analysée. Ce comportement du marché du pétrole peut s'expliquer par une série de crises ayant largement affecté celui-ci entre 2018 et 2023, comme la guerre en Ukraine qui a réduit de manière drastique les exportations de gaz russe ou la crise sanitaire mondiale du COVID-19 qui a également fortement impacté la demande en pétrole. Le comportement de cet actif est donc anormal lors de la période étudiée et ne permet pas de comparaison fiable avec celui des cryptomonnaies. Cette analyse des rendements maximum et minimum de chaque actif nous permet d'apporter une vue supplémentaire sur l'analyse de la volatilité et des rendements ajustés aux risques et la compréhension de celle-ci.

3.2.3 Volatilité/Sharpe ratio

En lien avec les différentes observations faites dans les sections précédentes, nous pouvons constater que la volatilité de l'indice de cryptomonnaies est largement supérieure aux actifs traditionnels, à l'exception du pétrole. Cela nous permet de valider totalement notre hypothèse concernant les caractéristiques de rendements et de risques émises concernant le marché des cryptomonnaies. De plus, nous pouvons noter que ces cryptomonnaies ont un bien meilleur rendement moyen ajusté au risque (l'indicateur utilisé ici est le Sharpe ratio) que tous les autres actifs étudiés et le seul supérieur à 1 (1,52). Cette analyse nous permet également de confirmer notre seconde hypothèse émise dans le cadre de la comparaison des rendements ajustés aux risques entre le marché des cryptomonnaies et les actifs traditionnels étudiés.

Cependant, le rapport risque/rendement de l'indice étudié est excellent comparativement aux actifs traditionnels même si nous pouvons nuancer cette observation par les différentes crises ayant frappé le marché global (et particulièrement le pétrole) où les cryptomonnaies semblent avoir été beaucoup moins impactées. Cela traduit également un potentiel intérêt de diversifier son portefeuille d'investissement avec des cryptomonnaies qui, théoriquement, ne sont pas ou sont moins corrélées au marché global que les investissements traditionnels. Nous étudierons cette corrélation aux actifs traditionnels dans la section 3.4 de cette étude.

3.2.4 Distribution

Afin d'illustrer les différentes distributions, nous avons normalisé les actifs de notre portefeuille d'investissement et les avons réunis dans un même graphique¹¹¹² (les 2 graphes sont identiques, celui à gauche est sous forme de courbe tandis que celui de droite est composé de points) :

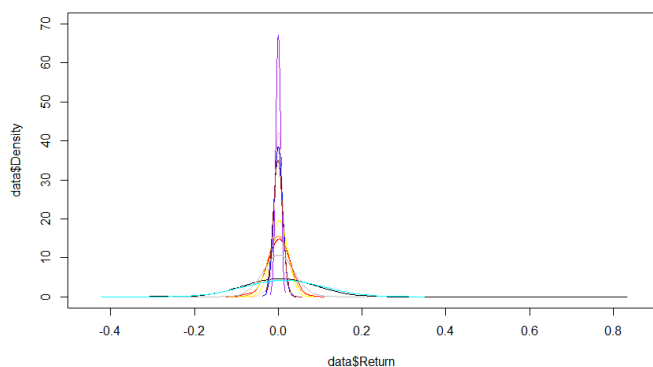


Figure 5 : Distribution normalisée des actifs (lignes)

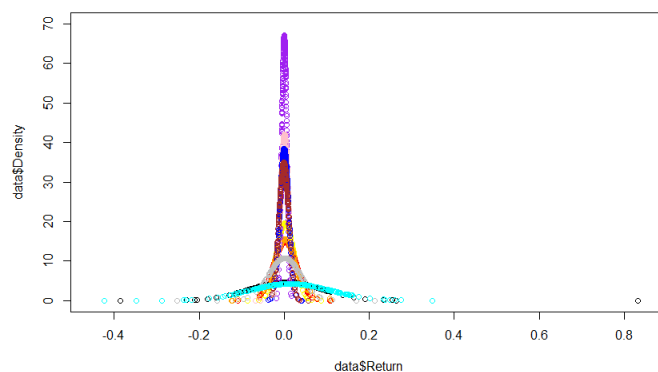


Figure 4 : Distribution normalisée des actifs (points)

Nous pouvons déjà visuellement identifier des grandes différences entre les différentes classes d'actifs. On peut notamment noter que le pétrole et les cryptomonnaies ont une distribution similaire fortement aplatie avec des valeurs extrêmes élevées, à l'inverse des obligations d'état ou d'entreprises qui ont des rendements fortement concentrés dans une petite plage de valeurs. Les distributions normalisées de chaque actif représenté à des échelles adaptées pour chacun sont disponibles en annexe 1 afin d'avoir une vue plus détaillée de celles-ci.

Nous avons également analysé l'asymétrie des distributions (Skewness) où les cryptomonnaies ont une queue de distribution étalée vers la gauche (Skewness négatif égale à -0.38) de manière similaire aux actifs d'actions, à l'immobilier et à l'opposé du pétrole qui a une queue de distribution fortement étalée vers la droite (Skewness positif). Un Skewness positif traduit une fréquence de petites pertes plus régulières avec des opportunités de gains importants (comparativement à la moyenne) à l'inverse d'un Skewness négatif où des pertes importantes peuvent être enregistrées mais avec des gains plus faibles réguliers. Dès lors, nous remarquons

¹¹ Les différentes distributions sont disponibles en annexe 1 pour avoir une vue plus détaillée sur celles-ci.

¹² Code couleurs des graphes : Gold (jaune), Oil (noir), MSCI World (rouge), MSCI Emerging (orange), Obligations gouvernementales (mauve), obligations d'entreprises (rose), Euro (bleu), Yen japonais (brun), Immobilier (gris), cryptomonnaies (bleu cyan).

une différence fondamentale avec l'étude de Brière et al. où le Bitcoin avait une asymétrie positive égale à 1.85. En plus de cette différence de comportement quant à l'asymétrie de la distribution des rendements, la valeur de cette asymétrie n'est pas élevée comparativement aux autres classes d'actifs. Cette analyse ne nous permet pas de confirmer notre 4^{ième} hypothèse quant à l'asymétrie des rendements. De plus, cette analyse nous permet d'apporter une réponse négative au questionnement de Brière et al. quant au potentiel de couverture partielle des cryptomonnaies en cas de crise d'un point de vue de l'asymétrie des rendements.

En ce qui concerne le coefficient d'aplatissement (Kurtosis), et en contradiction avec notre analyse intuitive des rendements maximums et minimums, les rendements des cryptomonnaies se situent à 2.88 ce qui est similaire à l'or, les actions des pays émergents, le taux de change avec l'euro et le yen japonais. Cependant, comme nous pouvons le voir avec le pétrole, les actions des pays développés, les obligations d'entreprises ainsi que l'immobilier, la valeur du Kurtosis du marché des cryptomonnaies est fortement inférieure à certains actifs traditionnels. Dès lors, nous ne pouvons qu'infirmier l'hypothèse émise concernant la présence plus élevée de risques extrêmes significatifs pour le marché des cryptomonnaies comparativement aux actifs traditionnels.

3.2.5 Conclusion

Cette analyse des statistiques descriptives nous a permis d'identifier différentes caractéristiques et comportements des rendements de notre indice de cryptomonnaies. Notons néanmoins que chaque classe d'actifs possède ses caractéristiques propres et que le but principal de cette conclusion sera d'apporter une vue globale quant à la confirmation ou infirmation des hypothèses émises lors de la revue de littérature de Brière et al.

Tout d'abord, comme évoqué dans notre première hypothèse, le marché global des cryptomonnaies se caractérise par des rendements moyens et une volatilité plus élevée que les investissements traditionnels.

De plus, il est important de noter, comme mentionné dans notre seconde hypothèse, que le Sharpe ratio, et donc les rendements moyens ajustés aux risques de notre indice, est le meilleur et est donc particulièrement attractif comparativement aux investissements traditionnels.

Néanmoins, la distribution des rendements du marché global des cryptomonnaies ne se caractérise pas par la présence de risques extrêmes significatifs et des valeurs élevées de Kurtosis comparativement aux investissements traditionnels.

De plus, la distribution des rendements des cryptomonnaies ne se caractérise pas par une asymétrie extrêmement élevée (Skewness) comparativement aux investissements traditionnels. Finalement, au regard de l'analyse du Bitcoin aux prémices de son développement proposés par Brière et al. et notre extrapolation des caractéristiques de celui-ci en l'appliquant au marché global des cryptomonnaies, nous remarquons que du point de vue des rendements et des risques, nous retrouvons les mêmes caractéristiques mais que la distribution de ces rendements comparativement aux actifs traditionnels est fondamentalement différente. Ces différences de distributions peuvent potentiellement s'expliquer par la conjoncture de la période étudiée, à l'extrapolation des résultats obtenus sur le Bitcoin au marché des cryptomonnaies, l'état de maturité du marché des cryptomonnaies comparativement à l'étude de Brière et al. ou d'autres facteurs pouvant potentiellement impacter la distribution des rendements. Notre but ici n'étant pas d'apporter une explication à ces différences fondamentales mais d'apporter notre contribution à l'analyse du comportement du marché des cryptomonnaies en vérifiant si les résultats observés dans notre revue de littérature sont toujours applicables.

Dans la section suivante, nous allons analyser la corrélation avec les actifs traditionnels et le marché des cryptomonnaies afin de mieux comprendre son comportement et d'avoir une meilleure compréhension quant à la façon dont cet investissement peut s'inscrire dans l'établissement d'une stratégie de construction de portefeuille d'investissement.

3.3 Analyse de corrélation

3.3.1 Résultats

Nous avons d'abord calculé le r de Pearson (coefficient de corrélation) entre chaque variable.

Vous trouverez le tableau récapitulatif ci-dessous :

R Pearson	Gold	Oil	MSCI World	MSCI Emerging	S&P Dev Gov Bond Index	Ishares Global Corporate Bonds	EUR	JPY	Real Estate
Gold									
Oil	0.06								
MSCI World	0.32	0.20							
MSCI Emerging	0.36	0.25	0.75						
S&P Dev Gov Bond Index	0.36	(0.11)	0.13	0.06					
Ishares Global Corporate Bonds	0.43	0.11	0.54	0.46	0.72				
EUR	0.43	(0.05)	0.52	0.47	0.15	0.38			
JPY	0.49	(0.01)	0.17	0.23	0.50	0.48	0.47		
Real Estate	0.35	0.09	0.84	0.61	0.21	0.64	0.52	0.22	
Crypto	0.21	0.09	0.30	0.30	0.05	0.13	0.18	0.06	0.20

Tableau 2 : Indice de corrélation des actifs étudiés entre eux

Nous avons ensuite calculé la p-value de chacun de ces coefficients afin d'affirmer ou d'infirmer l'hypothèse de corrélation entre les différentes variables. Vous trouverez le tableau récapitulatif¹³ ci-dessous :

P-value	Gold	Oil	MSCI World	MSCI emerging	S&P Dev Gov Bond Index	Ishares Global Corporate Bonds	EUR	JPY	Real Estate
Gold									
Oil	34.21%								
MSCI World	0.00%	0.09%							
MSCI emerging	0.00%	0.00%	0.00%						
S&P Dev Gov Bond Index	0.00%	8.42%	3.34%	29.92%					
Ishares Global Corporate Bonds	0.00%	6.87%	0.00%	0.00%	0.00%				
EUR	0.00%	39.25%	0.00%	0.00%	1.85%	0.00%			
JPY	0.00%	89.99%	0.69%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%		
Real Estate	0.00%	13.85%	0.00%	0.00%	0.06%	0.00%	0.00%	0.03%	
Crypto	0.07%	15.32%	0.00%	0.00%	38.28%	3.41%	0.29%	33.62%	0.15%

Tableau 3 : P-valeur du test de corrélation

¹³ Vous trouverez les p-values inférieures à 10% en jaune, à 5% en vert clair et à 1% en vert foncé

3.3.2 Interprétation et conclusion

Les résultats que nous avons obtenus ci-dessus lors de notre analyse de corrélation vont pouvoir nous permettre de confirmer ou d'infirmer notre hypothèse stipulant que le marché global des cryptomonnaies est peu ou non-corrélé aux actifs traditionnels.

Tout d'abord, il est intéressant de noter que les cryptomonnaies sont corrélées avec 6 actifs sur 9 contrairement à l'étude de Brier & al. (0 actif corrélé avec un seuil de significativité de 5% et 2 avec un seuil à 10%) où ce test était effectué sur le Bitcoin.

Ensuite, en analysant les coefficients de corrélation ayant été définis comme significatifs dans notre test, nous remarquons que ceux-ci sont généralement faibles comparativement aux autres actifs. En effet, le coefficient de corrélation de l'indice de cryptomonnaies avec les autres actifs est compris entre 0.06 et 0.30 tandis que, par exemple : l'or est entre 0.21 et 0.49, le MSCI World entre 0.17 et 0.84, le MSCI Emerging entre 0.23 et 0.61, le taux de change avec le yen japonais de 0.17 à 0.52 et l'immobilier de 0.20 à 0.84. Cela permet de nuancer notre réponse au test de significativité de la corrélation entre les variables, même s'il y a généralement une corrélation avec les différentes variables étudiées, celle-ci est globalement plus faible avec les cryptomonnaies qu'avec les autres actifs traditionnels.

Il faut également noter que le pétrole est l'actif le moins corrélé aux autres variables (seulement les MSCI World et le MSCI Emerging). Ceci s'explique également par les différentes crises qui ont touché le marché du pétrole lors de la période étudiée comme expliqué dans notre analyse descriptive ci-dessous. Lors de cette période, le comportement de cet actif a fortement dévié de son comportement traditionnel, ce qui peut fausser les résultats pour celui-ci.

En conclusion, ce test nous a permis de confirmer l'hypothèse émise quant au marché des cryptomonnaies et sa corrélation avec les autres actifs. Cependant, contrairement à notre intuition due à notre revue littéraire, le marché global des cryptomonnaies est généralement corrélé aux autres actifs étudiés même si cette corrélation est globalement plus faible que celle des autres actifs entre eux. Cette différence peut potentiellement s'expliquer par la remarque mentionnée par Brière et al. quant à leur analyse ne portant que sur un marché haussier et l'évolution potentielle des corrélations en temps de crise. En effet, comme discuté lors de l'analyse des prix historiques, le marché des cryptomonnaies a fait face à 2 crises majeures lors de la période étudiée dans le cadre de ce travail. De plus, cette différence peut également être interprétée par le fait d'avoir comparé le marché global des cryptomonnaies et non des crypto-devises de façon indépendante.

3.4 Analyse de performance

3.4.1 Construction des portefeuilles d'investissements

3.4.1.1 Portefeuille équilibré

Premièrement nous construisons 2 portefeuilles équilibrés avec et sans notre indice de cryptomonnaies. Bien que la pertinence des portefeuilles équilibrés soit discutable dans le contexte de classes d'actifs aussi diverses, l'exercice est simple et intuitif (Brière, Oosterlinck, & Szafarz, 2015) et nous permettra de proposer un portefeuille de référence quant aux conclusions tirées avec le portefeuille efficient de Markowitz :

Portfolio	Gold	Oil	MSCI World	MSCI emerging	S&P Dev Gov Bond Index	IShares Global Corporate Bonds	EUR	JPY	Real Estate	Crypto
Portfolio without Crypto	11.11%	11.11%	11.11%	11.11%	11.11%	11.11%	11.11%	11.11%	11.11%	NA
Portfolio with Crypto	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%

Tableau 4 : Portefeuille équilibré, poids des actifs

3.4.1.2 Portefeuille efficient de Markowitz

Dans cette section nous allons analyser les différentes pondérations d'actifs dans nos 2 portefeuilles construit selon la théorie du portefeuille efficient de Markowitz.

Tout d'abord, vous pourrez retrouver ci-dessous les différentes pondérations ayant été utilisées tout au long de l'analyse de performance du portefeuille incluant les cryptomonnaies (en rouge les actifs n'étant pas représentés dans le portefeuille et en vert l'actif le plus représenté pour la période d'investissement correspondante) :

Période d'investissement	Gold	Oil	MSCI World	MSCI Emerging	S&P Dev Gov Bond Index	IShares Global corporate bonds	EUR	JPY	Real Estate	Crypto
1	4%	1%	3%	0%	78%	7%	0%	0%	0%	7%
2	69%	6%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%
3	3%	2%	0%	0%	78%	0%	0%	0%	0%	17%
4	0%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	33%	17%
5	0%	72%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	13%	15%
6	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tableau 5: Pondération des actifs en fonction de la période d'investissement du portefeuille efficient de Markowitz incluant les cryptomonnaies

Ensuite, vous pourrez retrouver ci-dessous les différentes pondérations ayant été utilisées tout au long de l'analyse de performance du portefeuille n'incluant pas les cryptomonnaies :

Période d'investissement	Gold	Oil	MSCI World	MSCI Emerging	S&P Dev Gov Bond Index	Ishares Global corporate bonds	EUR	JPY	Real Estate
1	13%	1%	4%	4%	78%	0%	0%	0%	0%
2	71%	7%	15%	8%	0%	0%	0%	0%	0%
3	12%	3%	17%	0%	67%	0%	0%	0%	0%
4	2%	52%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	46%
5	0%	71%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	29%
6	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tableau 6 : Pondération des actifs en fonction de la période d'investissement du portefeuille efficient de Markowitz n'incluant pas les cryptomonnaies

D'un point de vue de l'allocation des actifs dans les 2 portefeuilles efficient, nous pouvons remarquer plusieurs similitudes :

- Les actifs les plus représentés dans les 2 portefeuilles, respectivement pour chaque période d'investissement, sont les mêmes.
- En raison de leurs caractéristiques de rendement et de volatilité historique, les investissements sur les devises monétaires étrangères considérées, c'est-à-dire les investissements en EUR ainsi qu'en JPY ne sont jamais inclus dans les portefeuilles d'investissement.
- Dans les 2 portefeuilles d'investissement, le pétrole est de plus en plus présent. Cela peut s'expliquer par les rendements historiques des autres actifs qui sont, au fur et à mesure de l'avancement dans les périodes, moins performant que le taux sans risque. D'ailleurs, il est intéressant de noter que lors de la période 6, les rendements historiques moyens de tous les actifs à l'exception du pétrole sont moindres que le taux sans risque (c'est pourquoi le portefeuille est exclusivement composé de pétrole).
- Concernant les cryptomonnaies, on remarque une forte présence dans les portefeuilles allant de la période 1 à 5 (entre 7% et 20%) comparativement aux autres actifs. Néanmoins, cet actif n'est jamais le plus représenté et c'est probablement dû à sa volatilité élevée.

3.4.2 Indicateurs de performance

3.4.2.1 Valeur totale des portefeuilles

Vous pouvez retrouver dans le tableau¹⁴ suivant les résultats de notre étude concernant la valeur totale des différents portefeuilles d'investissements par période d'investissement :

Date	Markowitz with crypto	Return of the investment period	Markowitz without crypto	Return of the investment period	Equally weighted with crypto	Return of the investment period	Equally weighted without crypto	Return of the investment period
04-12-20	100000.00		100000.00		100000.00		100000.00	
04-06-21	110687.46	11%	100071.51	0%	124567.77	25%	109903.59	10%
03-12-21	116192.23	5%	95266.00	-5%	127377.16	2%	107285.29	-2%
03-06-22	98833.93	-15%	90771.29	-5%	121813.18	-4%	108711.29	1%
02-12-22	73760.70	-25%	71572.27	-21%	109890.74	-10%	101173.10	-7%
02-06-23	72653.23	-2%	66068.78	-8%	114546.03	4%	101266.99	0%
01-12-23	74617.38	3%	67854.92	3%	119588.39	4%	103060.42	2%

Tableau 7 : Valeur totale des différents portefeuilles d'investissement par période et les rendements associés

Nous pouvons voir dans le tableau ci-dessus que les portefeuilles incluant les cryptomonnaies, que ce soit le portefeuille efficient de Markowitz ou le portefeuille équilibré, représentant notre portefeuille de référence, surperforment durant toute la période d'investissement, en terme de valeur totale, les portefeuilles uniquement composés d'actifs traditionnels. Nous obtenons donc des résultats similaires à l'étude de Petukhina et al. Nous pouvons donc confirmer cette hypothèse pour la période étudiée.

Cependant, ce résultat peut être nuancé en prenant en compte les prix historiques des cryptomonnaies qui, au début de la période d'investissement, avait une valeur de 1400.08 USD pour atteindre une valeur de 2095.26 USD au 2 juin 2023 (dernière période où les cryptomonnaies sont incluses au portefeuille). Le cours de l'indice des cryptomonnaies a augmenté de 60% durant cette période, ce qui représente la plus forte augmentation comparativement aux autres actifs avec le pétrole qui augmente également de 54%.

Dans ce contexte, il est intéressant de se pencher sur le rendement ajusté au risque afin d'avoir une compréhension plus réaliste de l'intérêt de considérer les cryptomonnaies dans la conception d'un portefeuille d'investissement. Nous allons analyser ce point dans la prochaine section.

¹⁴ En vert les valeurs les plus élevées entre les portefeuilles incluant l'indice de cryptomonnaie et celui ne l'incluant pas.

3.4.2.2 Rendements associés aux risques des portefeuilles

3.4.2.2.1 Ratio de Sharpe

Vous pouvez retrouver dans le tableau¹⁵ suivant les résultats de notre étude concernant le ratio de Sharpe des différents portefeuilles d'investissement par période d'investissement :

Investment Period	Markowitz with crypto	Markowitz without crypto	Equally weighted with crypto	Equally weighted without crypto
Period 1	4.30	0.17	7.18	10.90
Period 2	1.95	-3.06	1.66	-2.48
Period 3	-13.38	-6.16	-2.86	0.95
Period 4	-6.01	-5.86	-4.59	-3.82
Period 5	-0.38	-1.79	2.58	0.00
Period 6	0.72	0.72	4.13	1.39
All Investment Periods	-0.05	-0.09	0.04	-0.01

Tableau 8: Ratio de Sharpe par période d'investissement et par stratégie d'investissement

Nous pouvons voir dans le tableau ci-dessus que les portefeuilles incluant les cryptomonnaies, que ce soit le portefeuille efficient de Markowitz ou le portefeuille équipondéré, surperforment, du point de vue des rendements ajustés au risque, les portefeuilles uniquement composés d'actifs traditionnels. Nous obtenons des résultats différents à ceux obtenus par Petukhina et al. qui n'avaient pas pu confirmer ou infirmer que les portefeuilles incluant les cryptomonnaies obtenaient des rendements ajustés au risque supérieurs aux portefeuilles ne les incluant pas.

Il est intéressant de noter que, si l'on considère chaque période d'investissement séparément, les résultats obtenus varient et que les portefeuilles n'incluant pas les cryptomonnaies peuvent surperformer ceux les incluant. Cependant ces résultats ne considèrent que des périodes de 26 semaines, ce qui est relativement court et rend les résultats beaucoup plus sensibles à l'état du marché durant la période concernée.

De plus, les différences de ratio de Sharpe, entre les 2 types de portefeuilles mentionnées ci-dessus, sont relativement faibles et ne nous permettent pas de confirmer que l'un ou l'autre portefeuille surperforme l'autre portefeuille de manière significative. Afin d'approfondir notre étude sur les rendements ajustés aux risques, nous allons nous intéresser au ratio de Sharpe ajusté dans la section suivante.

¹⁵ En vert les valeurs les plus élevées entre les portefeuilles incluant l'indice de cryptomonnaie et celui ne l'incluant pas.

3.4.2.2.2 Ratio de Sharpe Ajusté

Vous pouvez retrouver dans le tableau¹⁶ suivant les résultats de notre étude concernant ratio de Sharpe ajusté des différents portefeuilles d'investissement par période d'investissement :

Investment Period	Markowitz with crypto	Markowitz without crypto	Equally weighted with crypto	Equally weighted without crypto
Period 1	-13.60	0.16	-31.95	62.63
Period 2	1.73	-3.02	1.62	-2.57
Period 3	-51.14	24.27	-2.42	1.01
Period 4	-10.25	-12.36	-7.67	-5.21
Period 5	-0.38	-1.98	2.57	0.00
Period 6	0.69	0.69	0.44	1.52
All Investment Periods	-0.05	-0.09	0.04	-0.01

Tableau 9 : Ratio de Sharpe ajusté par période d'investissement et par stratégie d'investissement

Concernant le ratio de Sharpe ajusté, nous obtenons des résultats sensiblement identiques au ratio de Sharpe en termes de surperformance d'un portefeuille ou l'autre. En effet, sur toute la durée de l'investissement, les portefeuilles incluant le marché des cryptomonnaies obtiennent un meilleur résultat même si la différence avec ceux n'incluant pas ces cryptomonnaies n'est pas significative.

De plus, en prenant en compte les périodes d'investissement séparément, nous obtenons également des résultats de surperformance pouvant varier d'un type de portefeuille à l'autre. Cependant, comme mentionné pour le Sharpe ratio, les résultats obtenus sur les différentes périodes d'investissement sont à considérer avec prudence dû à la faible quantité de données et à la sensibilité à l'état du marché sur chaque période.

Pour conclure, au vu des résultats obtenus concernant les rendements ajustés aux risques avec le ratio de Sharpe et le ratio de Sharpe ajusté, nous ne pouvons pas statuer sur la surperformance des portefeuilles incluant les cryptomonnaies comparativement à ceux ne les incluant pas. Dès lors nous pouvons confirmer notre hypothèse affirmant que les portefeuilles incluant les cryptomonnaies ne surperforment pas ceux ne les incluant pas en termes de rendements ajustés aux risques.

¹⁶ En vert les valeurs les plus élevées entre les portefeuilles incluant l'indice de cryptomonnaie et celui ne l'incluant pas.

3.4.2.3 Potentiel de diversification des portefeuilles d'investissement

3.4.2.3.1 N effectif

Vous pouvez retrouver dans le tableau¹⁷ suivant les résultats de notre étude concernant le N effectif des différents portefeuilles d'investissement par période d'investissement :

Investment Period	Markowitz with crypto	Markowitz without crypto	Equally weighted with crypto	Equally weighted without crypto
Period 1	1.60	1.58	10.00	9.00
Period 2	1.92	1.87	10.00	9.00
Period 3	1.57	2.02	10.00	9.00
Period 4	2.56	2.07	10.00	9.00
Period 5	1.79	1.70	10.00	9.00
Period 6	1.00	1.00	10.00	9.00
All Investment Periods	1.74	1.71	10.00	9.00

Tableau 10 : N effectif par période d'investissement et par stratégie d'investissement

Tout d'abord, avant d'analyser les résultats de ce test de potentiel de diversification, il est important de noter deux points liés à l'instrument de mesure et aux données utilisées :

- Par définition, le score maximum du N effectif est obtenu avec un portefeuille équi pondéré et est égal au nombre d'actifs présent dans le portefeuille. Dès lors l'analyse proposée pour les portefeuilles équi pondérés ne nous permet pas d'obtenir des informations pertinentes afin de juger du potentiel de diversification du marché des cryptomonnaies ;
- Durant la période 6, le portefeuille efficient de Markowitz incluant les cryptomonnaies et celui ne les incluant pas sont identiques. Dès lors, le résultat obtenu est identique et, vu que seul le pétrole est représenté, le N effectif est égal à 1.

Nous pouvons voir dans le tableau ci-dessus que le portefeuille efficient de Markowitz incluant les cryptomonnaies surperforme, d'un point de vue du N effectif, les portefeuilles uniquement composés d'actifs traditionnels. En prenant chaque période séparément, cette tendance se confirme à l'exception de la période 3.

¹⁷ En vert les valeurs les plus élevées entre les portefeuilles incluant l'indice de cryptomonnaie et celui ne l'incluant pas.

3.4.2.3.2 Ratio de diversification

Vous pouvez retrouver dans le tableau¹⁸ suivant les résultats de notre étude concernant le ratio de diversification des différents portefeuilles d'investissement par période d'investissement :

Investment Period	Markowitz with crypto	Markowitz without crypto	Equally weighted with crypto	Equally weighted without crypto
Period 1	1.42	1.55	1.43	1.69
Period 2	1.33	1.22	1.69	1.55
Period 3	1.58	1.91	1.85	1.89
Period 4	1.32	1.25	1.46	1.35
Period 5	1.35	1.12	1.71	1.69
Period 6	1.00	1.00	2.10	1.51
All Investment Periods	1.33	1.34	1.71	1.61

Tableau 11: Ratio de diversification par période d'investissement et par stratégie d'investissement

D'un point de vue du ratio de diversification, les résultats obtenus sont plus difficiles à interpréter. En effet, que ce soit en regardant chaque période individuellement ou en regardant la moyenne des résultats obtenus, nous obtenons des résultats différents.

Durant la période 1 et 3, les portefeuilles n'incluant pas le marché des cryptomonnaies obtiennent de meilleurs résultats tandis que dans la période 1, 2, 5 et 6¹⁹ ce sont les portefeuilles les incluant qui obtiennent le meilleur résultat.

Cependant, en prenant la moyenne des résultats obtenus, pour les portefeuilles efficients de Markowitz, les résultats sont semblables (1.33 et 1.34). Néanmoins, pour les portefeuilles équipondérés, on voit une légère surperformance du portefeuille incluant les cryptomonnaies. Cette différence de résultat provient principalement de la différence de résultats obtenus en période 6. En effet, en considérant uniquement les 5 premières périodes des portefeuilles équipondérés nous obtenons des résultats similaires (1.63 pour chaque portefeuille).

Dès lors, et au vu des résultats obtenus pour nos 2 indicateurs de performance, nous ne pouvons pas affirmer ou infirmer l'hypothèse 8 considérant que l'inclusion des cryptomonnaies dans un portefeuille permet d'obtenir un meilleur potentiel de diversification.

¹⁸ En vert les valeurs les plus élevées entre les portefeuilles incluant l'indice de cryptomonnaie et celui ne l'incluant pas.

¹⁹ Pour les portefeuilles efficients de Markowitz, le résultat de la période 6 est le même étant donné que la pondération des actifs des portefeuilles est identique.

3.5 Limites de l'étude

3.5.1 Période couverte durant l'étude

Nous avons couvert durant notre étude une période de 5 ans allant du 7 décembre 2018 au 1^{er} décembre 2023 (52 semaines). Cette période a été marquée par des évènements marquants qui ont pu influencer les marchés financiers globaux et donc les prix historiques de nos actifs sélectionnés. Nous avons pu par exemple constater de très fortes différences de corrélation avec les autres actifs ou de statistique descriptive pour le pétrole comparativement à l'étude de Brier & al. datant de 2015 et couvrant une période allant de 2010 à 2013. Cette étude et ses conclusions ne sont donc représentatives que pour la période étudiée.

3.5.2 Marché des cryptomonnaies

Le marché des cryptomonnaies reste un marché immature, avec par exemple le premier bitcoin miné en 2009, et sur lequel nos connaissances ne sont pas encore aussi approfondies comparativement aux autres actifs des marchés financiers. En 2013, il existait aux alentours de 50 cryptomonnaies et actuellement il en existe plus de 10 000. Le marché est clairement nouveau, en expansion, et énormément de biais sont donc associés à cette situation. Ce marché se construit et va encore évoluer dans les prochaines années. Une des limites de ce travail est de s'essayer à l'exercice de décrire le comportement des cryptomonnaies alors que celui-ci est en constante évolution. C'est pourquoi il est important de noter que les conclusions de ce travail ne sont à considérer que sur la période étudiée.

4 Conclusion générale

Lors de notre étude nous avons pu étudier le marché global des cryptomonnaies ainsi que les effets de l'ajout de celui-ci dans un portefeuille d'investissement composé d'actifs traditionnels. Pour ce faire, nous avons divisé notre recherche en 3 axes distincts : une analyse statistique descriptive, une analyse de corrélation et une analyse de performance.

Tout d'abord, nous avons pu vérifier l'hypothèse concernant la rentabilité et la volatilité élevée du marché globale des cryptomonnaies mais aussi, notre seconde hypothèse, affirmant que ses rendements ajustés aux risques sont aussi relativement élevés. Cependant, il est intéressant de noter que le comportement des distributions diffère de ce que nous nous attendions avec une asymétrie (Skewness) négative et des valeurs extrêmes élevées comparativement aux distributions des actifs traditionnels. Cette différence peut venir du fait de la considération globale du marché des cryptomonnaies mais aussi d'une temporalité et conjoncture différentes et donc un comportement différent du marché des cryptomonnaies que dans l'étude de Brière et al.

Du point de vue de l'analyse de corrélation de ce marché avec les autres actifs traditionnels, nous avons été surpris de constater que l'indice de cryptomonnaies avait une corrélation statistique significative avec 6 des 9 autres actifs étudiés. Cependant, les coefficients de corrélation des cryptomonnaies avec les actifs traditionnels restent relativement plus faibles que ceux des actifs traditionnels entre eux. Dès lors, ce test, même si les résultats diffèrent légèrement de ce que nous attendions, nous permet de confirmer notre hypothèse quant à la faible corrélation du marché des cryptomonnaies avec les autres marchés traditionnels et ce même en temps de crise.

D'un point de vue performance, la valeur totale des portefeuilles d'investissement a été supérieure pour ceux incluant les cryptomonnaies mais les rendements ajustés aux risques ont été sensiblement similaires par rapport à ceux obtenus avec les portefeuilles composés d'actifs traditionnels. Dès lors, les résultats obtenus dans notre étude convergent vers ceux obtenus par Petukhina et al. avec une valeur totale supérieure pour les portefeuilles incluant les cryptomonnaies et des rendements ajustés aux risques qui ne surperforment pas les portefeuilles traditionnels.

Finalement, une des différences notables de notre étude avec les hypothèses formulées à la suite de notre revue de littérature concerne le potentiel de diversification. En effet, nous n'avons pas pu confirmer que l'ajout de cryptomonnaies permettait d'obtenir un potentiel de diversification supérieur dans nos investissements.

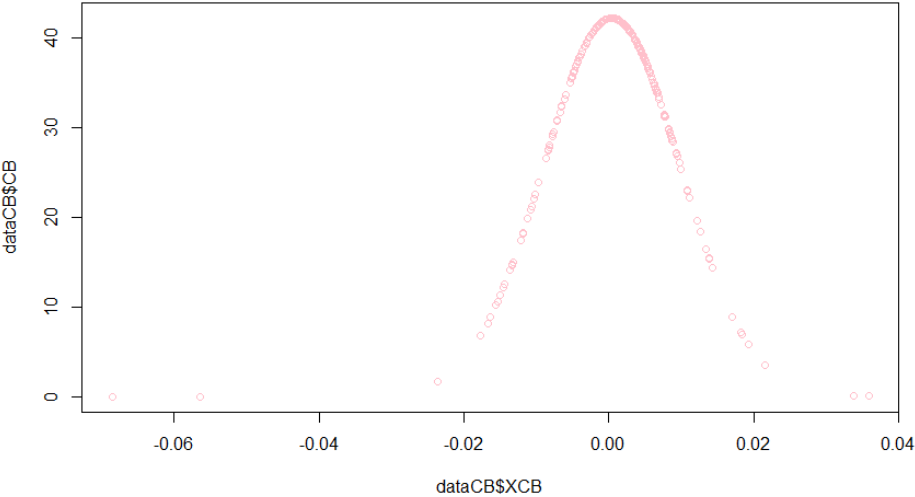
5 Bibliographie

- Banque Centrale Européenne. (2012). *Virtual Currency Schemes*. Récupéré sur <http://www.ecb.int/pub/pdf/other/virtualcurrencyschemes201210en.pdf>
- Brière, M., Oosterlinck, K., & Szafarz, A. (2015). Virtual Currency, Tangible Return : Portfolio Diversification with Bitcoin. *Journal of Asset Management*, 365-373.
- Chaum, D. (1982). *Blind Signature for Untreacable Payments*. Santa Barbara: University of California.
- Choueifaty, Y., Froidure, T., & Reyner, J. (2011). Properties of the most diversified portfolio. *Journal of Investment Strategies* 2, 49-70.
- CoinMarketCap. (2024, 1 10). *Live cryptocurrency charts & market data*. Récupéré sur CoinMarketCap: <https://coinmarketcap.com/charts/>
- Frehen, R., Goetzmann W.N., & Rouwenhorst K.G. (2013). New Evidence of the First Financial Bubble. *Journal of financial Economics* 108, 585-607.
- Goetzmann, W., Li, L., & Rouwenhorst, K. (2005). Long-Term Global Market Correlations. *Journal of Business* 78, 1-38.
- Härdle, W., & Simar, L. (2015). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Springer.
- Jorion, P. (1985). International portfolio diversification with estimation risk. *Journal of Business* 58, 259-278.
- Kan, R., & Zhou, G. (2007). Optimal portfolio choice with parameter uncertainty. *Journal of Financial and Quantitative Analysis* 42, 621-656.
- Nakamoto, S. (2008, Octobre 31). Bitcoin : A Peer-to-Peer Electronic Cash System.
- Petukhina, A., Trimborn, S., Elendner, H., & Härdle, W. (2020). *Investing with Cryptocurrencies - evaluating their potential for portfolio allocation strategies*.
- Simaan, Y. (1997). Estimation risk in portfolio selection: The mean variance model versus the mean absolute deviation model. *Management Science* 43 , 1437-1446.
- Street Authority. (2017, décembre 29). *Is Bitcoin A Bubble?* Récupéré sur Nasdaq: <https://www.nasdaq.com/articles/bitcoin-bubble-2017-12-29>
- Strongin, S., Petsch, M., & Sharenow, G. (2000). Beating benchmarks. *The Journal of Portfolio Management* 26, 11-27.
- Watorek, M., Drozd, S., Kwapien, J., Minati, L., Oswiecimka, P., & Stanuszek, M. (2021). *Multiscale characteristics of the emerging global*. Physics Report.

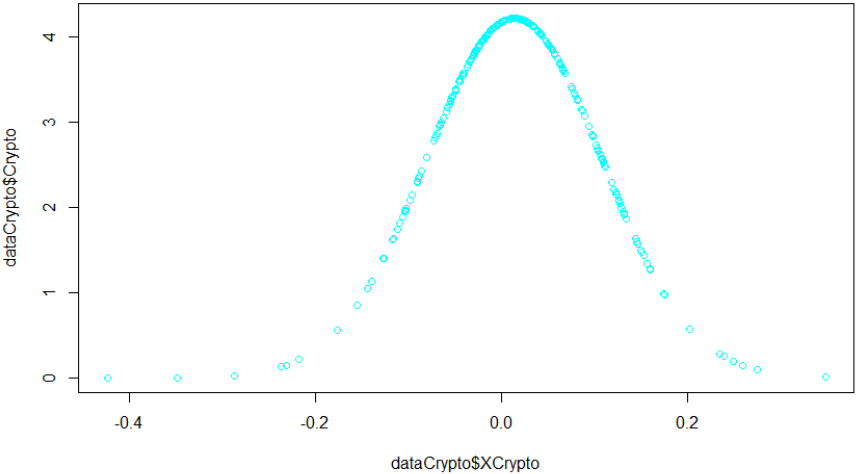
6 Annexe

6.1 Annexe I

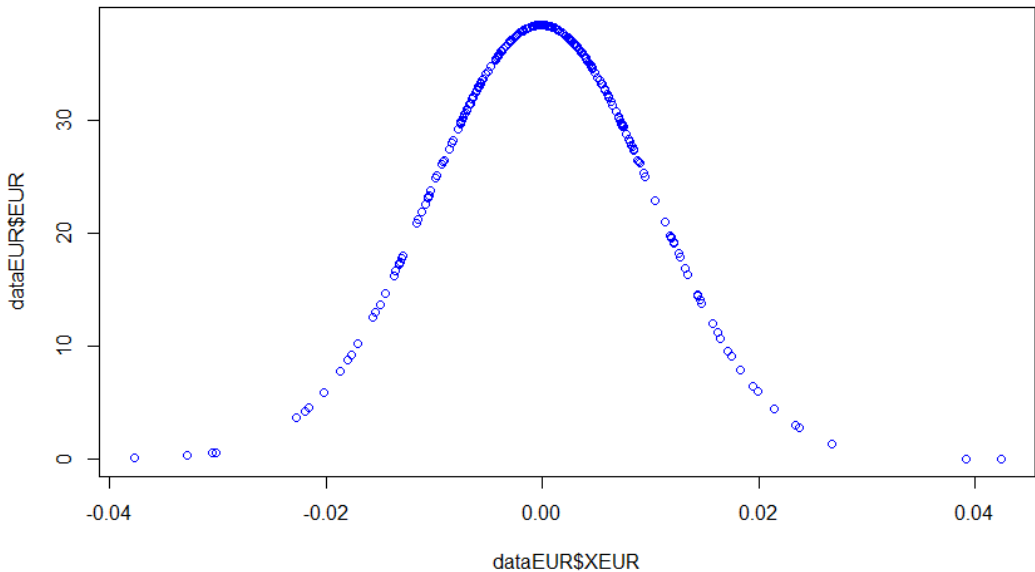
6.1.1 Distribution S&P Global Developed Sovereign Bond Index



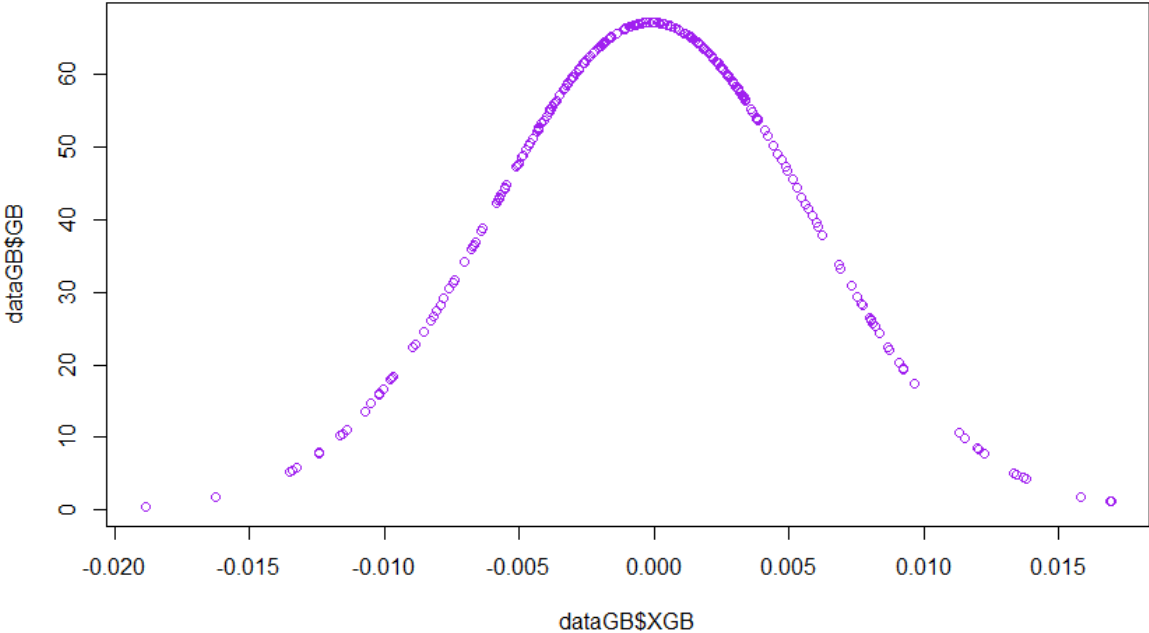
6.1.2 Distribution S&P Cryptocurrency Broad Digital Market Index



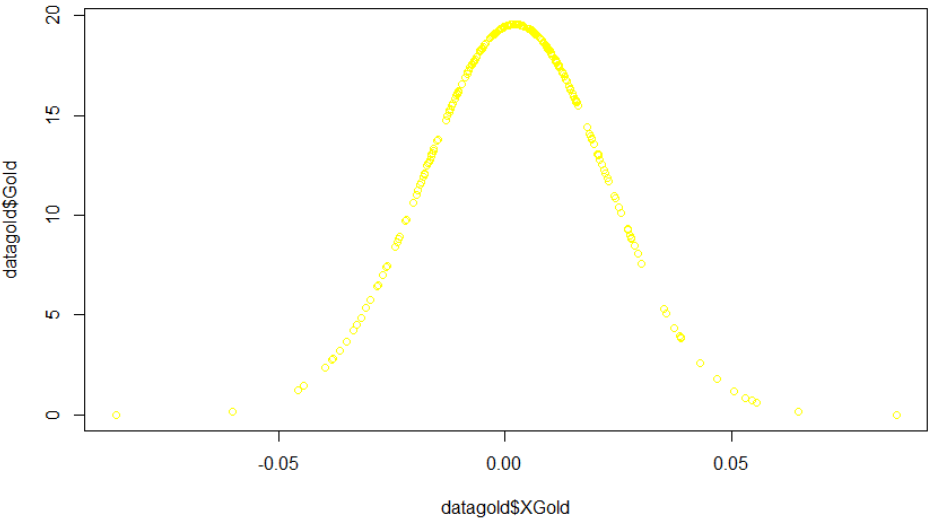
6.1.3 Distribution EURO



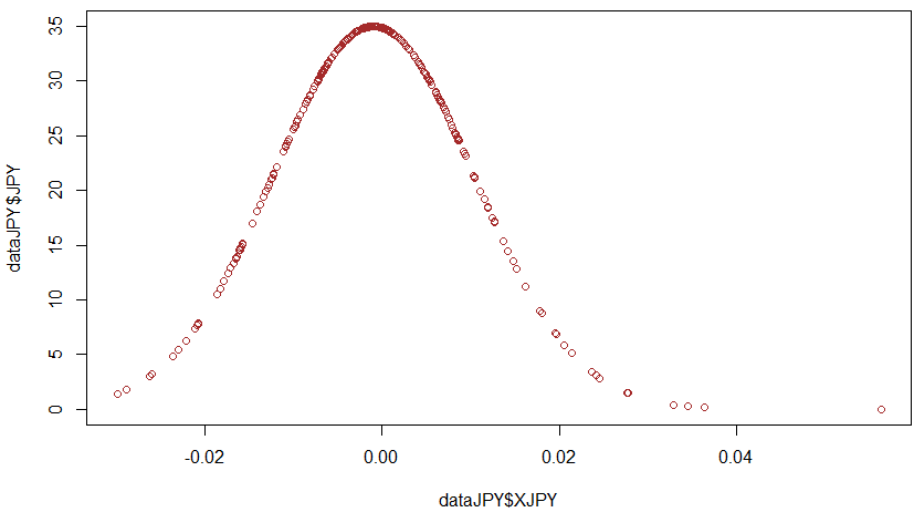
6.1.4 Distribution iShares Global Corp Bond UCITS ETF USD Hedged (Acc)



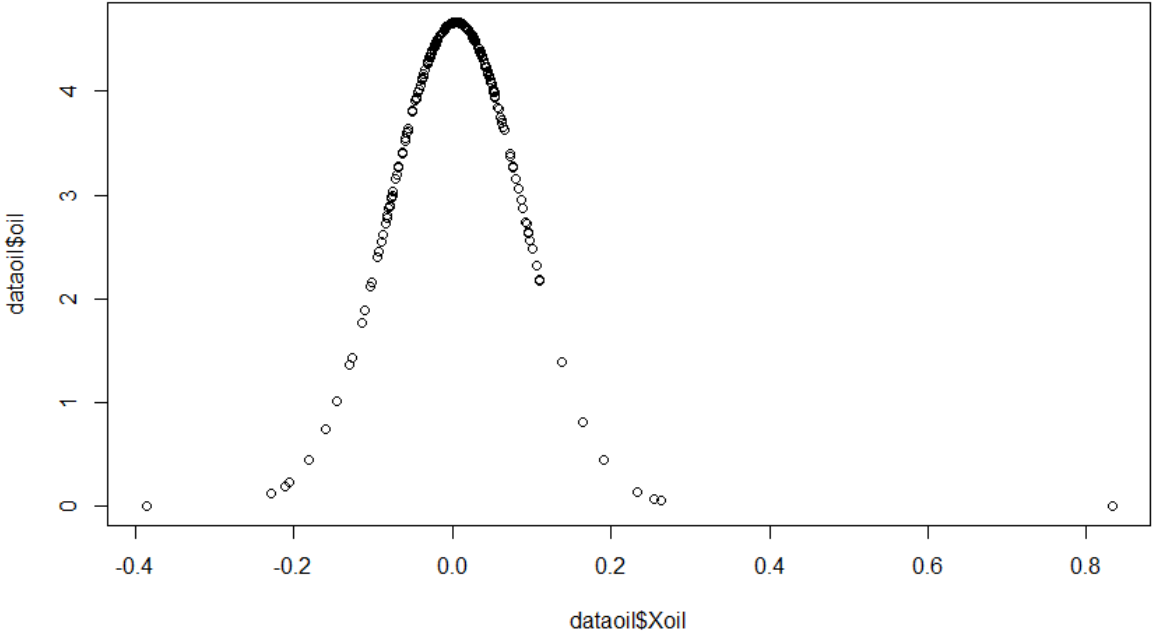
6.1.5 Distribution Gold



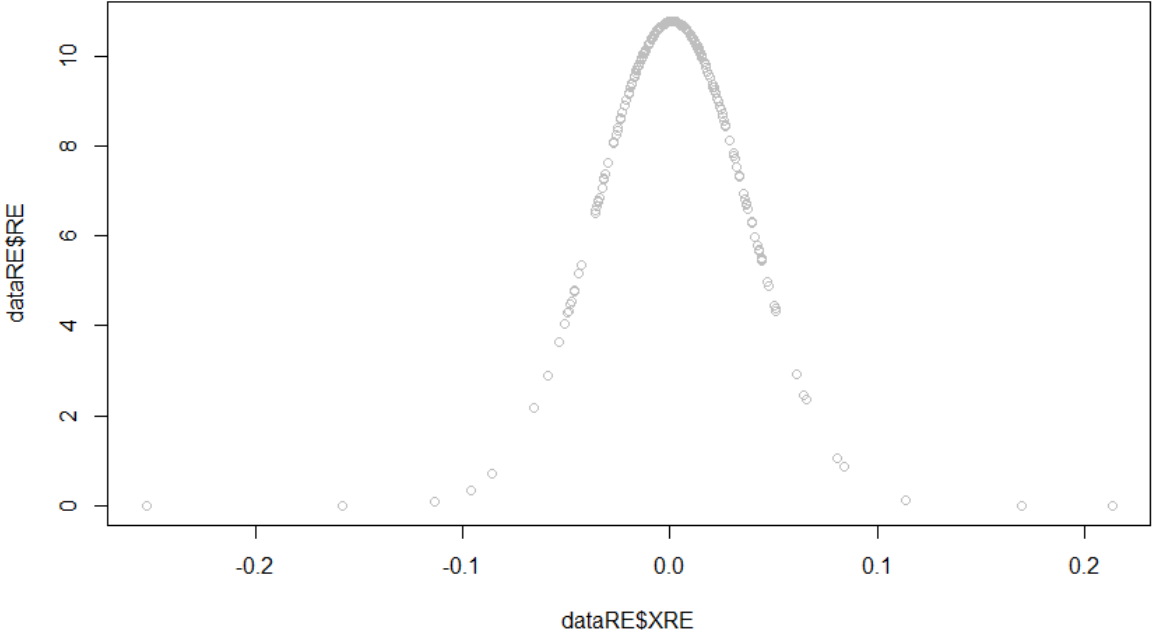
6.1.6 Distribution JPY



6.1.9 Distribution Oil



6.1.10 Distribution FTSE EPRA Nareit Global REITs Index (ENGX)



UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Louvain School of Management

Chaussée de Binche 151, 7000 Mons, Belgique | www.uclouvain.be/lsm