

h e g

Haute école de gestion
Genève

Les cryptoactifs sont-ils une classe d'actifs à part entière ?

**Travail de Bachelor réalisé en vue de l'obtention du
Bachelor HES**

par :

Julien Cabrespines

Conseiller au travail de Bachelor :

Frédéric Ruiz

Genève, 08.07.2023

Haute École de Gestion de Genève (HEG-GE)

Économie d'entreprise

Déclaration

Ce travail de Bachelor est réalisé dans le cadre de l'examen final de la Haute école de gestion de Genève, en vue de l'obtention du titre de Bachelor of Science en économie d'entreprise.

L'étudiant-e a envoyé ce document par courrier électronique à l'adresse d'analyse remise par son ou sa conseiller-ère au travail de Bachelor pour analyse par le logiciel de détection de plagiat préconisé par la filière.

L'étudiant-e atteste avoir réalisé seul-e le présent travail, sans avoir utilisé des sources autres que celles citées dans la bibliographie. Il ou elle atteste par ailleurs que le travail rendu est le fruit de sa réflexion personnelle et a été rédigé de manière autonome.

L'étudiant-e accepte, le cas échéant, la clause de confidentialité. L'utilisation des conclusions et recommandations formulées dans le travail de Bachelor, sans préjuger de leur valeur, n'engage ni la responsabilité de l'auteur-e, ni celle du ou de la conseiller-ère au travail de Bachelor, celle du juré-e ou celle de la HEG.

Remerciements

C'est avec une grande fierté et le sentiment d'avoir accompli une grande ambition que je mets un point final à cette aventure qui a duré quatre ans.

Durant toute la durée de mes études, mon employeur, UBS, m'a donné la flexibilité et le soutien nécessaire à mon succès. Bien que travaillant à temps partiel, j'ai pu évoluer dans ma carrière et saisir de belles opportunités. En ce sens, je souhaite exprimer ma très vive reconnaissance à son égard.

Aussi, rien n'aurait été possible sans ma compagne et future épouse qui m'a épaulé, supporté (dans tous les sens du terme) et permis d'avoir le temps nécessaire pour étudier tout au long de ces quatre longues années. Elle m'a donné la possibilité réussir à la hauteur de mes ambitions, jamais trop hautes pour elle.

Je souhaite adresser mes plus sincères remerciements au Professeur François Duc. Son cours d'Asset management sur le logiciel R m'a donné l'occasion de produire un travail plus complet que je n'imaginai. Aussi, je tiens à remercier chaleureusement Mr. Frédéric Ruiz qui m'a aiguillé tout le long de cette étude.

Résumé

Ce travail passe en revue les caractéristiques des crypto actifs, ainsi que leurs différences par rapport aux actifs traditionnels. Il donne un aperçu des différents types de crypto actifs connus à ce jour.

Y sont développées les caractéristiques qualitatives et quantitatives des cryptoactifs importantes du point de vue d'un investisseur quant à l'introduction de telles positions dans son portefeuille. Il met en exergue les risques auxquels il s'expose mais aussi les bénéfices qu'il pourrait retirer d'une exposition à ces actifs relativement nouveaux.

Des optimisations de portefeuille ainsi que des allocations aléatoires y sont réalisées afin d'avoir un point de vue pratique sur l'intégration de ces actifs parmi d'autres. Le rendement ajusté au risque, la volatilité et les potentiels de perte sont analysés afin de dégager des recommandations quant à l'adéquation des portefeuilles obtenus avec les attentes des investisseurs.

Table des matières

Déclaration	i
Remerciements	ii
Résumé	iii
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vi
1. Introduction au travail	1
1 Définitions préliminaires	3
1.1 Actifs traditionnels et alternatifs	3
1.2 Études existantes traitant des cryptos actifs	5
2 Types d'actifs décentralisés	7
2.1 Crypto-monnaies	7
2.1.1 Crypto monnaies de première et seconde génération	7
2.1.2 Stable coins	8
2.2 Caractéristiques d'une monnaie, mise en parallèle	10
2.3 Tokens	11
2.3.1 Asset backed tokens	11
2.3.2 Security & equity tokens	11
2.3.3 Utility tokens	12
3 Opportunités et écueils pour les investisseurs	13
3.1 Opportunités apportées par l'investissement en crypto-actifs	13
3.1.1 Exposition à la technologie	13
3.1.2 Participation à la performance	13
3.2 Risques	14
3.2.1 « Scams » et risques de marché	14
3.2.2 Dépositaires	15
4 Simulations de portefeuilles	16
4.1 Méthodologie et obtention des données	16
4.1.1 Crypto-monnaies	16
4.1.2 Actifs de référence, matières premières et actifs sans risque	17
4.1.3 Indicateurs	18
4.2 Exposé des données	19
4.2.1 Actions	19
4.2.2 Actif sans risques (liquidités)	21
4.2.3 Actifs alternatifs	22
4.2.4 Obligations	23
4.2.5 Crypto-monnaies	25
4.3 Portefeuilles	27

4.3.1	Minimum variance et frontière efficiente	27
4.3.2	Réduction de la variance et des drawdowns.....	29
4.3.3	Amélioration du ratio de Sharpe via une stratégie « long only »	31
4.3.4	Exploitation des tendances « Bull » et « Bear » via une stratégie long/short	33
4.4	Synthèses des résultats des simulations	35
5	Conclusions	36
	Bibliographie.....	37
	Annexe 1 : Code R pour les actifs classiques et simulations de portefeuilles sur base de 252 jours	41
	Annexe 2 : Code R pour les cryptomonnaies sur base de 360 jours	51

Liste des tableaux

Tableau 1: Types d'actifs traditionnels et caractéristiques	3
Tableau 2: Capitalisation des Stable coins adossés à des monnaies (Marché des Stable coins)	8
Tableau 3: Formules utilisées	18
Tableau 4: Périodes de marché haussier et baissier	20
Tableau 5: Performances du SP500 TR par période	20
Tableau 6: Volatilité et ratios de sharpe par période du SP500	21
Tableau 7: Volatilité et ratios de sharpe par période de l'indice obligataire	24
Tableau 8: Profil rendement/ risques des différentes crypto-monnaies de janvier 2018 à décembre 2022	25
Tableau 9: Pondérations du portefeuille avec la volatilité minimum	28
Tableau 10: Pondérations du portefeuille tangent	28
Tableau 11: Poids de l'indice action et cryptomonnaies avec une variance minimisée (positions long)	30
Tableau 12: Les 5 portefeuilles avec les max drawdowns les moins élevés (positions long)	31
Tableau 13: Les 5 portefeuilles avec les ratios de Sharpe les plus élevés (positions long) ..	32

Liste des figures

Figure 1: Facteurs négatifs des crypto-monnaies	5
Figure 2: Performance cumulée et drawdowns du Bitcoin depuis novembre 2017	6
Figure 3: Parts de marché des crypto monnaies (Capitalisation)	7
Figure 4: Volatilité glissante sur un mois du BTC et ETH (bleu) vs S&P500 (orange)	8
Figure 5: L'effondrement de TerraUSD	9
Figure 6: D'actif vers asset backed token	11
Figure 7: Nombre d'utilisateurs de cryptoactifs	14
Figure 8: Prix du Bitcoin et pertes des investisseurs retail	15
Figure 9: Premières performances quotidiennes des crypto monnaies	17
Figure 10: Performances cumulées et drawdowns du SP500 (Total return) de 2018 à 2022	19
Figure 11: rendement sur les obligations du trésor Américain (« Treasury Securities ») à un mois, à maturité constante	22
Figure 12: Performance cumulée de l'or et du pétrole sur la période	22
Figure 13: Prix d'une obligation émise à 99.66% par Alphabet (Google) en aout 2020 maturant en aout 2027	23
Figure 14: Performances cumulées et drawdowns du Bloomberg US Aggregate Bond Index	24
Figure 15: Corrélations des performances des crypto-monnaies entre elles	26
Figure 16: Coefficients de corrélation entre les cryptomonnaies et le SP500.	27
Figure 17: Portefeuille minimum variance, frontière efficiente et portefeuille tangent	29
Figure 18: Profils risques rendements des portefeuilles maximisant le ratio de Sharpe	33
Figure 19: Poids optimaux des périodes Bull	34

1. Introduction au travail

C'est en octobre 2008 qu'est publié le premier « livre blanc du Bitcoin », jetant les premières bases (Nakamoto 2008) de ce qui deviendra quelques mois plus tard la crypto-monnaie homonyme, première de son genre. Pourtant, cette idée de décentralisation de la monnaie trouve déjà ses sources dans les travaux de Friedrich Hayek en 1976 avec son ouvrage « Denationalisation of Money » (Friedrich Hayek, The Institute of Economic Affairs 1976). S'en suivent le lancement du Ripple en 2013, du premier NFT en 2014 (Cascone 2021) et de l'Ethereum en 2015. De 66 crypto monnaies en 2013, 8'685 sont maintenant disponibles sur le marché (*Number of cryptocurrencies 2013-2023* 2023).

Cependant, les crypto-actifs ne se résument pas aux seules monnaies décentralisées. En effet, nous pouvons distinguer plusieurs catégories supplémentaires, dont les caractéristiques seront développées dans la suite de cette étude.

Cet univers est en constante évolution avec de nouvelles mutations, marchés et régulations à venir. Au-delà des questions autour du caractère innovant et potentiellement disruptif de ces actifs, il s'agit de déterminer dans quelle mesure ceux-ci peuvent être inclus dans le portefeuille d'un investisseur. Sur ce point, on observe une polarisation notable des prises de position : Des grandes banques comme UBS refusent d'inclure les crypto-monnaies dans leur univers d'investissement (UBS Editorial Team 2022) alors que des gérants d'actifs suisses ont fait de la gestion de cryptoactifs leur spécialité.

En conséquence de quoi, nous tenterons dans le cadre de ce travail de répondre à la problématique :

Pourquoi intégrer des cryptos actifs dans un portefeuille d'investissements diversifié au même titre que des actifs traditionnels ?

Pour cela, il est primordial d'aborder en premier lieu les caractéristiques qualitatives des crypto actifs. Ainsi, seront définis :

- Les grandes catégories d'actifs
- Les études existantes sur le sujet traité
- Les types de crypto actifs et leurs caractéristiques
- Les opportunités et écueils pour les investisseurs

Tout au long de cette partie, les différences entre les cryptoactifs et les actifs dits « traditionnels » seront mises en évidence. Ceci afin que le lecteur puisse avoir une compréhension simple de leur intégration dans un processus d'investissement.

D'un point de vue méthodologique, nous utiliserons autant que faire se peut des plateformes disponibles via l'intranet de la HEG comme Statista et Proquest. Il ne sera fait appel à des sources publiques que quand celles-ci sont de bonne renommée et pertinentes. Aussi, il est à noter que le nombre de publications traitant de ce sujet est important et que celui-ci peut être particulièrement polarisant. De ce fait, un travail de sélection important a été fait afin d'apporter une information la plus factuelle possible.

Cette exploration initiale servira de base à la partie centrale de ce travail, qui est une expérimentation quantitative. Dans un premier temps, des données publiques de performance seront agrégées depuis Yahoo Finance ou Factset. Celles-ci concerneront aussi bien des actifs dits « traditionnels », « alternatifs » ou cryptoactifs. Il est à préciser que pour des raisons de disponibilité des données, seules les crypto-monnaies seront intégrées dans cette agrégation. En effet, il est très difficile, voire impossible d'obtenir des données de performance sur les autres types de cryptoactifs.

Subséquentement, il s'agira de tester des portefeuilles composés des deux « types » d'actifs, en incluant également des actifs « alternatifs ». Pour ces derniers, une sélection sera faite en fonction des données de performance disponibles. Aussi, il est entendu par actif traditionnel les 3 actifs historiques que sont les actions, les obligations et la liquidité (Marché monétaire). Des allocations successives seront faites afin de voir si l'ajout de crypto-monnaies dans un portefeuille permet une amélioration des critères suivants :

- La volatilité
- La performance
- La performance ajustée au risque
- L'ajustement du maximum drawdown

Une sélection de portefeuilles sera faite avec une analyse de ces derniers et une synthèse des résultats.

Pour se faire, le logiciel R Studio sera utilisé, ainsi que Microsoft® Excel. La procédure d'expérimentation, et les formules employées seront indiquées à chaque étape du test.

1 Définitions préliminaires

1.1 Actifs traditionnels et alternatifs

Selon Eurostat,

« Les actifs financiers constituent des réserves de valeur dont la détention ou l'utilisation procure à son propriétaire économique un avantage ou des séries d'avantages pendant une période de temps. » (Eurostat 2013)

Il est communément admis que les 3 grandes classes d'actifs traditionnels sont :

- Les actions cotées en bourse
- Les obligations
- La liquidité ou équivalent

Le tableau 1 en résume les principales caractéristiques. Celui-ci se voulant généraliste, des spécificités n'y étant pas citées peuvent exister pour chaque type d'actifs.

Tableau 1: Types d'actifs traditionnels et caractéristiques

	Actions	Obligations	Liquidités
Sous-jacent investi	Le capital d'une société cotée. On en devient actionnaire avec les droits associés.	La dette d'une société, un gouvernement ou une autre entité	Comptes en banques, marché monétaire et autres titres à court terme (<1 an)
Retour sur investissement	Des dividendes peuvent être versés (non garanti) ou/et une croissance de la valeur est attendue.	Des flux de revenus réguliers sont versés (coupons) avec une valeur nominale dont le remboursement est promis par l'émetteur.	Intérêts versés. Offre des perspectives de rendement potentielles modestes.
Risque	Haut. La valeur totale de l'action est « at risk ».	De faible à élevé, en fonction du risque de défaut de l'émetteur et la structure de la dette.	Le plus faible. Risque de perte de valeur réelle en cas d'inflation.
Liquidité	Généralement élevée.	Moyenne à faible en fonction de l'obligation. La plupart des obligations s'échangent de gré à gré.	La plus élevée. Peut être liquidé immédiatement ou dans tous les cas en moins d'un an.

D'une manière générale, les investissements alternatifs sont des actifs autres que ceux évoqués précédemment, et ne relevant pas de produits financiers dérivés ou structurés.

Selon le plus grand gestionnaire d'actifs au monde, Blackrock (*What are alternative investments?* | *Alternatives 2021*), il y a deux grandes familles d'investissements alternatifs :

- Les actifs privés tels que le capital-investissement, le crédit privé, les infrastructures et l'immobilier. Ce sont des actifs généralement très peu liquides.
- Les hedge funds, opérant majoritairement sur les marchés cotés mais en utilisant des outils non conventionnels. Leur liquidité peut être plus élevée que la catégorie précédente.

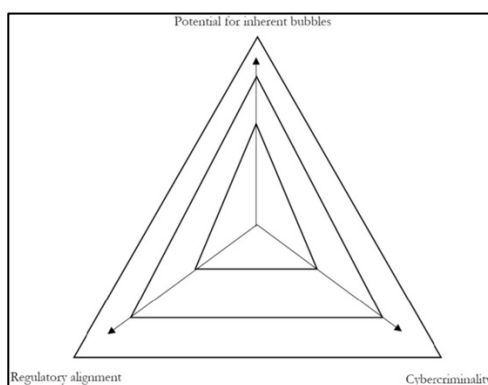
À ceux-ci nous pouvons également ajouter les matières premières et métaux précieux. Il est à noter que selon les sources consultées, les actifs numériques peuvent être considérés comme appartenant à la classe « alternatifs ». Dans le cadre de ce travail, et pour des raisons de clarté, ceux-ci seront traités en dehors de cette catégorie.

1.2 Études existantes traitant des cryptos actifs

Nombre d'études existantes traitent du sujet. Cependant, il existe une véritable polarisation des institutions en fonction de l'intérêt que ces dernières trouvent dans le développement des cryptoactifs. Il s'agit donc de sélectionner des sources factuelles, apportant un regard critique mais ouvert sur la question. Dans cette optique, nous avons sélectionné trois publications.

La première étude, *Cryptocurrencies as a financial asset: A systematic analysis* (Corbet et al. 2019), nous permet d'avoir une revue des différentes publications et sujets traitant des crypto-monnaies depuis 2009. Il y est mis en exergue un trois facteurs négatifs, influençant la perception de ces dernières comme une classe d'actif crédible auprès des investisseurs (Figure 1).

Figure 1: Facteurs négatifs des crypto-monnaies



(Corbet et al. 2019)

Au moment où cette revue a été réalisée (2019), 75% des sujets d'investigations relevés ciblaient le Bitcoin.

La deuxième étude a été publiée en 2023 par le CFA Institute (Stephen Dean, CFA, Olivier Fines, CFA 2023). Partant du principe que les cryptos actifs peuvent intéresser les investisseurs, Il vise à informer ces derniers et à formuler des recommandations à leur égard. Celui-ci se concentre particulièrement sur les aspects réglementaires et les faiblesses en découlant. Pour les auteurs, un cadre juridique et réglementaire fort est maintenant indispensable pour que les crypto-actifs deviennent des actifs majeurs.

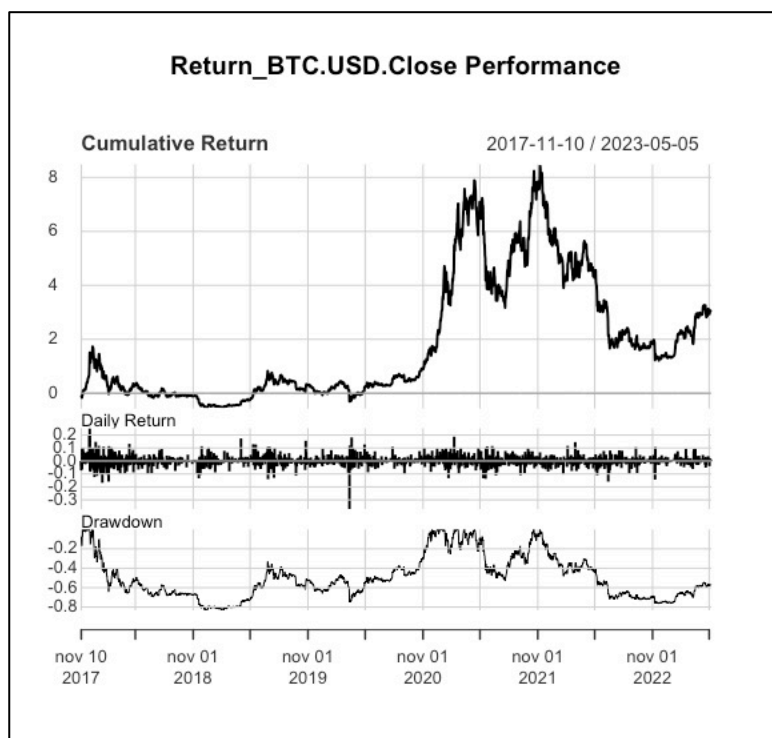
Enfin l'article « Assessment of cryptocurrencies as an asset class by their characteristics » (Ankenbrand, Bieri 2018) s'intéresse à la présence ou non de caractéristiques communes des crypto-monnaies avec les obligations, les actions, les matières premières ou les monnaies. Cette étude publiée en 2017 conclue à l'unicité de ces dernières, apportant des opportunités de diversification et de rendement dans le cadre d'un portefeuille diversifié.

L'étude juge que les crypto-monnaies remplissent les conditions énoncées par Markowitz (Markowitz, H 1959) :

- Agrégation stable
- Possible d'investir (« Investable ») dans la classe d'actif
- Homogénéité interne au sein de la classe d'actifs
- Hétérogénéité externe avec les autres classes d'actifs
- Utilité prévue de la classe d'actif
- Accès à moindre coût

Cependant, cette dernière ne prend pas en compte des événements plus récents comme la chute de Terra et Luna, le crash du Bitcoin après le mois de novembre 2021 (Sigalos 2022), ou la faillite de FTX cette même année (Huang 2022).

Figure 2: Performance cumulée et drawdowns du Bitcoin depuis novembre 2017



Ainsi, il serait judicieux de savoir si les mêmes conclusions peuvent être apportées en prenant en compte les données des 5 dernières années ainsi que d'autres crypto-monnaies que celles étudiées dans les études précédemment citées.

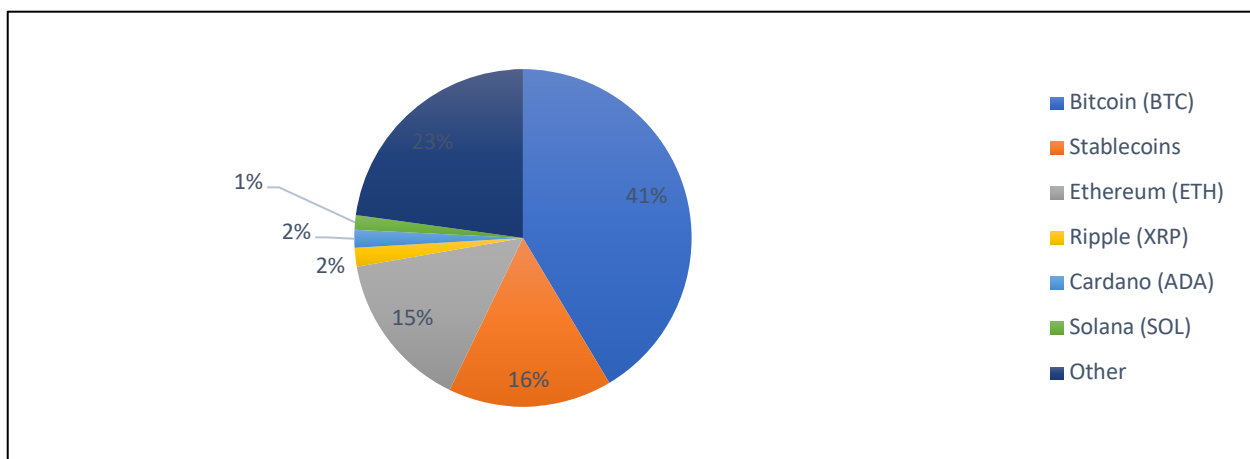
2 Types d'actifs décentralisés

2.1 Crypto-monnaies

2.1.1 Crypto monnaies de première et seconde génération

Les actifs de première génération, regroupent les actifs qui n'ont pas d'autre rôle que d'être un outil transactionnel ou une réserve de valeur (Makarov, Schoar, Bank for International Settlements 2022). On retrouve dans cette catégorie le Bitcoin ou DodgeCoin. C'est d'ailleurs cette catégorie, Bitcoin en tête qui compose la plus grande part du marché des crypto-monnaies.

Figure 3: Parts de marché des crypto monnaies (Capitalisation)



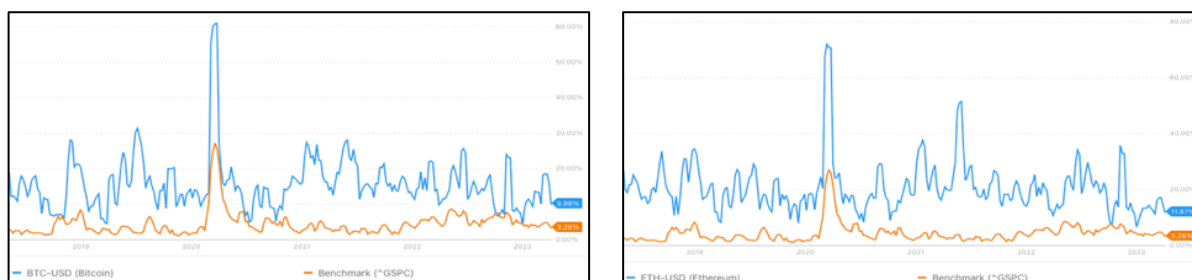
(Statista 2022)

Selon ses partisans, ce type de crypto monnaie remplit les fonctions d'une monnaie (ce point sera abordé dans la partie 2.3). A contrario, ses opposants y voient un instrument purement spéculatif. En effet, celle-ci ne dispose d'aucune valeur intrinsèque, sa valeur étant uniquement déterminée par l'offre et la demande. Sa valeur « intrinsèque » reposant donc uniquement sur le potentiel de hausse lié à ces derniers facteurs.

Du fait que celles-ci soient majoritairement basées sur des blockchains de type « Proof of Work », elles sont considérées comme peu efficaces et consommatrices d'énergies. Ainsi, une seconde génération de crypto-monnaie a vu le jour pour corriger les faiblesses de la première. Des tokens comme l'Ethereum, Cardano ou Solana, basés sur des « smart contracts » constituent ce nouveau groupe.

Ces actifs sont ainsi très spéculatifs, et à ce titre disposent d'une volatilité empiriquement plus élevée que des actions. Nous pouvons observer cette différence en la volatilité glissante sur un mois du Bitcoin ou de l'Ethereum et en les comparant à celle du S&P500.

Figure 4: Volatilité glissante sur un mois du BTC et ETH (bleu) vs S&P500 (orange)



(PortfolioLabs 2023)

2.1.2 Stable coins

Pour trouver une alternative et pallier aux aspects volatiles et extrêmement spéculatifs des crypto-monnaies évoquées précédemment, il peut être utile de s'intéresser aux stable coins. Ceux-ci disposent d'une valeur liée à celle d'une autre monnaie, une marchandise ou autre instrument financier (*Stablecoins: Definition, How They Work, and Types* 2022). Nous pouvons citer trois différents types de Stable coins :

Adossées à des monnaies (Fiat-Collateralized)

Cette première catégorie, la plus utilisée aujourd'hui, regroupe les Stable coins qui détiennent une réserve de monnaie fiduciaire (USD, EUR, CHF, etc...). Si nous prenons l'exemple de Tether, chaque jeton stablecoin émis est couvert à 100% par les réserves de l'entreprise.

Du fait de la quasi-similarité de leur valeur avec les actifs auxquels ils sont adossés, ce genre de stable coin représente une alternative peu pertinente à l'actif de référence. Cependant, ils représentent pour les investisseurs un moyen efficace d'échange contre des crypto-monnaies telles que précédemment décrites quand la volatilité de ces dernières devient trop élevée. Les plus importantes sont le Tether, USD coin et le Binance USD, regroupant 91% de la valeur de marché.

Tableau 2: Capitalisation des Stable coins adossés à des monnaies (Marché des Stable coins)

	Capitalisation	Part de Marché
Tether (USDT)	67.8b USD	44.0%
USD Coin (USDC)	55.7b USD	36.1%
Binance USD (BUSD)	17.2b USD	11.1%

(Statista 2022)

Pour le moment, ce sont des acteurs privés qui émettent ces actifs. Du fait que ceux-ci échappent au contrôle des banques centrales, des institutions comme la BCE ou la BNS se penchent sur la création d'une « monnaie digitale banque centrale »(PWC 2022)

Adossées à des crypto-monnaies

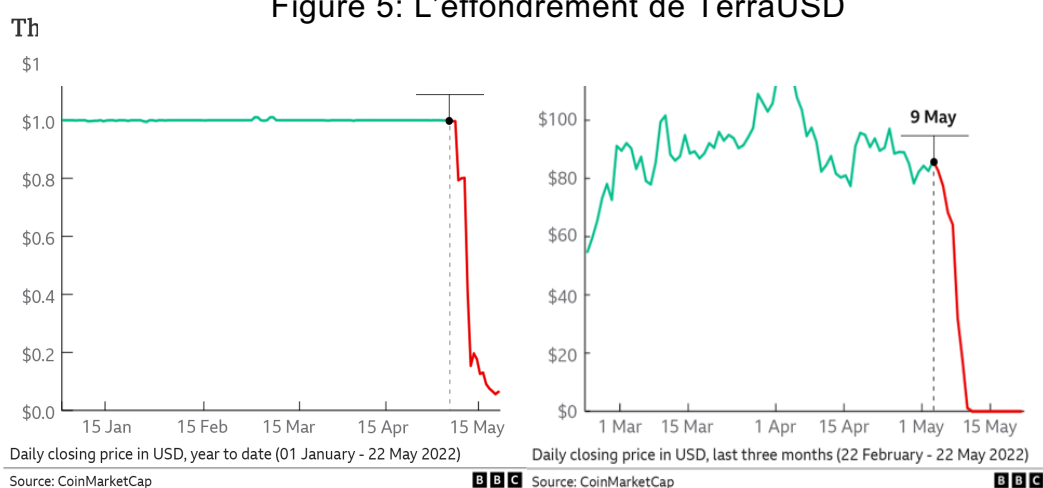
Cette catégorie diffère de la précédente dans le sens où ce ne sont pas des monnaies fiduciaires qui constituent la réserve sous-jacente, mais d'autres crypto-monnaies. De ce fait, les Stable coins adossés à des crypto-monnaies sont considérés comme moins sûrs et beaucoup plus volatiles que ceux évoqués précédemment. Nous pouvons prendre l'exemple du DAI, un stable coin adossé au US Dollar mais garanti par une réserve en Ethereum. Selon une étude parue en 2023 dans les « Finance Research Letters »(Duan, Urquhart 2023), le DAI était l'actif le moins « stable » (Avec le plus grand écart-type) comparé aux autres coins exposés dans le Tableau 1.

Algorithmiques

Ici, les stable coins peuvent ou non détenir des actifs en réserve. La valeur de l'actif est fixée par un algorithme contrôlant son offre. Ainsi, celui-ci peut déterminer la quantité de coins en circulation en fonction de la demande envers ces derniers. En outre, le mécanisme est le même que pour une monnaie banque centrale, mais celle-ci ne bénéficie pas d'un cours légal et de la crédibilité d'une institution comme la FED ou la BCE.

Les limites de ce genre de stable coins ont été exposées lors de la chute de Terra en mai 2022, suivant la chute de la cryptomonnaie Luna, à laquelle ce jeton était adossé.

Figure 5: L'effondrement de TerraUSD



(BBC, CoinMarketCap 2022)

2.2 Caractéristiques d'une monnaie, mise en parallèle

Les initiateurs des différents projets de crypto monnaies se voulaient être porteurs d'une alternative aux monnaies émises par les banques centrales. Cependant, pour être définie en tant que telles (selon la définition officielle), elles devraient remplir les trois fonctions suivantes (European Central Bank 2023):

- Être un moyen d'échange
- Être une unité de compte
- Être une réserve de valeur

Parmi les crypto-monnaies exposées précédemment, celles qui s'éloignent le plus de la définition d'une monnaie sont celles de premières et deuxièmes générations, et ce pour plusieurs raisons :

- Elles sont extrêmement volatiles et pour la plupart spéculatives (c.f Figure 4). De plus, elles n'ont pas de cours légal et il est impossible de les convertir au pair. De ce fait, elles ne répondent pas à la première condition.
- C'est aussi la volatilité qui ne leur permet pas d'être une unité de compte. En effet, il est impossible de comparer la valeur de biens et services au moyen d'outils comme le Bitcoin ou l'Ethereum.
- Enfin, leur forte variation de valeur à moyen et long terme ne leur permet pas de « transférer » le pouvoir d'achat à une période ultérieure (Protection contre l'inflation).

Les stable coins, beaucoup moins volatiles se rapprochent beaucoup plus d'une monnaie. Néanmoins, le premier critère ne pourra pas être rempli tant qu'un cours légal ne sera pas disponible pour un token donné. En ce sens, les projets portés par différentes banques centrales permettraient à terme, de combler cette lacune. En conséquence, ces actifs ne peuvent pour le moment pas se substituer aux liquidités.

Aussi, le CFA Institute (Stephen Dean, CFA, Olivier Fines, CFA 2023) considère qu'un degré d'adoption bien plus élevé sera nécessaire avant que ceux-ci ne soient au même rang que les monnaies traditionnelles (fiat). En outre, si ce développement se fait via des outils évoluant en dehors des sphères d'influence des banques centrales, on peut anticiper que celles-ci voient cette croissance comme une menace pour la stabilité du système financier. Une adoption des stable coins à grande échelle nécessiterait donc une solution institutionnelle disposant de la confiance des différents acteurs financiers.

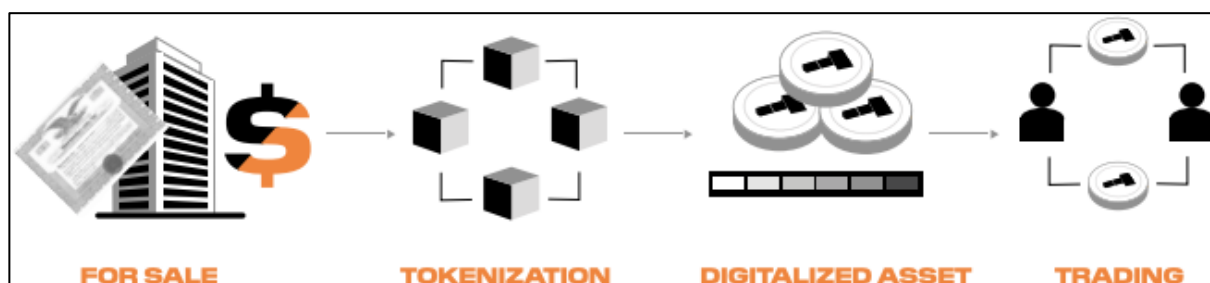
2.3 Tokens

2.3.1 Asset backed tokens

Dans ce cas, nous avons un token dont la valeur est intrinsèquement liée à un actif qui n'existe pas sur la blockchain. Celui-ci représente la détention d'un actif physique comme un métal précieux, une matière première, un bien immobilier, etc.... C'est donc la représentation d'un droit de propriété.

De ce fait, le jeton prend ou perd de la valeur en fonction de l'actif sous-jacent. Pour l'investisseur, cela offre de grands avantages en termes de liquidité et de frais de transaction. C'est particulièrement le cas pour les investissements immobiliers. A ce sujet, la BNY Mellon considère que « La tokenisation permet d'améliorer la liquidité, d'accélérer les règlements, de réduire les coûts et de renforcer la gestion des risques »(MENAFN - Press Releases (English) 2022). Si nous prenons l'exemple d'un investissement private equity, un token lié à une telle position permettrait de l'échanger beaucoup plus vite que les 7 à 10 ans usuellement requis pour une telle transaction. Cependant, ceux-ci sont encore peu répandus et le cadre législatif encore balbutiant rend l'investissement dans ce genre d'actif aujourd'hui très difficile.

Figure 6: D'actif vers asset backed token



(Katy Burne, BNY Mellon 2020)

2.3.2 Security & equity tokens

Les securities & equities tokens pourraient, selon les définitions, rentrer dans la catégorie « asset backed tokens ». Cependant, nous allons ici nous concentrer sur ceux représentant une certaine participation dans le capital d'une entité juridique ou dans sa dette.

La valeur d'un equity token est directement liée à celle de l'entreprise. Cet actif fonctionne donc de la même façon qu'une action et sa valeur intrinsèque peut être évaluée d'une manière similaire à cette dernière. De plus, celui-ci est soumis à la même régulation gouvernementale que les titres traditionnels. De ce fait, c'est ce type de jeton qui protège le plus l'investisseur. Aux Etats-Unis, c'est le test de « Howey » qui détermine si un actif digital est à considérer

comme un titre (SEC 2023). C'est d'ailleurs le point de vue du Blockchain Council qui estime que « un jeton de crypto-monnaie qui passe le test de Howey¹ est considéré comme un security token »(Toshendra Kumar Sharma, Blockchain Council 2022). En Suisse, la Finma les considère comme des titres qui sont soumis au code des obligations avec par exemple, un devoir de fournir un prospectus d'émission.

De manière similaire à des actions, des dividendes sous formes de jetons supplémentaires peuvent être versés dans le cas de figure où la société émettrice dégage des bénéfices.

Les obligations peuvent elles aussi être disponibles sous cette forme. C'est ainsi qu'en novembre 2022, la banque UBS a émis une obligation de 375 Mio CHF disponible à la fois sur le marché classique et la plateforme basée sur la blockchain de SIX (UBS Media 2022).

Comparés à des actions ou obligations traditionnels ces actifs digitaux peuvent représenter pour l'investisseur des avantages à plusieurs niveaux :

- Frais de transaction réduits
- Pas de contraintes d'ouverture des bourses
- Possibilité d'avoir des tokens représentant des fractions d'actifs

Du fait de leur dépendance à leurs actifs de référence, il est à noter que les security et equity tokens n'offrent aucune diversification par rapport aux dits actifs.

2.3.3 Utility tokens

A la différence des jetons précédents, les utility tokens ont une utilité spécifique. Ils donnent à leur détenteur le droit à un produit ou service. En conséquence, leur valeur vient de l'offre et la demande inhérente à ce produit ou service. Aucun droit de propriété n'est octroyé à leurs détenteurs sur l'entreprise émettrice ou ses actifs. Ainsi, ceux-ci ne sont pas à considérer directement comme des instruments d'investissement. C'est cependant cette catégorie qui est la plus émise lors des Initial Coins Offerings (Holden, Malani 2019).

Du fait que les Utility Tokens ne soient pas considérés systématiquement comme des titres, ils ne sont pas soumis à la même législation que les security tokens. En conséquence, il y a des risques non négligeables de fraudes liées à ce type d'actif. Ce dernier point sera développé dans la partie 3.2.1. Cependant, cette situation n'est applicable que si leur seul but est de conférer un droit d'accès à un produit ou service. En effet, la Finma considère que si le

¹ Le test de Howey est appliqué par la cour suprême américaine afin de déterminer l'existence ou non d'un contrat d'investissement. « *Il y a contrat d'investissement lorsqu'il y a investissement d'argent dans une entreprise commune avec une attente raisonnable de bénéfices à tirer des efforts d'autrui.* »(SEC 2023)

jeton fonctionne uniquement ou en partie comme un investissement, il sera soumis à la même législation que les Security Tokens (FINMA 2018).

3 Opportunités et écueils pour les investisseurs

3.1 Opportunités apportées par l'investissement en crypto-actifs

3.1.1 Exposition à la technologie

Les ICOs sont aux tokens ce que sont les introductions en bourses aux actions : elles permettent de lever des fonds. Dans le cas d'un ICO, ce dernier est réalisé pour financer un ou plusieurs projets. Cependant, dans la plupart des cas, elles ne permettent pas d'entrer au capital de l'entreprise qui l'émet. Du fait que la régulation en la matière soit encore lacunaire, une levée de fonds a la possibilité de se faire plus rapidement pour une start-up. La Suisse ayant une régulation accommodante pour ce type de projet (FINMA 2018), elle fait partie des juridictions les plus prisées pour les ICOs. A contrario, les États-Unis appliquent des règles beaucoup plus restrictives (SEC 2023) en considérant les jetons émis comme des titres

En 2019, près de 60% des fonds récoltés durant des ICOs ont financé des projets liés à la technologie, dont plus de 25% aux crypto-monnaies et à la blockchain (*Amount raised for cryptocurrency ICO projects by industry 2019* 2019). En investissant dans ces tokens, l'investisseur aura une exposition au secteur technologique. Cela doit être pris en compte dans le cadre de l'allocation de son portefeuille afin de ne pas entraîner un risque de concentration dans ce type de secteur.

3.1.2 Participation à la performance

En investissant dans une ICO, un investisseur a les mêmes opportunités que dans un fonds de venture capital. Ce sont donc les « early adopters » qui gagnent le plus sur les projets aboutis. Cela vaut également pour les cryptomonnaies : un investisseur qui aurait investi en Bitcoins fin 2014 aurait vu son investissement être multiplié par 232 entre ce moment et novembre 2021, date à laquelle le jeton valait plus de 65'000 USD.

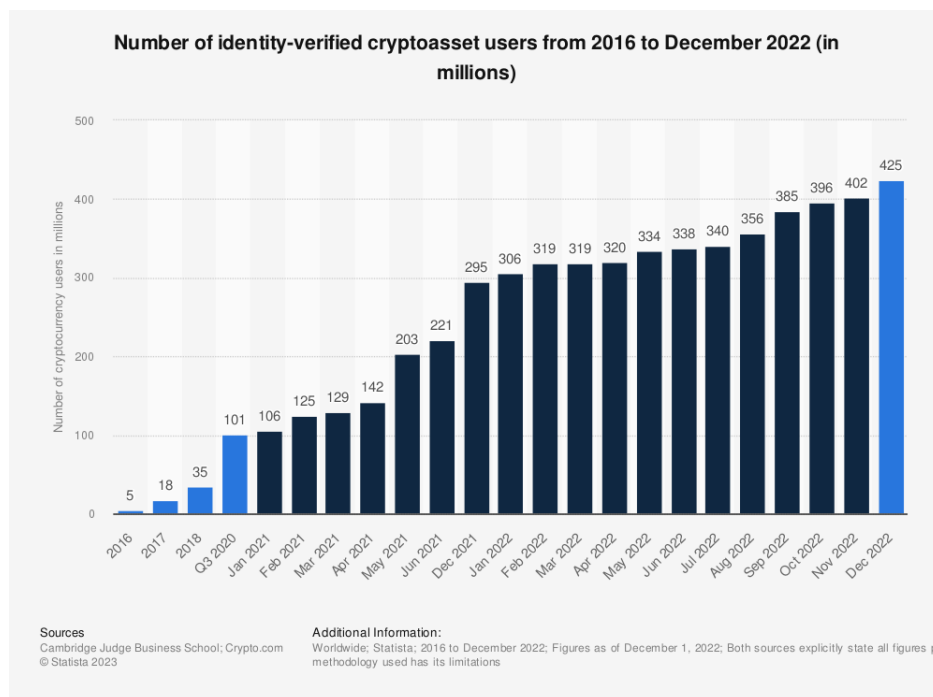
Plusieurs outils conventionnels existent afin d'investir dans les cryptoactifs (Stephen Dean, CFA, Olivier Fines, CFA 2023) :

- Les fonds de venture capital qui investissent dans des sociétés actives dans le domaine de la blockchain.
- Les fonds d'investissement ayant des positions directes dans les crypto-monnaies ou autres tokens.

- Des contrats futures sur les crypto-monnaies, proposés par le CME (Chicago Mercantile Exchange).

De cette matière, nombre de stratégies peuvent être mises en place afin de profiter de la croissance des cryptoactifs à travers le monde.

Figure 7: Nombre d'utilisateurs de cryptoactifs



(Statista 2023)

3.2 Risques

3.2.1 « Scams » et risques de marché

Du fait du manque de régulation des ICOs, de nombreuses manières de tromper de potentiels investisseurs ont été mises à nu. Selon l'entreprise de conseil spécialisée dans les ICOs Satis Group, près de 80% des ICOs en 2017 étaient des fraudes (*Report: More Than Three-Quarters of ICOs Were Scams 2018*).

Comme mentionné dans la partie 2.2, certaines crypto-monnaies ne doivent leur valeur qu'à la spéculation et n'ont aucune véritable valeur intrinsèque. De ce fait, elles sont extrêmement volatiles et accusent des baisses (drawdowns) largement supérieures aux actifs traditionnels. Ce dernier point sera développé dans la partie 4.2.5. L'investisseur doit donc être pleinement conscient de cette caractéristique et avoir une tolérance au risque adéquate.

Dans leur article de revue « *Retail vs institutional investor attention in the cryptocurrency market* » (Ozdamar, Sensoy, Akdeniz 2022), les auteurs mettent en exergue les influences qu'ont les différents types d'investisseurs sur le marché des crypto-monnaies. Ces derniers

Les cryptoactifs sont-ils une classe d'actif à part entière ?
CABRESPINES, Julien

arrivent à la conclusion que les investisseurs « retail » interprètent mal les informations du marché et que leur attention a un effet négatif sur celui-ci, au contraire des investisseurs institutionnels qui ont un effet positif sur les rendements globaux.

Ce postulat a été confirmé durant la période de 2020 à 2022. Au cours de ces deux ans, le prix du Bitcoin a subi de manière successive une croissance exponentielle et une chute d'une grande ampleur.

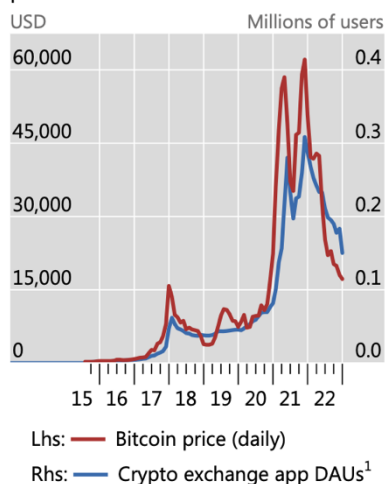
Selon une étude de la « Bank for International settlements » (Giulio Cornelli et al. 2023) couvrant la période de 2015 à fin 2022, presque de $\frac{3}{4}$ des applications de trading sur crypto-monnaies ont été téléchargées lorsque le prix du Bitcoin était supérieur à 20'000 USD. Il en est déduit que la majorité des investisseurs retail ont perdu de l'argent dans l'opération.

Figure 8: Prix du Bitcoin et pertes des investisseurs retail

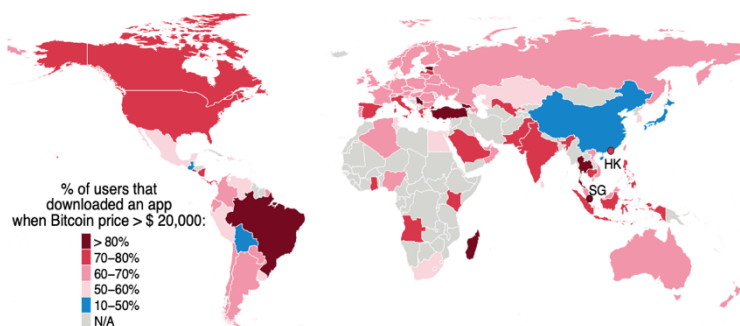
Retail investors have chased prices, and most have lost money

Graph 2

A. More users trade when the bitcoin price increases...



B. ...but a large share of users in nearly all economies probably lost money²



(Giulio Cornelli et al. 2023)

3.2.2 Dépositaires

Quand des titres « traditionnels » sont déposés dans une banque, ils n'entrent pas dans le bilan de l'institution financière avec laquelle un investisseur a une relation bancaire. La banque confie la garde de ces titres à un dépositaire. De cette manière, les titres ne sont pas considérés dans la masse en faillite de la banque. Concernant les banques dépositaires, UBS cite dans une notice d'information destinée à sa clientèle :

« Si la banque dépositaire fait faillite, la loi sur les banques prévoit la ségrégation de tous les actifs du compte-titres (actions, obligations et fonds de placement), si bien qu'ils ne font pas partie de la masse de la faillite. » (UBS Asset Management 2023)

En novembre 2022, le scandale FTX a mis en lumière le principal problème de la plupart des plateformes hébergeant des cryptomonnaies : la non-ségrégation des actifs déposés et l'intégration des fonds des clients dans le bilan des plateformes. Les dépôts des clients étaient utilisés pour financer des activités d'investissements du fondateur de la plateforme. Dans une moindre mesure, c'était la plateforme de prêt contre crypto-monnaies Celsius qui déposait le bilan en Juillet 2022 (Rooney 2022). Le 5 juin 2023, la plus grande plateforme d'échange de crypto-monnaies au monde Binance a été assignée en justice par le régulateur américain, qui l'accuse d'avoir utilisé les fonds de ses clients pour ses opérations propres.

4 Simulations de portefeuilles

4.1 Méthodologie et obtention des données

4.1.1 Crypto-monnaies

Dans un premier temps, il s'agit de définir quelles sont les plus grandes crypto-monnaies en termes de capitalisation boursière. Dans ce but, nous prenons comme référence le classement par valeur de marché disponible sur le site de Forbes (*10 Best Cryptocurrencies Of January 2023 – Forbes Advisor 2023*), magazine économique de référence. Nous excluons de facto les stable coins étant donné leur grande similarité avec leurs actifs de référence (c.f partie 2.1.2). Afin de compiler les données et les mettre dans un format exploitable, nous utilisons le logiciel R Studio. Les packages suivants sont chargés :

- *dplyr*
- *ggplot2*
- *lubridate*
- *readr*
- *readxl*
- *quantmod*
- *zoo*
- *tseries*
- *PerformanceAnalytics*
- *dygraphs*
- *xts*
- *writexl*
- *textplot*
- *Hmisc*
- *IntroCompFinR*
- *bbdetection*

Nous avons sélectionné 6 crypto-monnaies, dépassant les 10 milliards USD de capitalisation :

- Bitcoin (BTC)
- Ethereum (ETH)
- Binance Coin (BNB)
- XRP (XRP)
- Cardano (ADA)
- DogeCoin (DOGE)

Un vecteur contenant ces Tickers est enregistré. Nous utilisons ce vecteur dans une boucle comprenant la fonction `getSymbols`, qui télécharge et stocke directement les données de performance depuis *Yahoo finance* au sein du logiciel sous format *xts*. L'avantage de cette méthode réside dans le fait que quelle que soit la date à laquelle le code est exécuté, nous

disposerons toujours les données les plus à jour. Une condition est ajoutée pour n'avoir que les crypto-monnaies avec un track record supérieur à 5 ans.

La première valeur est configurée comme étant la date commune la plus ancienne des six.

Figure 9: Premières performances quotidiennes des crypto monnaies

	Return_BTC.USD.Close	Return_ETH.USD.Close	Return_BNB.USD.Close	Return_XRP.USD.Close	Return_ADA.USD.Close	Return_DOGE.USD.Close
2017-11-10	-0.0735541473	-0.0674106898	-9.741458e-02	-0.0506004883	-0.1539325968	-0.1780918368
2017-11-11	-0.0393675615	0.0515550705	-7.032900e-02	0.0191153250	0.0117260997	0.0326740669
2017-11-12	-0.0641012752	-0.0215234166	-9.026200e-02	-0.0622107027	-0.1261070594	-0.1357202062
2017-11-13	0.1024223964	0.0286059934	1.098447e-01	0.0309265226	0.0763647991	0.1666667041
2017-11-14	0.0116258677	0.0660371068	-5.575650e-02	0.0313749701	0.0163515538	-0.0222956005
2017-11-15	0.1024435880	-0.0126588411	-3.901215e-02	0.0149219696	0.0081967038	0.1309120717
2017-11-16	0.0760230823	-0.0072984321	3.101700e-02	0.0664503803	0.0429193035	0.0380881560
2017-11-17	-0.0206689679	0.0044421111	-4.281583e-02	-0.0023160716	-0.0655185083	-0.0553956869
2017-11-18	0.0105279246	0.0457829759	1.085635e-01	0.0090298347	0.0231249712	0.0456968712
2017-11-19	0.0316220272	0.0194872065	-3.616968e-02	0.0104493297	0.0650385198	0.0021850130
2017-11-20	0.0204255103	0.0348321467	6.618019e-03	0.0335171639	0.0533043214	0.0130814104
2017-11-21	-0.0157768038	-0.0172579550	-3.101973e-02	-0.0229854935	-0.0422906286	-0.0035868278
2017-11-22	0.0225850790	0.0561902076	2.394448e-02	0.0239549493	0.0077303390	0.3124550399
2017-11-23	-0.0260227163	0.0775353247	-3.911899e-02	0.0148330372	-0.0387054248	0.0373011161
2017-11-24	0.0267354844	0.1578507921	1.091303e-01	0.0092408567	0.0341786976	0.0089899595
2017-11-25	0.0650896101	-0.0181823743	9.091173e-02	0.0316830420	0.0727574197	0.0859538628
2017-11-26	0.0613849162	0.0108390429	-1.106802e-02	-0.0141644657	0.1932866715	-0.0222007171
2017-11-27	0.0522798565	0.0191479954	4.848557e-02	0.0205330697	0.3925189871	-0.0187561971
2017-11-28	0.0244898791	-0.0155156140	-1.331464e-02	0.1781023514	1.3668096978	0.1886318213
2017-11-29	-0.0169194592	-0.0959585644	-8.636954e-02	-0.1874899319	-0.2507516286	-0.1197630350
2017-11-30	0.0348875368	0.0458244421	1.401289e-01	0.0321479321	0.3362201794	-0.0004807729
2017-12-01	0.0725062567	0.0434475196	3.668555e-02	0.0192165210	0.0956683304	0.0331890620

Afin de travailler sur des années entières et sur des périodes comparables, la date de début pour notre track record sera le 1^{er} janvier 2018 et la date de fin le 31 décembre 2022 pour toutes les classes d'actifs. Il est à noter que les crypto-monnaies sont négociées tous les jours de la semaine. Une échelle à 365 jours sera appliquée pour calculer les indicateurs moyens propres aux crypto-monnaies. Dans un second temps, nous supprimerons tous les samedi, dimanche et jours fériés quand nous inclurons les actifs traditionnels afin d'avoir des données concordantes. Tous seront exprimés en USD afin d'exclure les variations de change.

4.1.2 Actifs de référence, matières premières et actifs sans risque

L'actif de référence actions pour les calculs sera le SP500. Il sera fait la différence entre les données « Total Return » du SP500 et ses valeurs de clôtures. Ceci pour différencier les bases utilisées pour les comparaisons de performances ou les mouvements de prix. La fonction *getSymbols* nous permet d'avoir les données les plus à jour de l'actif de référence.

Pour les obligations, nous avons choisi l'indice « Bloomberg US Aggregate Bond Index » dont les données ont été récupérées sur la plateforme Factset. Celui-ci représente le marché des obligations à taux fixes de bonne qualité (Investment grade). Il comprend essentiellement des obligations gouvernementales, d'entreprises ainsi que des titres basés sur des prêts hypothécaires (Adam Hayes 2022). Le taux sans risque (Désigné par Rf dans le reste du

travail) est également obtenu via cette plateforme. Ce dernier correspond au rendement sur les obligations du trésor Américain (« Treasury Securities ») à un mois, à maturité constante. Les données sont téléchargées depuis le site de la réserve fédérale américaine, la FRED (Board of Governors of the Federal Reserve System (US) 2001).

Nous incluons le prix des futures (échéance la plus proche) sur l'or et le pétrole (crude oil) pour diversifier le portefeuille.

4.1.3 Indicateurs

Plusieurs indicateurs seront utilisés dans le cadre de cette étude

Tableau 3: Formules utilisées

Indicateur	Formule
Performance de l'actif ou du portefeuille A	$P^A = \frac{V_F^A - V_D^A}{V_D^A}$
Contribution relative de l'actif i à la performance du portefeuille p	$Cont_{i,p} = \frac{\omega_i \times \mu_i}{\mu_p}$
Variance de l'actif i	$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2$
Ecart-type de l'actif i (Volatilité)	$\sigma = \sqrt{(\sigma^2)}$
Variance du portefeuille avec les actifs i et j	$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_i \times \omega_j \times \sigma_{i,j}$
Ecart-type du portefeuille p	$\sigma_p = \sqrt{(\sigma_p^2)}$
Covariance de l'actif i avec l'actif j	$Cov(i,j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) (Y_i - \bar{Y})$
Corrélation de l'actif i avec l'actif j	$r_{ij} = \frac{Cov(i,j)}{\sigma_i \times \sigma_j}$
Sharpe ratio de l'actif / du portefeuille p avec actif sans risque R_f	$S = \frac{R_p - R_f}{\sigma_p}$
Maximum drawdown	$MDD = \frac{V_{min} - V_{max}}{V_{max}}$

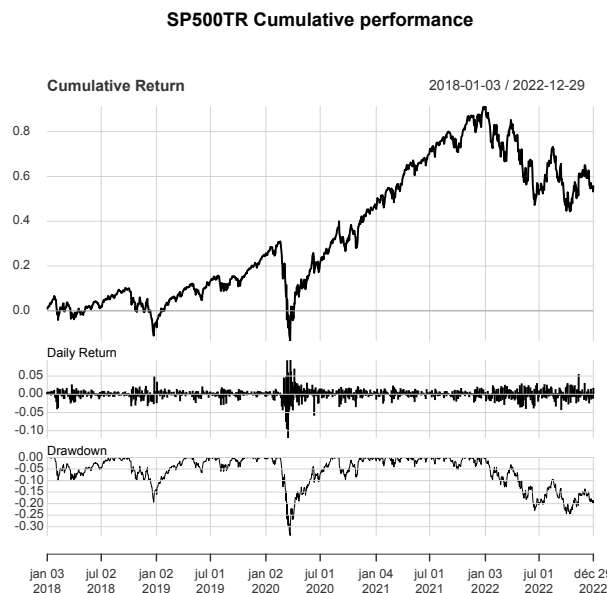
Nous précisons ici que ces indicateurs de base seront intégrés à des calculs plus complexes qui seront précisés au fur et à mesure du travail.

4.2 Exposé des données

4.2.1 Actions

Du fait que celui-ci soit communément utilisé comme « Benchmark » du marché action, c'est l'indice SP500 qui sera utilisé pour représenter cette classe d'actif. Il représente les 500 plus grandes capitalisations américaines et couvre 80% du marché éponyme en termes de capitalisation. Il est à noter que pour cette classe d'actif et les suivantes, nous utiliserons les mêmes dates de début et de fin que notre track record de cryptoactifs afin d'avoir des résultats comparables.

Figure 10: Performances cumulées et drawdowns du SP500 (Total return) de 2018 à 2022



La figure 10 nous donne une idée des périodes haussières et baissières du SP500. Nous remarquons dès lors deux grandes périodes baissières :

- De janvier 2020 à mars 2020 : La crise du covid ébranle l'économie mondiale et provoque un fort repli du SP500. C'est durant cette période que l'indice aura son maximum drawdown, s'élevant à près de 33,8%.
- Toute l'année 2022 a souffert de la guerre en Ukraine et de la hausse des taux d'intérêts directeurs avec une tendance baissière sur le marché des actions.

Cet état de fait est confirmé de manière formelle en identifiant les périodes dites « Bull » et « Bear » sur les performances mensuelles de l'indice. Nous ne prenons pas en compte la baisse de septembre 2018 étant donné sa durée limitée.

Tableau 4: Périodes de marché haussier et baissier

Bull dates	Mois	Amplitude bull	Bear dates	Mois	Amplitude bear
jan 2018 to déc 2019	24	14	jan 2020 to mar 2020	3	-20
avr 2020 to déc 2021	21	64	jan 2022 to déc 2022	12	-15

Cela étant établi, nous nous intéressons désormais à la performance annualisée brute (Sans prendre en compte le taux sans risque Rf) de l'actif seul sur chaque période identifiée. Nous utilisons l'indice SP500 « Total return » afin de prendre en compte le versement des dividendes.

Tableau 5: Performances du SP500 TR par période

Période	Bull		Période	Bear	
	Performance	Performance annualisée		Performance	Performance annualisée
Janvier 2018 à décembre 2019	24.3%	11.5%	Janvier 2020 à Mars 2020	-19.6%	-58.8%
Avril 2020 à décembre 2021	90.2%	44.2%	Janvier 2022 à décembre 2022	-18%	-18%

Sur toute la période d'étude, la performance totale et annualisée de l'indice se montent respectivement à 56% et 9.3%. Nous remarquons que bien que la chute du marché actions lors de la crise du covid 19 ait été violente, connaissant un renversement de tendance tout aussi rapide. A contrario, année 2022 a connu une baisse équivalente mais étalée sur une période bien plus grande. Ainsi, les actions américaines ont été fortement impactées par le risque de marché sur la période étudiée.

Concernant la volatilité (ecart-type des données) et le ratio de sharpe (performance ajustée au risque), ceux-ci se montent à 21.9% et 0.28 sur les 5 années. Là aussi, nous constatons de fortes disparités selon les périodes.

Tableau 6: Volatilité et ratios de sharpe par période du SP500

Bull			Bear		
Période	Volatilité annualisée	Ratio de sharpe annualisé	Période	Volatilité annualisée	Ratio de sharpe annualisé
Janvier 2018 à décembre 2019	15%	0.48 (Rf=1.98%)	Janvier 2020 à Mars 2020	57%	-1.06 (Rf=1.15%)
Avril 2020 à décembre 2021	17.9%	2.33 (Rf=0.07%)	Janvier 2022 à décembre 2022	24.2%	-0.86% (Rf=1.68%)

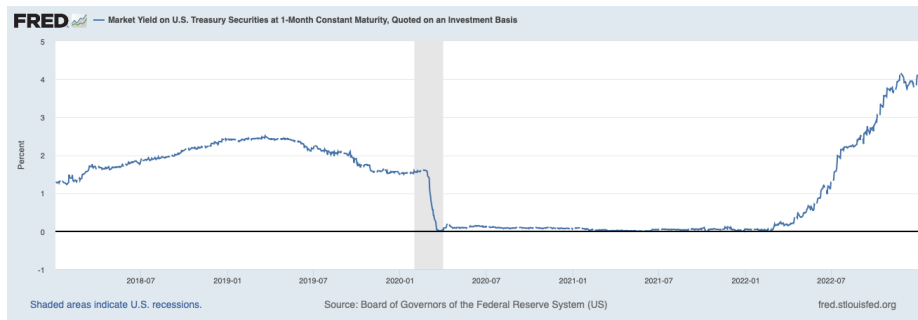
Nous précisons ici que ce sont les rendement des valeurs de clôture du SP500 (sans les dividendes) qui ont été utilisées afin d'avoir des indicateurs portant uniquement sur les rendements en capital. Ceci afin de pouvoir les comparer avec les autres actifs ne produisant pas de revenus. Les différences observées pour ce ratio selon les périodes s'expliquent par de grands mouvements dans les taux directeurs de la banque centrale américaine (FED). Les taux sans risques utilisés pour les différentes périodes impactent considérablement le calcul.

4.2.2 Actif sans risques (liquidités)

Le rendement excédentaire d'un actif est obtenu par la différence entre le rendement d'un actif donné et le taux sans risque. Pour un investisseur américain, celui-ci est donné par le rendement d'une obligation américaine. Il est communément admis que le risque de défaut sur ce genre d'obligation gouvernementale est nul. Cependant, ce postulat peut être remis en question par les récents débats sur le plafond de la dette américaine (Lawder, Sullivan, Sullivan 2023) ainsi que la perspective négative de la note AAA sanctionnée par l'agence de notations Fitch.

Le rendement de ce type d'obligations est dicté par la politique monétaire de la banque centrale américaine. Ainsi, la crise du covid de 2020 a déclenché une baisse très importante des taux d'intérêts afin de relancer l'économie. Ceux-ci ont été remontés de manière très importante en 2022 afin de juguler une inflation conséquente. Cette hausse des taux a affecté de manière substantielle la performance des autres classes d'actifs traditionnels.

Figure 11: rendement sur les obligations du trésor Américain (« Treasury Securities ») à un mois, à maturité constante



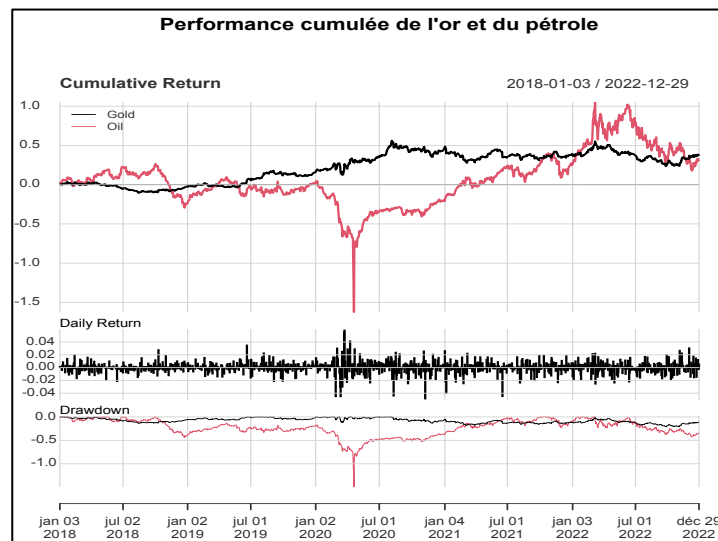
(Board of Governors of the Federal Reserve System (US) 2001)

Dans le cadre de ce travail, nous calculons un taux journalier moyen sur toute la période de 0.00479%. En l'annualisant à raison de 252 jours de négoce par an, nous obtenons 1.21%. Il sera représenté par l'abréviation Rf « Risk free ».

4.2.3 Actifs alternatifs

Afin d'avoir une idée des caractéristiques de certains actifs alternatifs, nous avons sélectionné le prix des contrats future à échéance la plus proche du baril de pétrole (Crude oil) ainsi que de l'once d'or. Ceux-ci sont en date du 16 juin 2023, les contrats de matières premières les plus négociés en terme de volume pour les catégories « Énergies » et « Métal » (*CME Group Product Slate - CME Group 2023*). Investir dans ce type de produit dérivé est une manière répandue d'avoir une exposition au marché des matières premières dans un portefeuille. De manière générale, l'or est considéré comme une valeur refuge en cas de déclin économique alors que le prix du baril de pétrole a généralement tendance à monter dans les périodes inflationnistes.

Figure 12: Performance cumulée de l'or et du pétrole sur la période



Sur toute la période (figure 12), on constate que le prix du pétrole a été bien plus volatile que celui de l'or : 157% contre 15.24% d'écart-type annualisé. Ce dernier s'est montré très résilient durant la période « Bear » de la crise du covid, ce qui confirme son statut de valeur refuge. L'or noir a quant à lui connu une situation exceptionnelle avec un prix « future » négatif le 20 avril 2020 (*Explainer: What is a negative crude future and does it mean anything for consumers?* 2020). L'inflation marquée par la reprise économique post-covid (*Does oil drive inflation?* | *FRED Blog* 2018) a ensuite fait augmenter le prix du baril de manière spectaculaire. Nous considérons donc ces actifs alternatifs comme des outils de « hedging » à adapter en fonction de la conjoncture économique.

4.2.4 Obligations

Les obligations sont classifiées en trois catégories différentes, selon leurs émetteurs(U.S. Securities and Exchange Commission 2023) :

- Les obligations gouvernementales émises par des états, régions, cantons, municipalités, etc... Ces obligations sont considérées comme les plus sûres.
- Les obligations à haut rendement, avec un risque de défaut plus élevé.
- Les obligations émises par les entreprises, portant des niveaux de risque de défaut variés.

Ce type d'actif est particulièrement sensible aux taux d'intérêts. Ainsi, plus une obligation a une maturité (une date de remboursement du capital) lointaine et un taux d'intérêt faible, plus elle sera sensible à une hausse des taux d'intérêts. En 2022, les hausses de taux successives ont fait chuter le prix des obligations existantes. Les obligations de haute qualité ont été également impactées alors que celles-ci sont normalement considérées comme plus sûres que des actions.

Figure 13: Prix d'une obligation émise à 99.66% par Alphabet (Google) en aout 2020 maturant en aout 2027

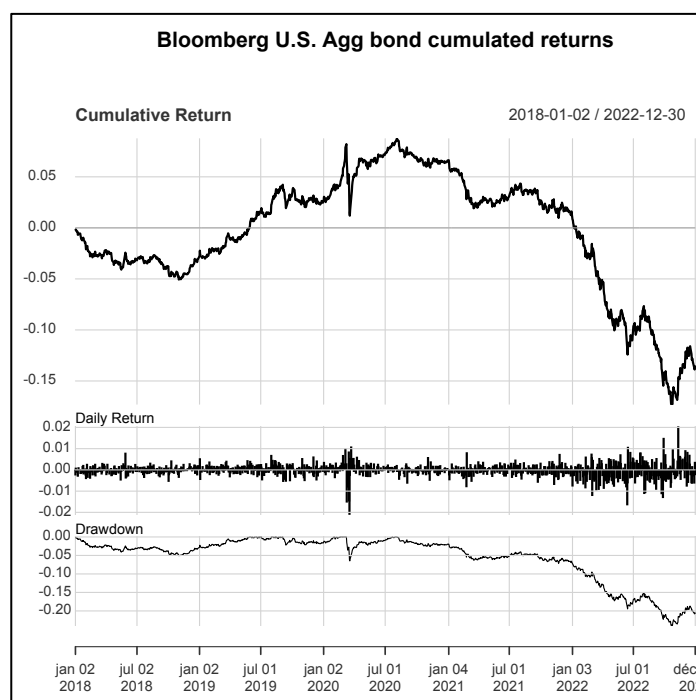


(UBS Quotes 2023)

Nous constatons que depuis le 1^{er} janvier 2022 jusqu'au 16 juin 2023, l'obligation alphabet représentée sur la figure 13 a perdu 9.2% de sa valeur. La perte totale se monte à 12.57% pour un investisseur l'ayant acquise à son prix d'émission. Or, le taux d'intérêt directeur de la FED est passé de 0.25% à fin 2021 à 5.25% aujourd'hui.

Dans le cadre de ce travail, nous nous intéresserons à l'indice « *Bloomberg US Aggregate Bond Index* ».

Figure 14: Performances cumulées et drawdowns du Bloomberg US Aggregate Bond Index



La figure 14 nous confirme que 2022 n'a pas été une bonne année pour les obligations existantes. Le maximum drawdown est de 24% sur toute la période. Le Tableau 7 reprend les périodes haussières et baissières du SP500.

Tableau 7: Volatilité et ratios de sharpe par période de l'indice obligataire

Période	Bull		Période	Bear	
	Volatilité annualisée	Ratio de sharpe annualisé (Rf=1.98%)		Volatilité annualisée	Ratio de sharpe annualisé (Rf=1.68%)
Janvier 2018 à décembre 2019	3.2%	-0.22 (Rf=1.98%)	Janvier 2020 à Mars 2020	8.4%	1.08 (Rf=1.15%)
Avril 2020 à décembre 2021	3.3%	-0.6 (Rf=0.07%)	Janvier 2022 à décembre 2022	7,8%	-2,12 (Rf=1.68%)

L'indice produit une performance ajustée au risque exceptionnelle lors de la crise du covid. En revanche, il ne se trouve pas efficace lors des autres périodes. Cependant, il bénéficie d'une volatilité réduite durant les 5 années analysées.

4.2.5 Crypto-monnaies

Nous avons sélectionné les dix crypto-monnaies les plus importantes en termes de valeur de marché (cf partie 4.1). Cependant, en ajoutant la condition que celles-ci doivent avoir un track record supérieur à 5 ans, nous nous intéresserons aux 6 crypto monnaies suivantes :

- Bitcoin (BTC-USD)
- Ethereum (ETH-USD)
- Binance coin (BNB-USD)
- Ripple (XRP-USD)
- Cardano (ADA-USD)
- Dogecoin (DOGE-USD)

Il est à noter que du fait du nombre de jours de tradings plus élevé (360 contre 252), nous travaillons avec un taux sans risque annualisé plus élevé pour les crypto-monnaies que pour les autres actifs.

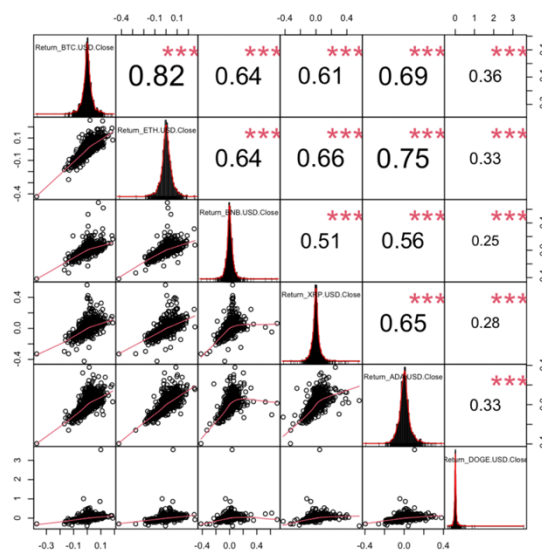
Tableau 8: Profil rendement/ risques des différentes crypto-monnaies de janvier 2018 à décembre 2022

Crypto monnaie	Performance annualisée (Base 360)	Ecart-type annualisé (Base 360)	Ratio de sharpe (Rf= 1.73%)	Max drawdown (DD)	DD Moyenne	Durée moyenne DD
BTC-USD	3.2%	72.98%	0.02	81.53%	17.07%	95 jours
ETH-USD	9.51%	94.89%	0.08	93.96%	17.27%	95 jours
BNB-USD	93.58%	111.23%	0.81	80.1%	16.37%	72 jours
XRP-USD	-31.22%	114.13%	-0.28	95.87%	50.25%	911 jours
ADA-USD	-19.11%	112.38%	-0.18	97.85%	30.41%	151 jours
DOGE-USD	49.29%	210.29%	0.22	92.26%	38.78%	201 jours

Le tableau 8 expose les différentes caractéristiques de risque et rendement inhérentes aux crypto-monnaies durant la période. Le Binance Coin bénéficie de la performance ajustée au risque (ratio de sharpe) la plus élevée. Cependant, ce dernier reste extrêmement volatile avec une variance annuelle de 111.23%. D'ailleurs, la crypto-monnaie la moins volatile (Le Bitcoin) a une variance annualisée plus que trois fois supérieure au SP500TR (21.88%).

A ce stade, nous avons des résultats significativement différents de la dernière étude (Ankenbrand, Bieri 2018) évoquée au point 1.2. En effet, la période des 5 dernières années semble moins favorable au marché des cryptoactifs que celle de 2013 à 2017. Cependant, nous retrouvons l'incompatibilité des crypto-monnaies avec un investissement à court terme.

Figure 15: Corrélation des performances des crypto-monnaies entre elles

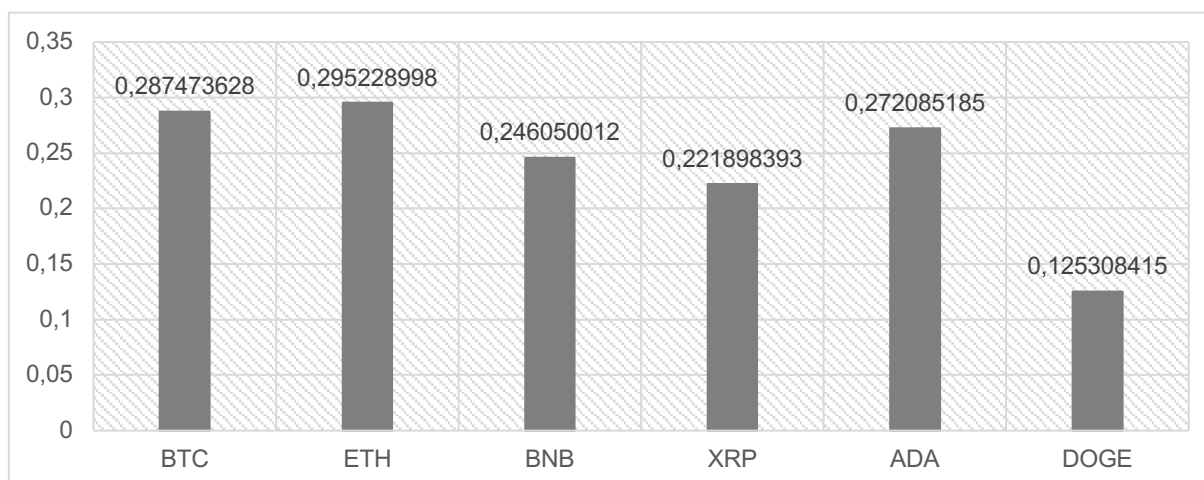


La figure 15 représente les coefficients de corrélation entre chaque crypto-monnaie, la qualité du « test » de corrélation (représentée par des étoiles) ainsi que les diagrammes de dispersion bivariés avec la relation linéaire (en rouge) entre les deux actifs.

Les performances de certaines crypto-monnaies évoluent dans le même sens. A ce titre, le Bitcoin et l'Ethereum affichent la corrélation la plus proche de 1. Pour un investisseur souhaitant diversifier son portefeuille en y ajoutant des crypto-monnaies, il faudra éviter de regrouper ces jetons du fait de leur similarités. En revanche, on constate que les crypto-monnaies disposant des meilleurs ratios de sharpe, à savoir le Binance Coin et le Dogecoin, sont aussi les moins corrélés.

Les crypto-monnaies sont souvent décrites comme des actifs décorrélés des actifs classiques. Nous tentons de vérifier si c'est le cas avec le SP6500 pour la période observée.

Figure 16: Coefficients de corrélation entre les cryptomonnaies et le SP500.



En calculant le coefficient de corrélation des crypto-monnaies avec le SP500 (figure 16), nous ne pouvons confirmer que les performances de celles-ci ne sont que très peu en lien avec la performance du marché actions. C'est aussi le cas pour les obligations et actifs alternatifs affichant des coefficients d'ampleur similaire. En conséquent, on ne peut nier le potentiel de diversification des cryptomonnaies.

Via tous les indicateurs étudiés dans ce travail, on ne peut trouver de caractéristiques quantitatives similaires entre les cryptomonnaies et les actifs traditionnels ou alternatifs étudiés. De ce point de vue, elles peuvent être considérés comme un actif à part, ne rentrant dans aucune catégorie pré-existante.

4.3 Portefeuilles

4.3.1 Minimum variance et frontière efficiente

Le concept de portefeuille minimum variance est dérivé de la théorie moderne du portefeuille de Markovitz (Markowitz, H 1959). C'est l'allocation d'actif dans un portefeuille qui maximise le rapport du rendement par rapport à la volatilité d'un portefeuille. La frontière efficiente nous indiquera quel doit être la variance maximale pour tout niveau de rendement.

Dans le cadre de ce portefeuille ainsi que dans les suivants, nous utiliserons des positions long et short². Afin de mettre en place cette optimisation, certaines partie du code du cours « Asset Management sur R » dispensé à la HEG durant le semestre de printemps 2023 seront utilisées (François Duc 2023).

² Une position long représente un achat d'actif, qui s'appréciera en même temps que la hausse sa valeur. Une position short constitue une vente à découvert, prenant de la valeur si la valeur de l'actif diminue.

Dans un premier temps, nous créons 10'000 poids aléatoires pour chacun des 10 actifs. Ce seront 10'000 portefeuilles qui seront créés. Pour chacun d'entre eux, nous auront une variance et un rendement annualisé.

En créant notre portefeuille minimum variance, nous nous rendons compte que celui-ci a un rendement négatif et surpondère les obligations à 95%. Comme un portefeuille n'a d'intérêt que celui-ci est supérieur au taux sans risque (1.2% par an sur la période), nous retenons l'optimisation en enlevant les obligations de notre portefeuille.

En incluant tous les actifs sauf les obligations, nous avons un portefeuille minimisant la variance ayant un rendement supérieur au taux sans risque : 7% par année avec une volatilité de 12.91%.

Tableau 9: Pondérations du portefeuille avec la volatilité minimum

SP500TR	Or	Pétrole	BTC	ETH	BNB	XRP	ADA	DOGE
32.75%	68.65%	-0.21%	1.15%	-1.65%	-0.78%	0.81%	-0.71%	-0.01%

Nous remarquons que le portefeuille minimum variance sous pondère largement les cryptomonnaies. Ce n'est pas étonnant car celles-ci ont la variance la plus élevée sur toute la période. On en conclut donc que le portefeuille minimum variance n'est pas relevant quand on parle d'intégration de cryptomonnaies.

En revanche, si l'on calcule les poids du portefeuille tangent (maximisant le rapport rendement/risque), le constat est tout autre.

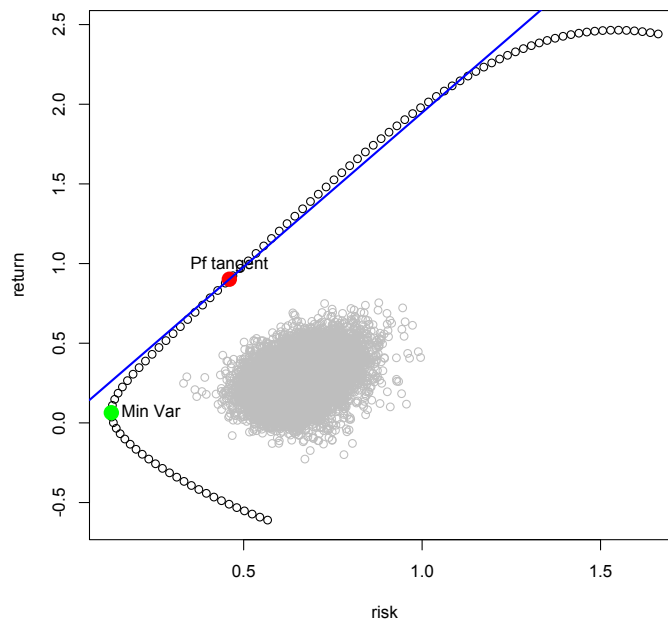
Tableau 10: Pondérations du portefeuille tangent

SP500TR	Or	Pétrole	BTC	ETH	BNB	XRP	ADA	DOGE
38.76%	57.59%	-7.01%	-27.35%	2.46%	39.24%	-7.38%	-6.01%	9.78%

Bien que moindre, nous avons toujours une surpondération de l'or dans le portefeuille tangent. Le SP500 gagne en pondération. De plus, ce sont les Binance Coins et Dodge coins qui sont largement représentés dans notre portefeuille. Or, ce sont ces actifs qui ont le meilleur ratio de Sharpe (c.f tableau 8). Le Bitcoin est shorté et devient l'actif le moins intéressant dans le portefeuille. En outre, ce cette configuration nous fournit un rendement annuel approximé de

83% et une volatilité annualisée de 42%. La figure 17 reprend le profil risque/rendement des portefeuilles incluant des crypto-monnaies ainsi que la frontière efficiente.

Figure 17: Portefeuille minimum variance, frontière efficiente et portefeuille tangent



Sans inclure les crypto-monnaies et les obligations, notre portefeuille tangent produit un rendement annualisé approximé de 12.72% et une volatilité de 16.21%. Le portefeuille minimum variance affiche dans cette configuration un rendement de 8.4% avec une volatilité de 13%. Nous en déduisons donc que les crypto-monnaies sont utiles sur la période afin d'améliorer le potentiel de rendement par rapport à la volatilité d'un portefeuille. Aussi, elles nous permettent de mettre en place des portefeuilles très agressifs avec des rendements et volatilités comparativement élevés.

4.3.2 Réduction de la variance et des drawdowns

Un profil prudent consiste à minimiser la variance du portefeuille en fonction de la situation du marché. Il s'agit également de minimiser les chutes de ce dernier (Drawdown) quand une crise affecte durablement le marché.

Pour cela, nous verrons si l'ajout de crypto-monnaies permet de minimiser la variance du marché, représenté par le SP500. Le portefeuille comprendra le SP500 et des positions long sur les crypto-monnaies.

En minimisant la variance sur chaque période, nous obtenons les allocations d'actifs suivantes :

Tableau 11: Poids de l'indice action et cryptomonnaies avec une variance minimisée (positions long)

Période	SP500TR	BTC	ETH	BNB	XRP	ADA	DOGE
Jan 18 / Dec 19	95.96%	4.04%	0%	0%	0%	0%	0%
Jan 20 / Mars 20	91.90%	0%	0%	0%	0%	0%	8.1%
Avril 20 / Dec 21	99.91%	0.09%	0%	0%	0%	0%	0%
Jan 22 / Dec 22	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Les seules périodes durant lesquelles une allocation tactique de crypto-monnaies aurait fait baisser la volatilité du portefeuille sont les deux premières. La pondération en cryptomonnaie est anecdotique sur la 3^{ème} période. Une allocation en crypto-monnaies n'aurait pas servi à la réduction de la variance sur toute l'année 2022.

En somme, les crypto-monnaies ne sont pas véritablement intéressantes afin de diminuer la volatilité d'un portefeuille actions.

Afin de déterminer si l'ajout de celles-ci sont en mesure de réduire les drawdowns par rapport au SP500TR seul, nous créons un portefeuille maximisant la performance durant les périodes concernées. Trois drawdowns conséquents du SP500TR sont observés :

- Du 21.09.2018 au 12.04.2019, -19.36%
- Du 20.02.2020 au 10.08.2020, -33.79% (Max Drawdown)
- Toute l'année 2022 : -24.49%

Nous procédons par étapes :

- Nous créons 10'000 poids de portefeuilles aléatoires, avec uniquement des positions longues (sans vente à découvert).
- Nous calculons le rendement quotidien de chaque portefeuille pondéré, avec un rééquilibrage mensuel.
- Pour chaque portefeuille, nous calculons le maximum drawdown.
- Nous sélectionnons les 5 portefeuilles avec les maximums drawdowns les moins élevés.

Les poids de chaque actif et les max drawdowns obtenus sont synthétisés dans le tableau 12.

Tableau 12: Les 5 portefeuilles avec les max drawdowns les moins élevés (positions long)

Poids des actifs							
SP500TR	BTC	ETH	BNB	XRP	ADA	DOGE	Max DD
34.47%	3.22%	8.64%	24.34%	21.80%	2.33%	5.20%	61.10%
29.62%	28.75%	0.50%	11.12%	19.05%	3.94%	7.01%	61.70%
32.62%	25.82%	5.34%	15.44%	6.92%	5.23%	8.64%	61.70%
35.94%	5.02%	1.89%	24.93%	8.93%	10.27%	13.03%	63%
35.43%	14.11%	8.52%	9.59%	18.86%	2.26%	11.22%	63.20%

L'essai n'est donc pas concluant, le maximum drawdown en incluant une allocation aléatoire long en crypto-monnaies étant systématiquement très supérieur à celui du SP500TR (33,79%) sur les 10'000 portefeuilles créés. Ce résultat n'est pas surprenant étant donné les valeurs individuelles obtenues pour les crypto-monnaies dans le tableau 8. De plus, le SP500TR reste largement surpondéré par rapport aux crypto-monnaies.

En conséquent, une allocation en crypto-monnaie est fortement déconseillée pour un investisseur conservateur et averse au risque.

4.3.3 Amélioration du ratio de Sharpe via une stratégie « long only »

Comme constaté dans la mise en place d'une frontière efficiente et d'un portefeuille tangent, les crypto-monnaies ont la capacité d'augmenter le rendement et le ratio de Sharpe d'un portefeuille. Toutefois, il s'agit désormais de construire des portefeuilles en utilisant uniquement des positions longues. Nous utilisons ici la même méthodologie que le point 4.3.2 en classant les 5 meilleurs portefeuilles en fonction de leur ratio de Sharpe.

Tableau 13: Les 5 portefeuilles avec les ratios de Sharpe les plus élevés (positions long)

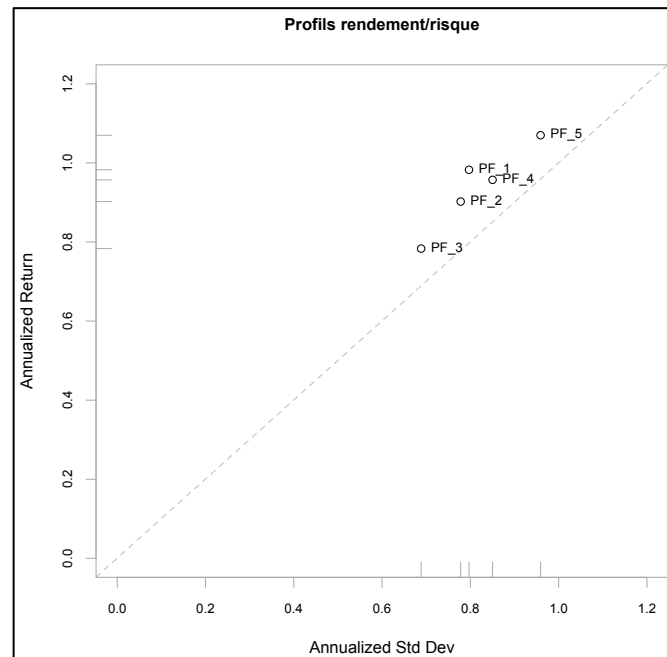
Poids des actifs							Sharpe annualisé (Rf= 1.2%)	Ecart-type annualisé
SP500TR	BTC	ETH	BNB	XRP	ADA	DOGE		
28.14%	3.23%	12.38%	32.37%	4.53%	1.61%	17.73%	1.2	79.69%
26.11%	9.83%	12.36%	28.43%	0.09%	6.68%	16.49%	1.13	77.80%
35.94%	5.02%	1.89%	24.93%	8.93%	10.27%	13.03%	1.11	68.85%
12.02%	8.33%	16.01%	44.83%	7.32%	0.05%	11.44%	1.1	85.03%
9.15%	20.60%	6.47%	36.96%	1.48%	1.80%	23.53%	1.09	95.91%

Sur les 5 portefeuilles symbolisés sur le tableau 13, tous ont un ratio de Sharpe supérieur à 1 sur la période. Concrètement, cela signifie que le portefeuille produit une performance excédentaire (performance – taux sans risque) supérieure à la prise de risque supplémentaire qu'induisent ces portefeuilles.

Nous notons que ce sont le Binance coin, le Dodge coin et l'Ethereum qui sont le plus représentés parmi les crypto-monnaies. Cependant, les portefeuilles bénéficient d'une diversification bien plus élevée que sur le portefeuille minimisant la variance. De plus, la cinquième combinaison nous montre que le SP500 peut représenter une part minime de la combinaison d'actifs.

Bien que la performance ajustée au risque soit élevée, il ne faut pas oublier de souligner que ces portefeuilles sont très risqués du fait de l'amplitude de leur variance. En incluant des crypto-monnaies, ils captent également de ces dernières leurs drawdowns maximaux et moyens plus élevés. Ces allocations d'actifs relèvent donc de profils dits « dynamiques » et conviennent à des investisseurs avec une forte tolérance au risque et un horizon d'investissement très élevé.

Figure 18: Profils risques rendements des portefeuilles maximisant le ratio de Sharpe



Contrairement au Sharpe ratio qui dépend à la fois de la performance et de la variance, la performance excédentaire ne dépend que d'elle-même et du taux sans risque moyen qui est une valeur fixe. Nous pourrions constituer des portefeuilles maximisant le rendement, mais cela reviendrait à allouer la quasi-totalité de ces derniers à l'actif ayant eu la performance la plus élevée sur toute la période : Le Binance Coin. Étant donné que nous voulons constituer des portefeuilles avec plusieurs actifs sur toute la période, nous renonçons à étudier le portefeuille maximisant la performance.

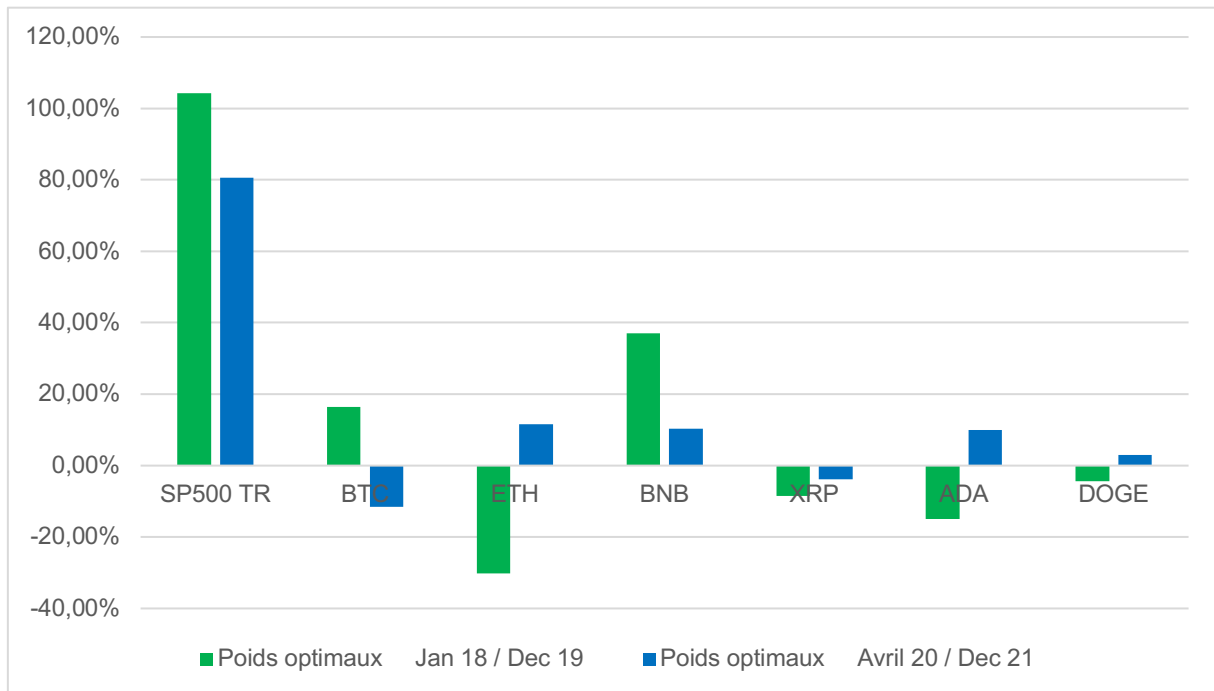
4.3.4 Exploitation des tendances « Bull » et « Bear » via une stratégie long/short

Sur la période observée, nous trouvons respectivement deux périodes de marché baissier et haussier. Nous allons procéder de la manière suivante concernant les périodes Bull pour lesquelles nous pouvons procéder à une optimisation :

- Nous adoptons une stratégie long/short.
- Les poids optimaux des crypto-monnaies et du SP500TR sur les périodes Bull seront calculés afin de maximiser le ratio de Sharpe durant celles-ci.
- Nous comparons les deux allocations optimales

Nous calculons donc les rendements arithmétiques, la matrice de variance et covariance ainsi que le taux sans risque pour chaque période. La figure 19 synthétise les résultats pour les deux périodes de marché haussier.

Figure 19: Poids optimaux des périodes Bull



Sur les deux périodes haussières, il faut garder une grande exposition longue sur le SP500TR afin de maximiser le ratio de Sharpe. Ainsi, on retrouve l'utilisation d'une allocation tactique long sur le Binance Coin ainsi qu'un short sur le Ripple. Les poids des autres crypto-monnaies varient d'une période à l'autre. Le portefeuille optimisé avec un rééquilibrage quotidien nous donne un ratio de Sharpe de 2.4 sur la première période. Si nous utilisons les poids des actifs optimisés de la première période de marché haussier sur la deuxième période, nous obtenons une performance négative. Ainsi, un portefeuille optimisé sur une période haussière ne fonctionnera pas forcément sur la période haussière suivante.

Sur les 5 ans observés, les deux périodes Bear sont très différentes. Celle du covid se prête à l'étude car certaines crypto-monnaies ont eu une performance positive durant la crise : un indice équipondéré composé de nos 6 crypto-monnaies aurait produit une performance de 8.80% contre -19.6% pour le SP500 TR durant cette période. De cette manière, un investisseur en actions aurait pu réduire sa perte en ayant une exposition aux crypto-monnaies étudiées pendant cette période.

L'année 2022 voit elle toutes les cryptomonnaies de notre portefeuille avoir une performance bien pire que le SP500TR. De ce fait, il aurait fallu vendre à découvert le marché des actions ainsi que toutes les cryptomonnaies. En conséquent, nous ne nous intéresserons pas plus en détail à 2022.

4.4 Synthèses des résultats des simulations

Dans le cadre des simulations, nous parvenons à formuler les recommandations suivantes en termes d'allocation d'actifs :

- Le profil de l'investisseur est extrêmement important. Les cryptomonnaies ne constituent pas une classe d'actif viable pour investisseur ayant une capacité de perte ainsi qu'une tolérance au risque très faibles. En effet, nos expérimentations démontrent qu'une allocation d'un portefeuille en crypto-monnaies augmente sensiblement le risque ainsi que les pertes maximales du portefeuille.
- En échange d'une volatilité beaucoup plus élevée, les crypto-monnaies permettent à un investisseur d'augmenter considérablement ses perspectives de gain et ce, que ce soit avec des positions longues ou short. Si celui-ci dispose de la capacité de perte, de l'horizon temporel et de la tolérance au risque requises, l'ajout d'une position en crypto-monnaie constitue une stratégie intéressante.
- Les performances des crypto-monnaies sont décorréliées du SP500. En ce sens, nous privilégions une allocation complémentaire en cryptomonnaies pour un investisseur exposé au marché actions afin de bénéficier du potentiel de diversification de celles-ci sans trop augmenter la variance du portefeuille. Dans ce cas, les actions représenteraient la plus grande partie du portefeuille.
- Au niveau de notre étude, aucune pondération de cryptomonnaies ne permet d'exploiter systématiquement les périodes de marché haussier et baissier. La nature spéculative et l'absence de valeur intrinsèque de ces dernières ne permet pas l'implémentation d'une stratégie simple.
- La portée des résultats quantitatifs de cette étude reste limitée à des indicateurs élémentaires et de nombreuses stratégies n'ont pas été testées.

5 Conclusions

Comparée aux centaines d'années d'existence des actions, l'apparition des cryptoactifs est relativement nouvelle. A la manière de nombreuses technologies innovantes, ce sont les pionniers en la matière qui ont tiré le plus de bénéfices de leur montée en puissance.

Les cryptoactifs ont pour point commun qu'ils sont basés sur une technologie disruptive que constitue la blockchain. Leurs caractéristiques diffèrent fortement des actifs classiques, les rendant iconoclastes.

Ces nouveaux outils font face à de nombreux défis lorsqu'il s'agit de gagner la confiance des investisseurs, en particulier institutionnels, en vue d'être plus largement adoptés. Les derniers scandales évoqués dans la presse ainsi que la nature purement spéculative de nombre de cryptoactifs éloignent la perspective d'une allocation plus répandue dans les portefeuilles d'investissements.

L'issue de ce travail est contrastée quant à l'intégration de cryptoactifs dans un portefeuille diversifié. Les résultats de nos recherches qualitatives et quantitatives démontrent qu'en l'état actuel du marché des crypto-monnaies, ces dernières sont loin de pouvoir convenir à tous les portefeuilles d'investissements. Elles disposent encore moins des caractéristiques nécessaires pour remplacer les actifs traditionnels et alternatifs. Néanmoins, elles peuvent constituer une opportunité pour les investisseurs enclins à prendre certains risques et ayant la conviction qu'ils représentent un actif d'avenir ou sur lequel ils peuvent spéculer. L'ouverture de l'univers d'investissement aux crypto-monnaies permet d'étendre les perspectives de gain et de diversification. Cependant, les investisseurs conservateurs ne doivent pas les considérer comme des actifs conformes à leurs objectifs.

Les conclusions tirées de cette étude reposent sur l'état actuel et passé du marché. De grandes avancées dans la régulation, l'encadrement et l'adoption des cryptoactifs pourraient améliorer l'adéquation de ces derniers avec un plus grand nombre de portefeuilles.

Aussi, les études quantitatives développées dans ce travail sont limitées en termes d'actifs étudiés et de méthodes employées. Quant aux optimisations de portefeuilles, elles ont une portée restreinte pour des actifs aussi imprévisibles et volatiles que les crypto-monnaies.

Bibliographie

10 Best Cryptocurrencies Of January 2023 – Forbes Advisor, 2023. [en ligne]. [Consulté le 27 janvier 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.forbes.com/advisor/investing/cryptocurrency/top-10-cryptocurrencies/>

ADAM HAYES, 2022. What Is the Bloomberg Aggregate Bond Index? *Investopedia* [en ligne]. 22 janvier 2022. [Consulté le 8 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.investopedia.com/terms/l/lehmanaggregatebondindex.asp>

Amount raised for cryptocurrency ICO projects by industry 2019, 2019. *Statista* [en ligne]. [Consulté le 30 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.statista.com/statistics/802925/worldwide-amount-cryptocurrency-ico-projects-by-industry/>

ANKENBRAND, Thomas et BIERI, Denis, 2018. Assessment of cryptocurrencies as an asset class by their characteristics. [en ligne]. 2018. Vol. 15, n° 3, pp. 169-181. [Consulté le 15 janvier 2023]. DOI 10.21511/imfi.15(3).2018.14. Disponible à l'adresse : <https://www.proquest.com/docview/2221313384/abstract/2E02C7FD8BB44635PQ/1>

BBC et COINMARKETCAP, 2022. Cryptocrash: 'I was arrested for knocking on Luna boss's door'. *BBC News* [en ligne]. 23 mai 2022. [Consulté le 9 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.bbc.com/news/technology-61552030>

BOARD OF GOVERNORS OF THE FEDERAL RESERVE SYSTEM (US), 2001. Market Yield on U.S. Treasury Securities at 1-Month Constant Maturity, Quoted on an Investment Basis. *FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis* [en ligne]. 31 juillet 2001. [Consulté le 25 mai 2023]. Disponible à l'adresse : <https://fred.stlouisfed.org/series/DGS1MO>

CASCONI, Sarah, 2021. Sotheby's Is Selling the First NFT Ever Minted—and Bidding Starts at \$100. *Artnet News* [en ligne]. 7 mai 2021. [Consulté le 21 mars 2023]. Disponible à l'adresse : <https://news.artnet.com/market/sothebys-is-hosting-its-first-curated-nft-sale-featuring-the-very-first-nft-ever-minted-1966003>

CME Group Product Slate - CME Group, 2023. [en ligne]. [Consulté le 17 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.cmegroup.com/markets/products.html>

CORBET, Shaen, LUCEY, Brian, URQUHART, Andrew et YAROVAYA, Larisa, 2019. Cryptocurrencies as a financial asset: A systematic analysis. *International Review of Financial Analysis* [en ligne]. 1 mars 2019. Vol. 62, pp. 182-199. [Consulté le 16 mai 2023]. DOI 10.1016/j.irfa.2018.09.003. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1057521918305271>

Does oil drive inflation? | FRED Blog, 2018. [en ligne]. [Consulté le 17 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://fredblog.stlouisfed.org/2018/11/does-oil-drive-inflation/>

DUAN, Kun et URQUHART, Andrew, 2023. The instability of stablecoins. *Finance Research Letters* [en ligne]. 1 mars 2023. Vol. 52, pp. 103573. [Consulté le 9 avril 2023]. DOI 10.1016/j.frl.2022.103573. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1544612322007498>

EUROPEAN CENTRAL BANK, 2023. Qu'est-ce que la monnaie ? *European Central Bank*

[en ligne]. 16 février 2023. [Consulté le 2 avril 2023]. Disponible à l'adresse : https://www.ecb.europa.eu/ecb/educational/explainers/tell-me-more/html/what_is_money.fr.html

EUROSTAT, 2013. *Système européen des comptes SEC 2010* [en ligne]. Office des publications de l'Union européenne. Luxembourg : EUR-OP. [Consulté le 7 mai 2023]. ISBN 978-92-79-31243-4. Disponible à l'adresse : <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5925793/KS-02-13-269-FR.PDF/cfd0cb42-e51a-47ce-85da-1fbf1de5c86c>

Explainer: What is a negative crude future and does it mean anything for consumers?, 2020. *Reuters* [en ligne]. [Consulté le 18 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.reuters.com/article/us-global-oil-crash-explainer-idUSKBN22301M>

FINMA, Eidgenössische Finanzmarktaufsicht, 2018. FINMA publishes ICO guidelines. *Eidgenössische Finanzmarktaufsicht FINMA* [en ligne]. 16 février 2018. [Consulté le 30 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.finma.ch/en/news/2018/02/20180216-mm-ico-wegleitung/>

FRANÇOIS DUC, 2023. *Asset Management sur R*. Genève : HEG Genève.

FRIEDRICH HAYEK et THE INSTITUTE OF ECONOMIC AFFAIRS, 1976. *Denationalisation of Money* [en ligne]. Gorton Pro-Print Co Ltd. [Consulté le 4 mars 2023]. ISBN 25536087-8. Disponible à l'adresse : <https://iea.org.uk/publications/research/denationalisation-of-money-0/>

GIULIO CORNELLI, SEBASTIAN DOERR, JON FROST, et LEONARDO GAMBACORTA, 2023. Crypto shocks and retail losses. *Bank for International Settlements* [en ligne]. 20 février 2023. N° 69. [Consulté le 1 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.bis.org/publ/bisbull69.pdf>

HOLDEN, Richard et MALANI, Anup, 2019. *The Ico Paradox: Transactions Costs, Token Velocity, and Token Value* [en ligne]. SSRN Scholarly Paper. 1 septembre 2019. Rochester, NY. 3454366. [Consulté le 23 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://papers.ssrn.com/abstract=3454366>

HUANG, Kalley, 2022. Why Did FTX Collapse? Here's What to Know. *The New York Times* [en ligne]. 10 novembre 2022. [Consulté le 18 mai 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.nytimes.com/2022/11/10/technology/ftx-binance-crypto-explained.html>

KATY BURNE et BNY MELLON, 2020. *Tokens of appreciation* [en ligne]. BNY Mellon. [Consulté le 23 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.bnymellon.com/content/dam/bnymellon/documents/pdf/markets/tokens-of-appreciation.pdf.coredownload.pdf>

LAWDER, David, SULLIVAN, Andy et SULLIVAN, Andy, 2023. Analysis: Debt ceiling deal ignores US debt time bomb. *Reuters* [en ligne]. 5 juin 2023. [Consulté le 16 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.reuters.com/world/us/debt-ceiling-deal-ignores-us-debt-time-bomb-2023-06-05/>

MAKAROV, Igor, SCHOAR, Antoinette, et BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS, 2022. Cryptocurrencies and Decentralised Finance (DeFi). [en ligne]. décembre 2022. pp. 19-29. [Consulté le 2 avril 2023]. Disponible à l'adresse :

<https://www.bis.org/publ/work1061.htm>

MARKOWITZ, H, 1959. *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments* [en ligne]. Yale University Press. Yale University Press. [Consulté le 3 avril 2023]. ISBN 1-55786-108-0. Disponible à l'adresse : <http://www.jstor.org/stable/j.ctt1bh4c8h>

MENAFN - PRESS RELEASES (ENGLISH), 2022. Asset-Backed Tokens The Antidote To Crypto Volatility? [en ligne]. 18 septembre 2022. [Consulté le 23 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://advance.lexis.com/document/?pdmfid=1516831&crd=9e03fcc2-37c1-40f2-9072-7841c3439904&pddocfullpath=%2Fshared%2Fdocument%2Fnews%2Furn%3AcontentItem%3A66R3-J721-DY6B-24GB-00000-00&pdcontentcomponentid=473845&pdteaserkey=sr2&pditab=allpods&ecomp=-znyk&earg=sr2&prid=5809f2f8-7428-46be-ae1e-4e69760d0fdc>

NAKAMOTO, Satoshi, 2008. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. [en ligne]. 2008. [Consulté le 21 mars 2023]. Disponible à l'adresse : <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>

Number of cryptocurrencies 2013-2023, 2023. *Statista* [en ligne]. [Consulté le 21 mars 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.statista.com/statistics/863917/number-crypto-coins-tokens/>

OZDAMAR, Melisa, SENSOY, Ahmet et AKDENIZ, Levent, 2022. Retail vs institutional investor attention in the cryptocurrency market. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money* [en ligne]. 1 novembre 2022. Vol. 81, pp. 101674. DOI 10.1016/j.intfin.2022.101674. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1042443122001469>

PORTFOLIOLABS, 2023. Bitcoin (BTC-USD) - Stock Analysis. [en ligne]. 2023. [Consulté le 7 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://portfolioslab.com/symbol/BTC-USD>

PWC, 2022. Stablecoins. *PwC* [en ligne]. 2022. [Consulté le 7 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.pwc.ch/fr/insights/disclose/34/stablecoins.html>

Report: More Than Three-Quarters of ICOs Were Scams, 2018. [en ligne]. [Consulté le 30 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.coindesk.com/markets/2018/07/12/report-more-than-three-quarters-of-icos-were-scams/>

ROONEY, Paige Tortorelli, Kate, 2022. Celsius clients with collateral stuck on failed crypto platform turn to bankruptcy process for relief. *CNBC* [en ligne]. 3 décembre 2022. [Consulté le 1 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.cnbc.com/2022/12/03/celsius-users-with-crypto-collateral-stuck-turn-to-bankruptcy-process.html>

SEC, 2023. *Framework for "Investment Contract" Analysis of Digital Assets* [en ligne]. SEC. [Consulté le 23 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.sec.gov/files/dlt-framework.pdf>

SIGALOS, Ari Levy, MacKenzie, 2022. Crypto peaked a year ago — investors have lost more than \$2 trillion since. *CNBC* [en ligne]. 11 novembre 2022. [Consulté le 1 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.cnbc.com/2022/11/11/crypto-peaked-in-nov-2021-investors-lost-more-than-2-trillion-since.html>

Annexe 1 : Code R pour les actifs classiques et simulations de portefeuilles sur base de 252 jours

```
## Preliminaries-----

library("dplyr")
library("ggplot2")
library("lubridate")
library("readr")
library("readxl")
library("quantmod")
library("tseries")
library("PerformanceAnalytics")
library("lubridate")
library("dygraphs")
library("xts")
library("zoo")
library("textplot")
library("Hmisc")
library("writexl")
library("IntroCompFinR")

# Obtention du rf sur toute la période
rf_daily<-getSymbols("DGS1M0", src="FRED", auto.assign=FALSE)
rf_daily<-window(rf_daily,start=Beg_date, end=End_date)
rf_daily<-na.spline(rf_daily)
riskfree<-mean(rf_daily)/(100*252)
riskfree_a<-((riskfree+1)^252)-1
# Opération sur SP500
#SP500 Total Return
getSymbols("^SP500TR", from=Beg_date, to=End_date)
SP500TR_r<-diff(Ad(SP500TR))/stats::lag(Ad(SP500TR))[-1]

#Sp500 at close
getSymbols("^GSPC", from=Beg_date, to=End_date)
SP500_r<-diff(Cl(GSPC))/stats::lag(Cl(GSPC))[-1]
SP500_price_m<-Cl(to.monthly(GSPC))
bbdates_SP500<-
bb.dating.states(price=as.vector(coredata(SP500_price_m)),dates=index(SP500_price_m),
                 bull=run_dating_alg(as.vector(coredata(SP500_price_m))))
bbdates_SP500<-bbdates_SP500[,-4]
colnames(bbdates_SP500)<-c("Bull dates", "Mois", "Amplitude bull", "Bear
dates", "Mois", "Amplitude bear")
p1<-"2018-01-02/2019-12-30"
p2<-"2020-01-02/2020-03-31"
p3<-"2020-04-01/2021-12-30"
p4<-"2022"

# Gold
Gold<-getSymbols("GC=F", from=Beg_date,to=End_date, auto.assign = FALSE)
Gold<-na.spline(Gold)
Gold<-diff(Cl(Gold))/stats::lag(Cl(Gold))[-1]

# Oil
Oil<-getSymbols("CL=F", from=Beg_date,to=End_date, auto.assign = FALSE)
Oil<-na.spline(Oil)
Oil<-diff(Cl(Oil))/stats::lag(Cl(Oil))[-1]

Commodities<-cbind(Gold,Oil)
```

```

colnames(Commodities)<-c("Gold","Oil")

# Obligations
Bloomberg_Agg_Bonds <- read_excel("PriceHistory_Bloomberg_Agg.xlsx",
                                col_types = c("date", "numeric"))
Bloomberg_Agg_Bonds<-as.xts(Bloomberg_Agg_Bonds)
Bloomberg_Agg_Bonds<-Bloomberg_Agg_Bonds["2017-12-29/2022-12-31"]
Bloomberg_Agg_Bonds_r<-dailyReturn(Bloomberg_Agg_Bonds)
colnames(Bloomberg_Agg_Bonds_r)<-c("Bonds returns")
Bloomberg_Agg_Bonds_r<-Bloomberg_Agg_Bonds_r[-c(1,2),]

# Vecteur contenant les tickers des crypto-monnaies
Tickers_crypto <- c("BTC-USD", "ETH-USD", "BNB-USD", "XRP-USD", "ADA-USD",
"DOGE-USD")

# Création d'une liste pour stocker les données
crypto_data <- list()

for (ticker in Tickers_crypto) {
  # Récupération des données
  crypto <- getSymbols(ticker, src = "yahoo", auto.assign = FALSE)

  # Exclure les samedis et dimanches
  crypto <- crypto[.indexyday(crypto) %in% 1:5]

  # Vérification de la longueur de la série chronologique
  if (sum(complete.cases(crypto)) >= 1260) { # 1260 jours correspondent à
5 ans de données d'actifs classiques (252 jours par an)
    crypto_data[[ticker]] <- crypto
  }
}
#Suppression objet crypto et ticker inutiles
rm(crypto)
rm(ticker)
# créer une liste vide pour stocker les nouveaux objets xts avec
uniquement les valeurs de clôture (Colonne 4)
crypto_data_cl <- list()

# boucle for pour sélectionner la 4ème colonne de chaque objet xts
for (i in seq_along(crypto_data)) {
  crypto_data_cl[[i]] <- crypto_data[[i]][, 4]
}

#Dates de début communes
Com_date<-as.Date(Reduce(intersect, lapply(crypto_data_cl, index))[1])
Beg_date<-dmy(30122017)
End_date<-dmy(30122022)
# Fusionner toutes les composantes en un seul objet xts uniquement avec
les valeurs de clôture depuis le 31.12.2017
crypto_xts_all <- do.call(merge.xts, crypto_data_cl)
crypto_xts_all<-window(crypto_xts_all,start=Beg_date, end=End_date)
rm(crypto_data_cl)
rm(crypto_data)
#Vérifier si données manquantes (NA)
colSums(is.na(crypto_xts_all))>0

# calculer les performances quotidiennes de chaque actif

```

```

daily_returns_crypto_252<-Return.calculate(crypto_xts_all)
daily_returns_crypto_252<-daily_returns_crypto_252[-c(1,2),]
# renommer les colonnes du tableau
colnames(daily_returns_crypto_252) <- paste0("Return_",
colnames(daily_returns_crypto_252))

#Créer un objet avec tous les actifs
All_Assets<-
cbind(SP500TR_r,Bloomberg_Agg_Bonds_r,Commodities,daily_returns_crypto_252)
colSums(is.na(All_Assets))

# Supprimer tous les jours fériés signalés par des NA
All_Assets<-na.omit(All_Assets)

## Opérations sur SP500 ----
# Performance simple et annualisée sur périodes

charts.PerformanceSummary(SP500TR_r, main="SP500TR Cumulative
performance")
table.Drawdowns(SP500TR_r)

Return.cumulative(SP500TR_r["2018-01-02/2019-12-30"])
Return.cumulative(SP500TR_r["2020-04-01/2021-12-30"])
Return.cumulative(SP500TR_r["2020-01-02/2020-03-31"])
Return.cumulative(SP500TR_r["2022"])
Return.cumulative(SP500TR_r)

Return.annualized(R=SP500TR_r["2018-01-02/2019-12-30"],scale=252,
geometric = TRUE)
Return.annualized(R=SP500TR_r["2020-04-01/2021-12-30"],scale=252,
geometric = TRUE)
Return.annualized(R=SP500TR_r["2020-01-02/2020-03-31"],scale=252,
geometric = TRUE)
Return.annualized(R=SP500TR_r["2022"],scale=252, geometric = TRUE)
Return.annualized(R=SP500TR_r,scale=252, geometric = TRUE)
maxDrawdown(SP500TR_r)

# SD, sharpe et return

table.AnnualizedReturns(SP500_r[p1],Rf=mean(rf_daily[p1])/(100*252))
table.AnnualizedReturns(SP500_r[p2],Rf=mean(rf_daily[p2])/(100*252))
table.AnnualizedReturns(SP500_r[p3],Rf=mean(rf_daily[p3])/(100*252))
table.AnnualizedReturns(SP500_r[p4],Rf=mean(rf_daily[p4])/(100*252))

table.AnnualizedReturns(SP500_r,Rf=riskfree) # Sur les 5 ans

## Opérations sur commodities----

# Performances
charts.PerformanceSummary(Commodities, main="Performance cumulée de l'or
et du pétrole")

## Opérations sur obligations ----
table.AnnualizedReturns(Bloomberg_Agg_Bonds_r[p1],Rf=mean(rf_daily[p1])/
(100*252))
table.AnnualizedReturns(Bloomberg_Agg_Bonds_r[p2],Rf=mean(rf_daily[p2])/
(100*252))

```

```

table.AnnualizedReturns(Bloomberg_Agg_Bonds_r[p3],Rf=mean(rf_daily[p3])/
(100*252))
table.AnnualizedReturns(Bloomberg_Agg_Bonds_r[p4],Rf=mean(rf_daily[p4])/
(100*252))
charts.PerformanceSummary(Bloomberg_Agg_Bonds_r, main="Bloomberg U.S. Agg
bond cumulated returns")
maxDrawdown(Bloomberg_Agg_Bonds_r)

## Correlation des actifs ----
# Utiliser all assets avec SP500 et non SP500TR
Cor_SP500_crypto<-cor(cbind(SP500_r,All_Assets[,c(2,5,6,7,8,9,10)]))
Cor_SP500_crypto<-data.frame(Cor_SP500_crypto)
#write_xlsx(Cor_SP500_crypto, path=~Library/Mobile Documents/
com~apple~CloudDocs/HEG/HEG 2022-2023 (iCloud Drive)/TB/Data/TB-2023/
cor.xlsx")

## Minimum variance portfolio avec bonds----

# Var_covar
ret_arithm<-colMeans(All_Assets)
var_covar<-var(All_Assets)

# Nombres aléatoires
set.seed(200)
nombres_alea <- runif(100000)
poids_alea <- matrix(nombres_alea, nrow=10000, ncol=10)
colnames(poids_alea) <- colnames(All_Assets)
for (i in 1:10000) {
  poids_alea[i, 1:10] <-
  poids_alea[i, 1:10] / sum(poids_alea[i, 1:10])
}

rm(nombres_alea)

# Risque et rendement pour pf aléatoires
pf_risque<-rep(0, 10000)
pf_rendement<-rep(0, 10000)
for (i in 1:10000) {
  pf_risque[i] <- sqrt(t(poids_alea[i,]) %**% var_covar %**% poids_alea[i,])
  pf_rendement[i] <- t(poids_alea[i,]) %**% ret_arithm
  pf_rendement[i] <- (1+pf_rendement[i] -0.5*pf_risque[i]^2)^252-1
  pf_risque[i] <- pf_risque[i] * sqrt(252)
}

plot(pf_risque, pf_rendement, xlab="Risque", ylab="Rendement", lwd=.1,
main="Risque et rendements des portefeuilles")

#Portefeuille minimum variance
minVol_pf <- globalMin.portfolio(ret_arithm, var_covar, shorts=FALSE)
minVol_er<-(1+minVol_pf$er - 0.5* minVol_pf$sd^2)^252-1
minVol_sd<-252^.5 * minVol_pf$sd

summary(minVol_pf)

```

```

## Minimum variance portfolio et frontière efficiente sans bonds----

# Var_covar
ret_arithm<-colMeans(All_Assets[,-2])
var_covar<-var(All_Assets[,-2])

# Nombres aléatoires
set.seed(200)
nombres_alea <- runif(900000)
poids_alea <- matrix(nombres_alea, nrow=100000, ncol=9)
colnames(poids_alea) <- colnames(All_Assets[,-2])
for (i in 1:100000) {
  poids_alea[i, 1:9] <-
  poids_alea[i, 1:9] / sum(poids_alea[i, 1:9])
}

rm(nombres_alea)

# Risque et rendement pour pf aléatoires
pf_risque<-rep(0, 100000)
pf_rendement<-rep(0, 100000)
for (i in 1:100000) {
  pf_risque[i] <- sqrt(t(poids_alea[i,]) %**% var_covar %**% poids_alea[i,])
  pf_rendement[i] <- t(poids_alea[i,]) %**% ret_arithm
  pf_rendement[i] <- (1+pf_rendement[i] -0.5*pf_risque[i]^2)^252-1
  pf_risque[i] <- pf_risque[i] * sqrt(252)
}

plot(pf_risque, pf_rendement, xlab="Risque", ylab="Rendement", lwd=.1,
      main="Risque et rendements des portefeuilles")

#Portefeuille minimum variance
minVol_pf <- globalMin.portfolio(ret_arithm, var_covar, shorts=TRUE)
minVol_er<-(1+minVol_pf$er - 0.5* minVol_pf$sd^2)^252-1
minVol_sd<-252^.5 * minVol_pf$sd
summary(minVol_pf)

# Portefeuille tangeant
tan_pf<- tangency.portfolio(ret_arithm, var_covar, risk.free = riskfree,
shorts = TRUE)
tan_er<-(1+tan_pf$er - 0.5* tan_pf$sd^2)^252-1
tan_sd<-252^.5 * tan_pf$sd

summary(tan_pf)
#Frontière efficiente
ef_frontier<-efficient.frontier(er = ret_arithm, cov.mat = var_covar,
                                nport = 100,shorts=TRUE)
ef_fr_rd<-(1+ef_frontier$er - 0.5* ef_frontier$sd^2)^252-1
ef_fr_sd<-252^.5*ef_frontier$sd

#Graphique

plot(ef_fr_sd, ef_fr_rd, xlab="risk", ylab="return")
points(pf_risque, pf_rendement, col="grey")
points(minVol_sd, minVol_er, col="green", pch=16, cex=2)
text(minVol_sd, minVol_er, labels = "Min Var", pos = 4)

```

```

points(tan_sd, tan_er, col="red", pch=16, cex=2)
text(tan_sd, tan_er, labels = "Pf tangent", pos = 3)
sr.tan = (tan_er - 252*riskfree)/tan_sd
abline(a=252*riskfree, b=sr.tan, col="blue", lwd=2)

## Pf tangent et min var sans crypto-monnaies et sans bonds ----
#pf tangent
ret_arithm_crypto<-colMeans(All_Assets[,c(2,5,6,7,8,9,10)])
var_covar_crypto<-var(All_Assets[,c(2,5,6,7,8,9,10)])

tan_pf_sc<- tangency.portfolio(ret_arithm_crypto, var_covar_crypto,
risk.free = riskfree, shorts = TRUE)
tan_er_sc<-(1+tan_pf_sc$er - 0.5* tan_pf_sc$sd^2)^252-1
tan_sd_sc<-252^.5 * tan_pf_sc$sd
summary(tan_pf_sc)
# pf min var
minVol_pf_sc <- globalMin.portfolio(ret_arithm_crypto, var_covar_crypto,
shorts=TRUE)
minVol_er_sc<-(1+minVol_pf_sc$er - 0.5* minVol_pf_sc$sd^2)^252-1
minVol_sd_sc<-252^.5 * minVol_pf_sc$sd
summary(minVol_pf_sc)

## PF min volatilité ----
Market_vs_cryptos<-All_Assets[,c(1,5,6,7,8,9,10)]

minVol_pf_1 <- globalMin.portfolio(colMeans(Market_vs_cryptos[p1]),
var(Market_vs_cryptos[p1]), shorts=FALSE)
minVol_er_1<-(1+minVol_pf_1$er - 0.5* minVol_pf_1$sd^2)^252-1
minVol_sd_1<-252^.5 * minVol_pf_1$sd
minVol_pf_1[["weights"]]
table.AnnualizedReturns(Return.portfolio(Market_vs_cryptos[p1], weights
=minVol_pf_1[["weights"]], rebalance_on = "days" ))
table.AnnualizedReturns(SP500TR_r[p1])

minVol_pf_2 <- globalMin.portfolio(colMeans(Market_vs_cryptos[p2]),
var(Market_vs_cryptos[p2]), shorts=FALSE)
minVol_er_2<-(1+minVol_pf_2$er - 0.5* minVol_pf_2$sd^2)^252-1
minVol_sd_2<-252^.5 * minVol_pf_1$sd
minVol_pf_2[["weights"]]
table.AnnualizedReturns(Return.portfolio(Market_vs_cryptos[p2], weights
=minVol_pf_2[["weights"]], rebalance_on = "days" ))
table.AnnualizedReturns(SP500TR_r[p2])

minVol_pf_3 <- globalMin.portfolio(colMeans(Market_vs_cryptos[p3]),
var(Market_vs_cryptos[p3]), shorts=FALSE)
minVol_er_3<-(1+minVol_pf_3$er - 0.5* minVol_pf_3$sd^2)^252-1

```

```

minVol_sd_3<-252^.5 * minVol_pf_3$sd
minVol_pf_3[["weights"]]
table.AnnualizedReturns(Return.portfolio(Market_vs_cryptos[p3], weights
=minVol_pf_3[["weights"]], rebalance_on = "days" ))
table.AnnualizedReturns(SP500TR_r[p3])

minVol_pf_4 <- globalMin.portfolio(colMeans(Market_vs_cryptos[p4]),
var(Market_vs_cryptos[p4]), shorts=FALSE)
minVol_er_4<-(1+minVol_pf_4$er - 0.5* minVol_pf_4$sd^2)^252-1
minVol_sd_4<-252^.5 * minVol_pf_4$sd
minVol_pf_4[["weights"]]
table.AnnualizedReturns(Return.portfolio(Market_vs_cryptos[p4], weights
=minVol_pf_4[["weights"]], rebalance_on = "days" ))
table.AnnualizedReturns(SP500TR_r[p4])

## Réduction du drawdown ----
# Drawdowns existants
table.Drawdowns(SP500TR_r, drop=FALSE)
maxDrawdown(SP500TR_r["2018-09-21/2019-04-12"])
maxDrawdown(SP500TR_r["2020-02-20/2020-08-10"])
maxDrawdown(SP500TR_r["2022"])

#Drawdowns moyens minimums du rendement pendant la période

set.seed(100)
nombres_alea <- runif(7000)
poids_alea <- matrix(nombres_alea, nrow=1000, ncol=7)
colnames(poids_alea) <- colnames(Market_vs_cryptos)
for (i in 1:1000) {
  poids_alea[i, 1:7] <-
  poids_alea[i, 1:7] / sum(poids_alea[i, 1:7])
}

drawdowns_moyens <- list()
poids_selectionnes <- list()

# Boucle pour créer et évaluer les portefeuilles
for (i in 1:1000) {

  poids_portefeuille <- poids_alea[i, ]
  rendements_portefeuille <- Return.portfolio(Market_vs_cryptos,weights =
poids_portefeuille, rebalance_on = "months")
  drawdown_moyen <- maxDrawdown(rendements_portefeuille)
  drawdowns_moyens[[i]] <- drawdown_moyen
}

drawdowns_moyens <- unlist(drawdowns_moyens)
top_5_portefeuilles <- head(sort(drawdowns_moyens,decreasing = FALSE), 5)

for (i in 1:1000) {

  poids_portefeuille <- poids_alea[i, ]
  rendements_portefeuille <- Return.portfolio(Market_vs_cryptos,weights =
poids_portefeuille, rebalance_on = "months")
  drawdown_moyen <- maxDrawdown(rendements_portefeuille)
}

```

```

drawdowns_moyens[[i]] <- drawdown_moyen
if (drawdown_moyen %in% top_5_portefeuilles) {
  poids_selectionnes[[i]] <- poids_portefeuille
}
}
poids_selectionnes <- do.call(rbind, poids_selectionnes)
poids_selectionnes<-round(poids_selectionnes*1,2)

## Amélioration du sharpe ----

# Création des portefeuilles aléatoires
sharpe_ratios <- list()
poids_selectionnes_sharpe <- list()

for (i in 1:1000) {

  poids_portefeuille_sh <- poids_alea[i, ]
  rendements_portefeuille_sh <- Return.portfolio(Market_vs_cryptos,weights
= poids_portefeuille_sh, rebalance_on = "months")
  sharpe <- SharpeRatio.annualized(rendements_portefeuille_sh,Rf=riskfree)
  sharpe_ratios[[i]] <- sharpe
}

sharpe_ratios <- unlist(sharpe_ratios)
top_5_portefeuilles_sharpe <- head(sort(sharpe_ratios, decreasing = TRUE),
5) # Classement des 5 meilleurs

for (i in 1:1000) {

  poids_portefeuille_sh <- poids_alea[i, ]
  rendements_portefeuille_sh <- Return.portfolio(Market_vs_cryptos,weights
= poids_portefeuille_sh, rebalance_on = "months")
  sharpe <- SharpeRatio.annualized(rendements_portefeuille_sh,Rf=riskfree)
  sharpe_ratios[[i]] <- sharpe
  if (sharpe %in% top_5_portefeuilles_sharpe) {
    poids_selectionnes_sharpe[[i]] <- poids_portefeuille_sh
  }
}

poids_selectionnes_sharpe <- do.call(rbind, poids_selectionnes_sharpe)
#Obtention des poids des 5 meilleurs
poids_selectionnes_sharpe<-round(poids_selectionnes_sharpe,2)

# 5 meilleurs portefeuilles

PF_sharpe1<-Return.portfolio(Market_vs_cryptos,weights =
poids_selectionnes_sharpe[5,], rebalance_on = "months")
colnames(PF_sharpe1)<-c("PF_1")
PF_sharpe2<-Return.portfolio(Market_vs_cryptos,weights =
poids_selectionnes_sharpe[2,], rebalance_on = "months")
colnames(PF_sharpe2)<-c("PF_2")
PF_sharpe3<-Return.portfolio(Market_vs_cryptos,weights =
poids_selectionnes_sharpe[3,], rebalance_on = "months")
colnames(PF_sharpe3)<-c("PF_3")
PF_sharpe4<-Return.portfolio(Market_vs_cryptos,weights =
poids_selectionnes_sharpe[1,], rebalance_on = "months")

```

```

colnames(PF_sharpe4)<-c("PF_4")
PF_sharpe5<-Return.portfolio(Market_vs_cryptos,weights =
poids_selectionnes_sharpe[4,], rebalance_on = "months")
colnames(PF_sharpe5)<-c("PF_5")

# Ratio de Sharpe des 5 meilleurs
SharpeRatio.annualized(PF_sharpe1, Rf=riskfree)
SharpeRatio.annualized(PF_sharpe2, Rf=riskfree)
SharpeRatio.annualized(PF_sharpe3, Rf=riskfree)
SharpeRatio.annualized(PF_sharpe4, Rf=riskfree)
SharpeRatio.annualized(PF_sharpe5, Rf=riskfree)

# Graphique rendement / risque
Results_sharpe<-
table.AnnualizedReturns(cbind(PF_sharpe1,PF_sharpe2,PF_sharpe3,
PF_sharpe4,PF_sharpe5),
Rf=riskfree,)
Results_sharpe<-t(Results_sharpe)[,-3]
chart.RiskReturnScatter(Results_sharpe, method="nocalc",
Rf=riskfree,scale=252, add.sharpe = 1,
xlim=c(0,1.2),
ylim=c(0,1.2), main="Profils rendement/risque")

# Ecart type annualisé
sd.annualized((Return.portfolio(Market_vs_cryptos,weights =
poids_selectionnes_sharpe[5,], rebalance_on = "months")))
sd.annualized((Return.portfolio(Market_vs_cryptos,weights =
poids_selectionnes_sharpe[2,], rebalance_on = "months")))
sd.annualized((Return.portfolio(Market_vs_cryptos,weights =
poids_selectionnes_sharpe[3,], rebalance_on = "months")))
sd.annualized((Return.portfolio(Market_vs_cryptos,weights =
poids_selectionnes_sharpe[1,], rebalance_on = "months")))
sd.annualized((Return.portfolio(Market_vs_cryptos,weights =
poids_selectionnes_sharpe[4,], rebalance_on = "months")))

## Exploitation des périodes Bull et Bear ----

# Périodes
Market_vs_cryptos_p1<-Market_vs_cryptos[p1]
Market_vs_cryptos_p2<-Market_vs_cryptos[p2]
Market_vs_cryptos_p3<-Market_vs_cryptos[p3]
Market_vs_cryptos_p4<-Market_vs_cryptos[p4]

#riskfree
riskfree_p1<-mean(rf_daily[p1])/(100*252)
riskfree_p2<-mean(rf_daily[p2])/(100*252)
riskfree_p3<-mean(rf_daily[p3])/(100*252)
riskfree_p4<-mean(rf_daily[p4])/(100*252)

# Rendements arithmetiques pour chaque période
ret_arithm_p1<-colMeans(Market_vs_cryptos_p1)
ret_arithm_p2<-colMeans(Market_vs_cryptos_p2)
ret_arithm_p3<-colMeans(Market_vs_cryptos_p3)
ret_arithm_p4<-colMeans(Market_vs_cryptos_p4)

# Var covar pour chaque période
var_covar_p1<-var(Market_vs_cryptos_p1)

```

```

var_covar_p2<-var(Market_vs_cryptos_p2)
var_covar_p3<-var(Market_vs_cryptos_p3)
var_covar_p4<-var(Market_vs_cryptos_p4)

# Bull
sharpe_pf_p1<- tangency.portfolio(ret_arithm_p1, var_covar_p1, risk.free =
riskfree_p1, shorts = TRUE)
sharpe_pf_p1_er<-(1+sharpe_pf_p1$er - 0.5* sharpe_pf_p1$sd^2)^252-1
sharpe_pf_p1_sd<-252^.5 * sharpe_pf_p1$sd
sharpe_pf_p1[["weights"]]

table.AnnualizedReturns(Return.portfolio(Market_vs_cryptos_p1, weights =
sharpe_pf_p1[["weights"]],
rebalance_on = "days"),Rf=riskfree_p1)

sharpe_pf_p3<- tangency.portfolio(ret_arithm_p3, var_covar_p3, risk.free =
riskfree_p3, shorts = TRUE)
sharpe_pf_p3_er<-(1+sharpe_pf_p3$er - 0.5* sharpe_pf_p3$sd^2)^252-1
sharpe_pf_p3_sd<-252^.5 * sharpe_pf_p3$sd
sharpe_pf_p3[["weights"]]

table.AnnualizedReturns(Return.portfolio(Market_vs_cryptos_p3, weights =
sharpe_pf_p3[["weights"]],
rebalance_on =
"days"),Rf=riskfree_p3)

# Bear
# Portefeuille équilibré

table.AnnualizedReturns(Return.portfolio(Market_vs_cryptos_p2[,-1],
weights = rep(1/6,6),
rebalance_on =
"days"),Rf=riskfree_p2)
Return.cumulative(Return.portfolio(Market_vs_cryptos_p2[,-1], weights =
rep(1/6,6),
rebalance_on = "days"), geometric =
TRUE)
Return.cumulative(Market_vs_cryptos_p2[,1], geometric = TRUE)

```

Annexe 2 : Code R pour les cryptomonnaies sur base de 360 jours

```
## Chargement Packages-----

library("dplyr")
library("ggplot2")
library("lubridate")
library("readr")
library("readxl")
library("quantmod")
library("tseries")
library("PerformanceAnalytics")
library("lubridate")
library("dygraphs")
library("xts")
library("zoo")
library("textplot")
library("Hmisc")

## Mise en format des données crypto-----

# Vecteur contenant les tickers des crypto-monnaies
Tickers_crypto<-c("BTC-USD","ETH-USD","BNB-USD","XRP-USD","ADA-USD","DOGE-
USD")

# Création d'une liste pour stocker les données
crypto_data <- list()

for (ticker in Tickers_crypto) {
  # Récupération des données
  crypto <- getSymbols(ticker, src = "yahoo", auto.assign = FALSE)

  # Vérification de la longueur de la série chronologique
  if (sum(complete.cases(crypto)) >= 1260) { # 1260 jours correspondent à
5 ans de données d'actifs classiques (252 jours par an)
    crypto_data[[ticker]] <- crypto
  }
}
#Suppression objet crypto et ticker inutiles
rm(crypto)
rm(ticker)
# créer une liste vide pour stocker les nouveaux objets xts avec
uniquement les valeurs de clôture (Colonne 4)
crypto_data_cl <- list()

# boucle for pour sélectionner la 4ème colonne de chaque objet xts
for (i in seq_along(crypto_data)) {
  crypto_data_cl[[i]] <- crypto_data[[i]][, 4]
}
rm(i)
#Dates de début communes
Com_date<-as.Date(Reduce(intersect, lapply(crypto_data_cl, index))[1])
Beg_date<-dmy(30122017)
End_date<-dmy(30122022)

# Fusionner toutes les composantes en un seul objet xts uniquement avec
les valeurs de clôture depuis le 31.12.2017
crypto_xts_all <- do.call(merge.xts, crypto_data_cl)
crypto_xts_all<-window(crypto_xts_all,start=Beg_date, end=End_date)
rm(crypto_data_cl)
```

```

rm(crypto_data)

#Vérifier si données manquantes (NA)
colSums(is.na(crypto_xts_all))>0

# calculer les performances quotidiennes de chaque actif
daily_returns_crypto<-Return.calculate(crypto_xts_all)
daily_returns_crypto<-daily_returns_crypto[-c(1,2),]

# Calculer les performances mensuelles de chaque actif
monthly_returns_crypto<-
crypto_xts_all[endpoints(crypto_xts_all,on="months")]
monthly_returns_crypto<-diff(monthly_returns_crypto)/
stats::lag(monthly_returns_crypto)[-1]

#Périodes
p1<-"2018-01-02/2019-12-30"
p2<-"2020-01-02/2020-03-31"
p3<-"2020-04-01/2021-12-30"
p4<-"2022"

## Obtention du rf sur toute la période -----
rf_daily<-getSymbols("DGS1M0", src="FRED", auto.assign=FALSE)
rf_daily<-window(rf_daily,start=Beg_date, end=End_date)
rf_daily<-na.spline(rf_daily)
riskfree<-mean(rf_daily)/(100*252)

#Vue de toutes les crypto
charts.PerformanceSummary(daily_returns_crypto, main="Performance des
crypto-monnaies")
table.AnnualizedReturns(daily_returns_crypto,Rf=riskfree, scale=360)
SortinoRatio(daily_returns_crypto)
maxDrawdown(daily_returns_crypto)

#Average recovery
AverageRecovery(daily_returns_crypto)
AverageLength(daily_returns_crypto)
AverageDrawdown(daily_returns_crypto)
table.Drawdowns(daily_returns_crypto$Return_BTC.USD.Close)

# Correlation
cor_table<-cor(daily_returns_crypto)
?chart.Correlation(daily_returns_crypto)

```