

Université du Québec en Outaouais

**CRYPTOMONNAIES  
ET  
PRÉDICTION DU TAUX DE CHANGE**

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ COMME EXIGENCE PARTIELLE

DU PROGRAMME DE LA MAÎTRISE

EN ÉCONOMIE FINANCIÈRE

PAR

**GHASSEN AYARI**

Novembre 2022

## Remerciements

Si j'ai eu la force, le courage et la volonté pour effectuer cette recherche, c'est grâce à Dieu le Tout-Puissant, que je dois remercier avant tout.

Je tiens également à remercier l'Université du Québec en Outaouais avec tous ses départements sans exception de m'offrir un climat agréable pour pratiquer ma passion et d'acquérir une excellente formation très complète dans mon domaine d'étude. Cette formidable université m'a permis de bénéficier du savoir de professeurs très compétents et bien expérimentés qui m'ont soutenu tout au long mon programme d'étude.

Je tiens à remercier mon directeur de mémoire, Monsieur Li Yan, de m'avoir encadré, encouragé, aidé et conseillé. J'ai appris beaucoup de choses grâce à lui, d'autant plus que son expérience, sa disponibilité et ses suggestions m'ont guidé constamment au cours de ce projet.

Je tiens aussi à remercier aussi les membres du jury, Monsieur David Tessier et Monsieur Saïd Boukendour, pour leur lecture attentive de ma thèse ainsi que pour leurs commentaires et remarques qu'ils m'adresseront afin d'améliorer mon travail.

La force et la volonté ne peuvent exister si tu n'es pas motivé. Cette source ne peut commencer dans un premier temps que par la famille. Je tiens donc à remercier mes parents pour leur soutien financier et surtout moral sans oublier leur curiosité et leur intérêt pour cette technologie financière moderne.

Finalement, il ne faut pas non plus oublier de remercier le créateur des cryptomonnaies, Satoshi Nakamoto, de m'avoir embarqué dans le domaine des monnaies virtuelles, car sans son génie et son intelligence, les cryptoactifs et ses systèmes décentralisés n'existeraient peut-être pas aujourd'hui.

## RÉSUMÉ

Les cryptoactifs, aussi appelés cryptomonnaies, sont des monnaies numériques utilisables au moyen d'un réseau informatique décentralisé qui gère le fonctionnement des diverses cryptomonnaies. Malgré leur développement et leur croissance rapide sur le plan des taux de changes dans le monde, les cryptomonnaies, à l'instar du bitcoin, soulèvent de nombreuses questions financières, notamment la prédiction du prix extrêmement volatile, ce qui motive nos recherches. Après une introduction de différentes cryptomonnaies, le présent mémoire vise à analyser les évolutions historiques de différents taux de change des cryptomonnaies au cours des dix dernières années. Toutefois, la vérification de stationnarité étant prouvée, la prédiction des taux de change sera réalisée par deux modèles économétriques, à commencer par  $\alpha$ -Sutte Indicator dans un premier temps et ARIMA. La comparaison des résultats des trois modèles économétriques nous permettra de dégager leur efficacité dans l'estimation des taux de change des cryptomonnaies.

*Mots clés* : cryptomonnaies, taux de change, stationnarité, indicateur  $\alpha$ -Sutte, ARIMA, prédiction.

## **Abstract**

Crypto assets are digital currencies, which are neither regulated by the state nor by the central bank. A decentralized computer network that manages the operation of the various cryptocurrencies. Despite its development and rapid growth in exchange rates around the world, cryptocurrencies, like bitcoin, are raising many financial questions. After focusing on the introduction of the different crypto-currencies and their presentation and history, this thesis aims to analyze the different exchange rates of crypto-currencies over the last ten years by performing different stationarity tests to reduce the probability of spurious regressions. However, the verification of stationarity is proven, the prediction of exchange rates will be done by three econometric models starting with  $\alpha$ -Sutte indicator to the first and ARIMA. The comparison of the results of the three econometric models allows us to identify their effectiveness in the estimation of exchange rates of cryptocurrencies.

*Keywords:* cryptocurrencies, crypto currencies, crypto assets, digital currencies, virtual currencies, exchange rates, stationarity,  $\alpha$ -Sutte indicator, ARIMA, prediction.

## Table des matières

Remerciements.....	1
Abstract .....	3
CHAPITRE I : Présentation des cryptomonnaies .....	6
1.3 Introduction.....	6
1.4 Histoire des cryptomonnaies.....	8
1.3 Caractéristiques essentielles des cryptomonnaies .....	11
1.4 L’accession aux systèmes des cryptomonnaies.....	14
1.5 Différentes variétés de cryptomonnaies.....	15
CHAPITRE II : Rôles économiques des cryptomonnaies .....	18
2.1 Débat des cryptomonnaies.....	18
2.2 Avantages des cryptomonnaies.....	21
2.3 Inconvénients des cryptomonnaies.....	23
2.4 Attitude officielle de l’autorité monétaire des pays envers les cryptomonnaies.....	24
2.5 Problématique.....	29
CHAPITRE III : Méthodologie.....	31
3.1 $\alpha$ -Sutte Indicator.....	31
3.2 Modèles autorégressifs et moyenne mobile (ARMA) .....	32
3.3 Moyenne mobile intégrée autorégressive (ARIMA) .....	33
a. Analyse graphique des cryptomonnaies .....	34
b. Corrélogramme.....	34

c. Test de racine unitaire (Dickey-Fuller) .....	34
d. Stationnarisation des séries temporelles par la méthode de différenciation .....	35
e. Analyse des fonctions d'autocorrélation simple et partielle .....	36
f. Prédiction des séries des cryptomonnaies par la méthode ARMA ou ARIMA .....	36
CHAPITRE IV : Résultats des prévisions des cryptomonnaies.....	40
4.1 Données.....	40
4.2 Prédiction par la méthode de $\alpha$ -Sutte Indicator.....	44
a. Prédiction bitcoin par $\alpha$ -Sutte Indicator.....	44
b. Prédiction Ethereum par $\alpha$ -Sutte Indicator.....	44
c. Prédiction Tether $\alpha$ -Sutte Indicator.....	44
d. Prédiction Cardano $\alpha$ -Sutte Indicator.....	45
e. Prédiction Litecoin par $\alpha$ -Sutte Indicator.....	45
4.3 Analyse des séries temporelles des cinq cryptomonnaies sur Eviews.....	45
a. Analyse et prédiction de la série temporelle du Bitcoin.....	45
b. Analyse et prédiction de la série temporelle de l'Ethereum.....	49
c. Analyse et prédiction de la série temporelle du Tether.....	53
d. Analyse et prédiction de la série temporelle du Cardano.....	56
e. Analyse et prédiction de la série temporelle du Litecoin.....	59
4.4 Comparaison des résultats du modèle $\alpha$ -Sutte Indicator et ARIMA pour les prévisions des cinq cryptomonnaies.....	63
a. Comparaison des résultats des prévisions de Bitcoin.....	63
b. Comparaison des résultats des prévisions de l'Ethereum.....	64
c. Comparaison des résultats des prévisions deTether.....	64
d. Comparaison des résultats des prévisions de Cardano.....	65
e. Comparaison des résultats des prévisions de Litecoin.....	65
Résumé de la recherche.....	66

# CHAPITRE I

## PRÉSENTATION DES CRYPTOMONNAIES

*À mesure que la valeur augmente, les têtes commencent à pivoter et les sceptiques commencent à s'atténuer.  
Commencer une nouvelle devise est facile, n'importe qui peut le faire.  
L'astuce consiste à amener les gens à l'accepter, car c'est leur utilisation qui donne la valeur en argent.*

*Adam B. Levine<sup>1</sup>*

*Well, I think it works. There may be other currencies like this that could be even better. But in the meantime, there is a big industry around Bitcoin. People have made fortunes with Bitcoin, some have lost money. It is volatile, but people also profit from volatility.*

**Richard Branson<sup>2</sup>**

### 1.1 Introduction

Très tôt dans l'histoire de l'humanité, la première forme d'échange des biens était le troc. Ce mécanisme se définit comme étant un échange direct entre différents agents économiques qui se caractérise par un petit nombre d'échanges et des besoins réciproques. Ces fameux marchés ont été constitués en Lydie, l'actuelle Turquie, au début du VII<sup>e</sup> siècle. Le troc n'est qu'une méthode d'échange entre les personnes de la société pour acquérir leurs nécessités vitales de base. En effet, ce mécanisme présente une double coïncidence des besoins afin d'être effectué avec succès. Cependant, le troc peut devenir un moyen d'échange compliqué pour les commerçants lorsque les intérêts ne sont pas identiques. Avec le temps apparaissent de nouvelles formes de billets chiffrés et imprimés sur des papiers ou bien des pièces numérisées permettant de donner des valeurs à

n'importe quels objets exploités sur le marché. En effet, cette monnaie permet d'accélérer et de faciliter les échanges de marchandises entre les agents économiques. Avoir confiance en la valeur des pièces ou des billets monétaires apparus permet aux monnaies de devenir fiduciaires.

Les monnaies fiduciaires se basent principalement sur la confiance des utilisateurs et non pas sur les coûts de production, ce qui fait de celles-ci une monnaie légale fabriquée par une autorité centrale.

L'unité de compte, le moyen de règlement et la réserve de valeur sont les trois nouvelles fonctions de la monnaie. La première sert à exprimer la valeur de chaque bien et le service exploité sur le marché. La deuxième est très simple : il s'agit d'un paiement immédiat par une pièce ou un billet chiffré pour échanger les marchandises et par la suite éviter le troc. Enfin, la troisième fonction de la monnaie est la conservation ou bien le maintien pour épargner ou pour effectuer un autre achat de biens et de services dans un autre temps. On peut affirmer que la monnaie est une source de richesse non risquée et ses trois fonctions sont toujours présentes, quelle que soit la forme de la monnaie.

Les systèmes monétaires fiduciaires se mettent à risque à la suite de l'arrivée de l'internet et de l'évolution des technologies. L'avancement de ces dernières permet de créer des systèmes monétaires virtuels gérés par leurs utilisateurs et non pas par l'État ou la banque centrale. Les monnaies numériques sont alors décentralisées et leurs opérations s'effectuent électroniquement par internet.

Une pièce ou un billet chiffré est créé pour octroyer une valeur aux marchandises entre les commerces sur un marché. Ce n'est pas réellement la valeur, mais la confiance entre les utilisateurs de ces monnaies qui permet de réaliser l'échange. Ces monnaies distribuées par les banques et régulées par les gouvernements connaissent des difficultés après la crise des subprimes en 2007 dont la politique vise à protéger les banques contrairement à son peuple, ce qui favorise la création de monnaies numériques comme le Bitcoin.

Estimant que l'État ou la banque centrale gère le système monétaire fiduciaire et le contrôle, l'individu cherche à être libre dans ses transactions financières, plus précisément à ne pas



être bloqué ou guidé par des lois ou des instructions émises par les autorités qui exercent leurs pouvoirs sur eux.

L'apparition des cryptoactifs décentralisés et chiffrés lui redonne sa liberté face aux différentes institutions et permet de diminuer leur pouvoir sur les individus. Les transactions seront effectuées électroniquement avec des coûts plus faibles sur internet et gérées par des banques.

## **1.2 Une histoire des cryptomonnaies**

Le fait de dissimuler les informations ou de créer un code nous conduit aux mots grecs « crypto ». Quand on dit monnaie numérique, le Bitcoin est la première chose qui nous vient en tête, mais le concept des monnaies virtuelles existait déjà même vingt ans avant de la création de ce dernier. Certaines entreprises qui ont déclaré faillite avaient pour but de créer des monnaies virtuelles. DigiCah Inc et son fondateur David Chaum avaient cette idée en tête, mais ils n'ont pas réussi à bien la développer.

Un autre moyen de paiement électronique, en or plus précisément, a été créé en 1996 par e-Gold Ltd et son fondateur Douglas Jackson. Le but était de posséder une monnaie numérique qui allait changer le monde de la finance. Or, cette monnaie a été illégalement utilisée et ses créateurs ont fini par être condamnés à la suite d'activités illégales comme le blanchiment d'argent ou bien des opérations frauduleuses.

« B-money » et « Bit Gold » sont deux systèmes électroniques de trésorerie anonyme basés sur la preuve du travail créés en 1998 par Wei Dai et Nick Szabo. En janvier 2009, la plus populaire cryptomonnaie, Bitcoin, est apparue, mais l'idée existait déjà une année avant étant donné qu'un groupe de personnes utilisaient le pseudonyme de Satoshi Sakamoto. Cette dernière cryptodevise est un système de paiement non contrôlé ni par l'État ni par la banque centrale, mais plutôt un système décentralisé qui fonctionne pair à pair et diffère des autres systèmes monétaires, même sur le plan de la sécurité.

La création du Bitcoin n'a pas empêché l'apparition des autres cryptomonnaies, mais ces dernières n'ont pas connu un grand succès contrairement au Bitcoin.



**Figure 1.1** Logos des cryptomonnaies (Sources : google.ca)

En effet, la croissance rapide de l'intérêt vers le bitcoin en 2011 ainsi que le rôle des médias lié à la présentation de ce cryptoactif favorisent la création de ce qu'on appelle la deuxième génération des cryptomonnaies. Cette génération est inspirée de la première génération telle que l'Ethereum.

En 2017, EOS.IO, Cardano (ADA), AION, ICON (ICX) et Raiden Network (RDN) sont des nouvelles cryptomonnaies de la troisième génération créées et dérivées de l'Ethereum. Le 8 novembre 2021, on trouve 13 795 cryptomonnaies avec une valeur de capitalisation de 2 885 140 \$ sur CoinMarket Cap. Le bitcoin domine toujours la liste, suivi par l'Ethereum qui vient en seconde position.

Une forte croissance de la valeur de taux de change du bitcoin en 2021 a attiré l'attention de plusieurs investisseurs sur les sites électroniques. La valeur a dépassé le double, même le triple du marché de monnaie fiduciaire qui est à risque, et la place des banques centrales est devenue instable dans la société moderne. Ayant passé de 7000 \$ au début de 2020 à plus de 40 000 \$ en 2021, ces cryptodevises sont échangées sur la blockchain. Ce débat peut porter à confusion, donc il importe de l'éclairer.

Les cryptomonnaies sont divisées en deux, des cryptomonnaies publiques et des cryptomonnaies monnaies privées.

Les cryptomonnaies publiques sont liées directement à une monnaie de l'État : le dollar, l'euro, le RMB chinois. Il s'agit tout simplement de ces monnaies négociées sur la blockchain et placées sur le bilan de la banque centrale. Le crypto public se divise en deux types : un crypto-euro pouvant être divisé en cryptomonnaies de gros et une cryptomonnaie de détail.

Les opérations de transfert de fonds entre les banques et la banque centrale sur le marché interbancaire sont effectuées par les cryptomonnaies de gros dont le but d'assurer une plus grande efficacité et une plus grande rapidité avec cette nouvelle évolution technologique. Toutefois, les cryptomonnaies de détails sont utilisées par tous les agents économiques pour effectuer leur paiement (ce qui commence à être testé en Chine) ; ce n'est pas une nouvelle monnaie (il s'agit toujours de l'euro, dollars, RMB chinois), mais bien un nouveau moyen de paiement et de maintien de l'épargne monétaire. Si les billets sont changés par des cryptomonnaies, aucun changement ne se passe du point de vue macroéconomique ; en revanche, une substitution de cryptomonnaie de détail au moment du dépôt bancaire peut entraîner un effet macroéconomique important. Les banques, en effet, perdent des dépôts (qui sont remplacés par des dépôts en cryptomonnaies au passif de la banque centrale) et, pour pouvoir partager la même quantité de crédit, elles doivent donc utiliser des ressources empruntées, soit sur les marchés financiers, soit auprès de la banque centrale. Ceci peut conduire à une hausse du coût de l'intermédiation bancaire, à un freinage de l'offre de crédit, puisque les banques perdent une partie d'une ressource stable et gratuite qui est les dépôts.

Avant de convertir une cryptomonnaie publique de gros en une cryptomonnaie publique de détail, les banques centrales doivent donc penser à l'effet potentiellement très négatif sur le secteur bancaire de cette perte de ressource stable et bon marché, et elles doivent se préparer à refinancer les banques pour le montant équivalent. Il y a d'ailleurs un modèle extrême dit « 100 % monnaie » où la totalité des dépôts se trouvent sur le bilan de la banque centrale et où les banques n'utilisent que des ressources empruntées pour financer les crédits.

Les cryptomonnaies privées (Bitcoin, Ether, *etc.*) sont de nature différente : il s'agit d'un actif additionnel, par rapport aux actifs déjà existants, ce qui n'est pas le cas des

cryptomonnaies publiques (le crypto-euro par exemple est de l'euro) ; les cryptomonnaies privées ont un prix qui change par rapport aux monnaies officielles. L'autre différence majeure est que les cryptomonnaies privées sont essentiellement des monnaies de placement et non de transaction : très peu de biens et services sont négociés en Bitcoin, le Bitcoin étant essentiellement un actif de diversification de portefeuille, un actif de placement.

La première particularité des cryptomonnaies privées réside dans le fait qu'elles ne versent aucun revenu (comme l'or). Leur valeur fondamentale (la somme actualisée des dividendes futurs) est donc de 0, et leur prix est simplement une bulle. La seconde particularité des cryptomonnaies privées est que leur offre (la quantité offerte) est exogène et de plus en plus stable et rigide (avec le coût croissant du minage). Ceci implique que l'augmentation de la demande pour une cryptomonnaie privée mène uniquement à une hausse de son prix, sans réaction de l'offre de cette monnaie. Les prix peuvent donc augmenter de manière particulièrement volatile et s'élever à des niveaux très élevés : si 1 % de la monnaie mondiale était investie en Bitcoin, le prix du Bitcoin triplerait par rapport à son niveau du début de 2021. Ainsi, les cryptomonnaies privées (le Bitcoin) ne peuvent pas occuper une place intéressante dans les portefeuilles financiers, la volatilité de leurs prix étant si forte que la demande pour ces actifs restera faible et que le poids optimal de ces monnaies dans la richesse sera très limité (au début de 2021, 700 milliards de dollars de capitalisation du Bitcoin pour une richesse mondiale de 700 000 milliards de dollars).

### **1.3 Caractéristiques essentielles des cryptomonnaies**

La banque est le principal acteur si on parle d'un système de paiement, ce dernier se plaçant comme un intermédiaire entre deux commerçants lors d'un échange. Ces systèmes diffèrent dans le nombre d'acteurs, qui peut se varier de trois à quatre acteurs, soit deux banques différentes avec un payeur et un vendeur ou bien un payeur et un vendeur avec la même banque. Des frais relatifs aux coûts de transaction seront ajoutés par la banque lors de la réalisation de l'opération. Depuis la création de Bitcoin en 2009, il n'est plus nécessaire d'effectuer une transaction avec trois acteurs au minimum. Ce nouveau système de paiement numérique a exclu le tiers de la confiance qui est la banque et positionne les deux

autres acteurs de manière à effectuer directement ses transactions. En effet, il est important d'établir une distinction entre bitcoin avec une minuscule et Bitcoin qui commence avec une majuscule, la première étant une monnaie cryptographique alors que la deuxième est tout un système de paiement implanté par Satoshi Nakamoto.

Ainsi, Bitcoin (BTC) est un système de paiement pair à pair qui favorise la connexion entre plusieurs ordinateurs sur un même réseau permettant de partager les fichiers, d'échanger les informations et de communiquer entre eux ou bien distribue des calculs d'une manière complètement décentralisée. Ce système permet à ses utilisateurs d'éviter les opérations bancaires et les paiements coûteux des frais de chaque transaction effectuée lors d'un achat ou de vente des biens ou des services ; de plus, il offre un réseau très efficace dont les transactions sont exécutées d'une manière rapide sans obligation de se déplacer vers les banques. Il s'agit d'une nouvelle méthode d'échange direct sans qu'il soit bloqué par des lois ou bien des règles émises par les gouvernements.

Les cryptomonnaies qui circulent sur le marché numérique de manière cachée sont examinées et expédiées par des agents nommés mineurs Bitcoin. Ses agents assurent le contrôle des transactions.

Une fois que les transactions sont vérifiées par les mineurs Bitcoin, leur confirmation entraîne la création d'un bloc permettant aux mineurs d'être récompensés. Ces transactions sont déplacées vers un registre virtuel où elles sont enregistrées d'une manière sécurisée, bien détaillée depuis le démarrage du système. Ce registre est appelé blockchain ou chaîne de blocs.

Les organes gouvernementaux qui appliquent des lois et imposent des règles aux utilisateurs de marche numérique ne peuvent pas distinguer les opérations du système Bitcoin puisque chaque transaction engendre une nouvelle adresse Bitcoin pour son possesseur.

La Blockchain est constituée de nœuds permettant d'éprouver et de préserver la version de la chaîne depuis la création du premier bloc. Elle se définit comme étant la connexion des différents utilisateurs sur le même réseau internet dont le but est d'exercer une ou plusieurs transactions électroniques. La chaîne de blocs est un journal public de toutes les

transactions Bitcoin par ordre chronologique. Elle est partagée entre tous les utilisateurs du réseau Bitcoin. Elle est utilisée pour vérifier la permanence des transactions Bitcoin et empêcher la dépense. Un bloc est ajouté à la chaîne des blocs par les minages toutes les 10 minutes en moyenne. La présence d'un bloc signifie que plusieurs transactions sont en attente pour être exécutées et seront confirmées dans une chaîne de blocs. Une confirmation signifie qu'une transaction a été examinée par le réseau et que ses chances d'être renversée sont quasiment inexistantes. Une seule confirmation est suffisante pour protéger les petits montants ou bien les petites transactions alors qu'il faut attendre 6 confirmations ou plus pour des sommes de plus de 1000 dollars. La confirmation est une preuve de sécurité pour les transactions effectuées sur le système électronique : un plus grand nombre de confirmations diminue exponentiellement le risque d'un renversement de transaction.

Le système de paiement Bitcoin est un système d'échanges directs très sécurisé qui fonctionne de manière cryptographique et décentralisée. La cryptographie est une branche mathématique qui permet d'inventer des preuves mathématiques qui offrent un haut niveau de sécurité. Avec le système Bitcoin, la sécurité des portefeuilles des utilisateurs du système est toujours assurée par la cryptographie ; il est utilisé pour éviter toutes sortes de dépenses des fonds provenant du portefeuille d'un autre utilisateur et pour écarter les problèmes qui mènent à la corruption de la chaîne des blocs. Tout portefeuille qui existe sur le système Bitcoin est protégé par un mot de passe à entrer afin de pouvoir exercer ou bien effectuer des transactions à travers son espace électronique. Exclure une institution financière comme la banque présente la forte protection que donne le système Bitcoin à ses utilisateurs. En effet, il ne serait pas possible pour un individu mal intentionné d'acquérir la même unité bitcoin grâce à la création d'un processus d'horodatage par le génie Satoshi Nakamoto. Ce processus sert à stocker toute information liée à l'opération effectuée sous forme informatique tout en précisant l'heure, la date et même l'instant. Toutes ces informations sont nommées empreintes ou bien timestamp. En outre, le fonctionnement du système horodatage nécessite une preuve de travail qui bloque toute attaque informatique ayant pour but de détruire le système. De plus, la stabilité de la chaîne est assurée par une fonction de hachage qui rend les informations entrées et le bloc créé inchangables et fixes. Pour mesurer la puissance de traitement du réseau Bitcoin, il est indispensable d'utiliser le taux de hachage. Le réseau Bitcoin doit effectuer des calculs mathématiques intensifs pour

des raisons de sécurité. Quand le réseau a atteint un taux de hachage de 10 Th/s, ceci signifie que le réseau peut réaliser 10 billions de calculs par seconde.

Le système Bitcoin offre à ses utilisateurs une clé privée avec une signature cryptographique contenant une information secrète qui leur permet d'effectuer des transactions à travers son portefeuille en bénéficiant d'une sécurité presque totale lors des dépenses des bitcoins. Les clés privées sont enregistrées dans des ordinateurs si l'utilisateur a recours à un portefeuille logiciel, tandis qu'elles sont stockées sur quelques serveurs en ligne s'il utilise un portefeuille en ligne.

La justification de la propriété d'un bitcoin se fait toujours par un mécanisme mathématique dont une signature cryptographique est présentée. Dans le cas du Bitcoin, un portefeuille Bitcoin et ses clés privées sont liés par la magie des mathématiques. Quand un logiciel Bitcoin signe une transaction avec la clé privée appropriée, le réseau entier peut voir que la signature correspond aux bitcoins dépensés. Cependant, il n'existe aucun moyen de deviner votre clé privée afin de voler vos bitcoins durement gagnés.

Le système Bitcoin présente une plateforme d'échange qui n'est contrôlée ni par l'État, ni par la banque centrale, ni par ses utilisateurs afin d'exercer des opérations des différentes unités bitcoin sur un marché électronique dont le taux de change est fixe par des marchés spécialisés variant selon l'offre et la demande.

#### **1.4 L'accession au système des cryptomonnaies**

De nos jours, celui qui possède des bitcoins possède une richesse importante sur le plan du marché monétaire numérique à la suite de la hausse de son cours de change par rapport à son cours depuis qu'il est apparu en 2009. Même si cette richesse n'est pas garantie, le cours de change du bitcoin ne cessera pas d'augmenter du jour au lendemain. Cette progression importante pousse les investisseurs vers l'achat des cryptomonnaies et spécialement le bitcoin, qui représente la cryptodevise la plus populaire parmi ces monnaies. Alors que ce dernier vient en tête de liste des cryptoactifs les plus échangés et que sa valeur est la plus importante, il est possible de changer des monnaies réelles en liquide contre des bitcoins. Des distributeurs sont mis en travail pour effectuer ces

transactions, permettant aux investisseurs de posséder des bitcoins contre de l'argent liquide ou même des cartes de paiement comme des cartes de crédit. L'achat du bitcoin n'est pas une opération très compliquée, tout le monde peut avoir accès au système Bitcoin.

Le système du Bitcoin est un système décentralisé qui favorise l'échange direct entre deux investisseurs dans lequel la nécessité d'un intermédiaire est exclue. En effet, les frais de transaction effectués dans le cadre de ce système sont moins élevés qu'en présence d'un tiers fiduciaire. Par la suite, plusieurs bitcoins sont exposés sur des sites ou bien des plateformes à l'investisseur qui souhaite acquérir cette cryptomonnaie, mais lorsqu'on vérifie, on constate que les prix ne sont pas les mêmes, le taux de change varie d'une plateforme à un autre. La différence entre les différentes plateformes peut parfois entraîner la perte de milliers de dollars lorsqu'on parle de plusieurs transactions. L'intelligence des utilisateurs de ces plateformes et même leur expérience entrent en jeu lors de la négociation des bitcoins qui peuvent même être échangés contre des biens et des services. Les taux de change qui varient d'une plateforme à une autre peuvent être expliqués par le volume d'échange, les moyennes de transaction effectuées étant les principales actions pour calculer le prix du bitcoin. En effet, le prix du bitcoin sur une plateforme peut être établi par la réunion entre l'offre et la demande.

### **1.5 Différentes variétés de cryptomonnaies**

En 2021, de nombreuses cryptomonnaies qui sont mises sur différentes plateformes permettent aux investisseurs d'exercer des transactions telles que l'achat ou les ventes des cryptodevises électroniquement. Le Bitcoin occupe toujours la première place sur toutes les plateformes ; cette première cryptomonnaie apparue en 2009 ne cesse jamais d'augmenter, sa capitalisation de marche a dépassé les 510 milliards d'euros avec plus de 18,6 millions en circulation.

Se plaçant en deuxième place derrière le Bitcoin, l'Ethereum est un cryptoactif qui circule beaucoup sur le marché boursier avec un nombre de 114 million tandis que sa capitalisation de marche est plus de 150 milliards d'euros. On est toujours dans le système d'échanges décentralisé qui interdit l'intervention d'un tiers de confiance lorsque les utilisateurs sont



en train de négocier leurs contrats préétablis « smart contracts ». Cet échange se fait par un langage Turing-Complet.

Ripple, Bitcoin Cash, Tether, Bitcoin SV et Litecoin sont d'autres cryptodevises présentées sur le marché monétaire numérique avec de grands nombres en circulation et des capitalisations de marché intéressantes.

Les cryptomonnaies sont très volatiles, et ces valeurs boursières ou bien leur nombre en circulation sur le marché dépendent des différents facteurs, les investisseurs cherchant toujours à gagner en plaçant leur capitale sur des cryptodevises en tendance haussière. En 2021, certaines cryptomonnaies ont été nommées comme le cryptofutur, ce qui a poussé les investisseurs à placer leur part de capital sur ces monnaies.

Tezos (XTZ) est un cryptoactif toujours en tendance à la hausse à long terme, ce qui intéresse davantage les investisseurs qui ont placé leurs fonds dans cette cryptomonnaie. Il dispose d'une plateforme de smart contacts et nécessite une preuve d'enjeu à la réalisation des opérations. Nommé aussi proof of stake, ce système oblige les utilisateurs à prouver qu'ils ont en leur possession une certaine quantité de cryptomonnaies pour poursuivre la validation des blocs supplémentaires dans la chaîne du bloc et acquérir la récompense, s'il y en a une, à l'addition de ces blocs.

Cosmos (ATOM) est basé sur la technique des réseaux blockchain. Les blockchain sont évolués et progressent facilement grâce à ce système.

Stellar Lumens (XLM) exerce différentes opérations telles que l'achat et la vente des devises et des actifs en liaison avec une bourse autonome tout en gardant la décentralisation et avec la liberté d'accès.

De plus, parmi les cryptomonnaies futures investies, on trouve aussi Keleros (PNK) qui favorise la résolution des litiges non centralisés et permet aux utilisateurs de ce système d'être des juges à qui des bénéfices seront accordés pour ce rôle.

Finalement, la dernière cryptomonnaie future dans laquelle les investisseurs ont placé leurs parts de capital est le MakerDAO (MKR, DAI) ; ce cryptoactif est relativement nouveau

sur le marché boursier étant donné qu'il ne dépasse pas trois ans d'existence, mais il est déjà présenté comme étant l'une des monnaies futures pour les investisseurs.

## CHAPITRE II

### RÔLE ÉCONOMIQUE DES CRYPTOMONNAIES

Les cryptomonnaies sont controversées depuis le début. Dans ce chapitre, nous discutons des principaux effets positifs et négatifs des cryptomonnaies sur l'économie.

#### 2.1 Débats sur les cryptomonnaies

Depuis son explosion il y a quelques années, avec un énorme premier pic en décembre 2017 ayant atteint une valeur de 19 000 \$, le bitcoin a attiré l'attention de nombreux investisseurs et financiers dans le monde entier. Cette augmentation du prix du bitcoin soulève de nouvelles interrogations : jusqu'où les cryptomonnaies vont-elles aller ? Le bitcoin peut-il remplacer les monnaies actuelles ?

Sur ces questions, les opinions se divergent : alors que certains voient le bitcoin comme la monnaie du futur, d'autres considèrent que le bitcoin est une monnaie hautement spéculative et qu'on ne peut pas l'utiliser ou bien la remplacer par rapport au dollar. Par ailleurs, si certains vous pousseront à investir dans des bitcoins pour avoir une richesse, d'autres vous avertiront au sujet de leur volatilité et de leur système de sécurité.

Le système du bitcoin est une révolution technologique qui a combiné avec succès plusieurs principes technologiques existants (réseaux peer-to-peer, cryptage asymétrique, preuve de travail, blockchain, *etc.*) pour résoudre le problème des doubles dépenses dans un environnement numérique ouvert. Bitcoin est la première implémentation fonctionnelle d'une solution d'échange de valeur de manière décentralisée, non censurée et publiquement vérifiable, quelle que soit la juridiction, et son utilisation nécessite une approbation préalable et une médiation. L'hyperinflation qui se profile à l'issue de la crise sanitaire pourrait aussi convaincre certaines personnes d'acheter des bitcoins et d'investir dans les monnaies numériques. Le fait que les autorités centrales ne puissent pas dévaluer unilatéralement le Bitcoin permet d'augmenter le nombre de ses partisans en cas d'incertitude sur la monnaie d'un pays ou de faillite d'un pays. L'hyperinflation, qui survient à la fin de la crise sanitaire, peut aussi convaincre ceux qui hésitent à s'intéresser au Bitcoin comme monnaie. Le bitcoin représentera une monnaie

de haute qualité à l'avenir, mais ce ne sera probablement pas la seule. Bitcoin ne craint pas la concurrence. Ni aujourd'hui ni demain, affirme Florent Dubois, le fondateur de cryptodevise.com.

D'autre part, Paul Krugman, lauréat du Prix Nobel 2008, n'est toujours pas convaincu par l'idée que le bitcoin puisse être la monnaie du futur malgré l'importante augmentation de son prix de change. Il affirme que même avec son taux de change actuel, le bitcoin et ses proches n'ont pas réussi à atteindre un rôle économique significatif, et que ce qui arrive à leur valeur est fondamentalement sans intérêt pour ceux d'entre nous qui ne jouent pas le jeu cryptographique. Paul Krugman se base sur les coûts de transaction importants dans ses analyses financières ; l'évolution ultérieure vers les chèques et les cartes de crédit et de débit a encore réduit la nécessité et les coûts de la monnaie papier. C'est ainsi qu'elles ont été largement adoptées par les pays du monde entier. Le fait qu'elles soient largement acceptées insufflé un élan supplémentaire à leur utilisation. En revanche, le bitcoin vient avec des coûts de transaction importants en raison de ses besoins énergétiques. Il n'est pas non plus largement accepté, ce qui accroît encore les coûts nécessaires pour effectuer un commerce pratique en utilisant le bitcoin. De plus, le système de sécurité du bitcoin est remis en question dans ce débat où certains invoquent le manque de capacité de connexion du système bitcoin. En termes pratiques, cela signifie qu'il n'y a pas de réelle protection disponible pour lui comme c'est le cas pour la monnaie papier et l'or. La crédibilité de la monnaie papier est assurée par le soutien des gouvernements. L'or a des applications pratiques dans la bijouterie et l'industrie qui fournissent un lien faible, mais réel avec l'économie réelle. En raison de sa nature numérique et apatride, le bitcoin n'a ni application physique ni autorité centrale pour garantir son statut de moyen d'échange. Si les spéculateurs devaient éprouver un moment de doute collectif, craignant soudainement que les bitcoins ne valent plus rien, les bitcoins deviendraient alors sans valeur. Le bitcoin est même considéré comme une bulle par Krugman, il est toujours volatile selon le financier tant qu'il n'existe pas de support ni d'ancrage. En effet, allant plus loin, le bitcoin a été comparé au système de Ponzi dont le but est d'éviter l'achat de cette cryptomonnaie.

***La pyramide de Ponzi***, également connue sous le nom de schéma de Ponzi, est un accord financier frauduleux qui récompense essentiellement les investisseurs grâce aux fonds fournis par les nouveaux entrants. Le mécanisme du schéma de Ponzi est simple : le promoteur promet au client de revenir au-dessus du taux du marché et le persuade d'investir

pendant un certain temps. Il utilise ces investissements pour le récompenser efficacement. Les clients sont libres de retirer leurs gains, mais c'est une bonne idée de mettre l'argent entre les mains des escrocs et de continuer à croître. Il y a plusieurs sorties, mais ces sorties seront compensées par l'entrée de nouveaux investisseurs. Il s'agit d'un système pyramidal où les bénéficiaires du premier membre proviennent d'investissements de niveau inférieur. C'est pourquoi les affiliés sont utilisés. Les investisseurs sont encouragés à parler de ce « bon filon » autour d'eux en recevant des récompenses. Si vous ne recevez pas assez d'argent pour récompenser les investisseurs, la fraude s'effondrera. Ils se retrouvent dépouillés de leur argent. Une critique régulièrement émise à l'encontre de Bitcoin est que ce dernier serait une « arnaque », et en particulier une pyramide de Ponzi. Cette critique est basée sur plusieurs opérations enregistrées sur ce système comme certains vendeurs de rêves qui promettent d'énormes gains en capital à des étrangers, reflétant les attentes des mêmes communautaires tels que « to the moon » et « have fun staying poor » ; ainsi, l'achat de Bitcoin est injustement présenté comme un investissement alors qu'il s'agit au mieux d'économies. En réalité, il n'existe pas de source externe de revenus. Bitcoin n'est pas une action ou une obligation impliquée dans des activités de production. Ceux qui « abandonnent » seront récompensés pour les contributions des nouveaux entrants. La première personne à acheter du Bitcoin sera brillamment récompensée, contrairement à la dernière personne à se faire arnaquer. De plus les risques liés au trading de cryptomonnaie sont principalement liés à leur prévision de taux de change, ces derniers présentent de nombreux risques et sont très spéculatifs, donc il est indispensable de connaître les taux de change futurs avant d'investir. Des variations inattendues concernant le sentiment de marché peuvent aboutir à des mouvements de cours importants et soudains.

À mon avis, les cryptomonnaies peuvent être considérées comme des monnaies du futur puisqu'elles jouent un rôle très important de nos jours à l'échelle mondiale étant donné qu'elles permettent de rendre les services financiers et les capitaux accessibles à tous. En effet, les cryptoactifs recèlent un potentiel indéniable de développement économique et social offrant à leurs détenteurs des opportunités de croissance financière incroyable. De plus, les cryptomonnaies peuvent créer des opportunités pour les pays peu bancarisés où plusieurs personnes ne peuvent pas accéder au service bancaire de base et dont les taux d'intérêt sont déjà utilisés susceptibles d'entraîner une instabilité économique. Cependant,

les cryptoactifs, avec leur volatilité et leur simplicité d'utilisation, facilitent à tout le monde l'accès à une connexion virtuelle et l'entrée sur le marché des cryptomonnaies. Les coûts de transaction des monnaies virtuelles sont aussi peu élevés par rapport au système bancaire et les transferts des fonds sont plus rapides que les transferts bancaires classiques. Finalement, dans le même secteur économique et financier, les cryptomonnaies offrent une grande liberté aux entrepreneurs qui ont déjà leurs projets ou bien qui comptent investir dans l'avenir en leur permettant de recevoir des monnaies et des paiements de leurs clients dans les devises de leur choix.

## **2.2 Avantages des cryptomonnaies**

Protection contre l'inflation : l'inflation a forcé de nombreuses monnaies à bousculer leur valeur qui a baissé avec le temps. Au moment de son déclenchement, presque chaque cryptomonnaie est libérée avec un montant difficile et rapide. Le fichier informatique ASCII spécifie la quantité de toute pièce : il n'y a que 21 millions de bitcoins libérés sur la planète. Donc, comme la demande augmente, sa valeur augmentera, et pourrait être maintenue avec le marché et, à long terme, prévenir l'inflation.

Autonomie et gestion : transférer ou recevoir de l'argent sans qu'un quelconque tiers ne nous donne la permission ou ne soit impliqué n'était pas possible avant le lancement du système bitcoin. Depuis sa création, l'argent a franchi les frontières sans nécessiter l'autorisation de quiconque à l'inverse du transport de marchandises, d'argent réel ou de personnes. La gouvernance et la maintenance de toute monnaie représentent également un facteur sérieux pour son développement. Les transactions en cryptomonnaies sont stockées par les développeurs/mineurs sur leur matériel dont les frais de transaction leur sont offerts en cadeau pour les inciter à le faire. Depuis que les mineurs en ont fait l'acquisition, ils gardent les enregistrements des transactions exacts et à jour, maintenant l'intégrité de la cryptomonnaie et aussi les enregistrements décentralisés.

Décentralisation : L'un des principaux avantages des cryptomonnaies réside dans le fait qu'elles sont principalement décentralisées. De nombreuses cryptomonnaies sont contrôlées par les développeurs qui les utilisent et ceux qui possèdent une quantité

importante de la pièce ou par une société qui la développe avant de la mettre sur le marché. La décentralisation aide à conserver le monopole de la monnaie libre et sous contrôle, de sorte que personne ne peut déterminer le flux et donc la valeur de la pièce, ce qui, à son tour, la gardera stable et sûre, contrairement aux monnaies fiduciaires qui sont contrôlées par le gouvernement.

Toutefois, cet avantage peut se révéler un inconvénient du point de vue gouvernemental. En effet, les États préfèrent gérer les flux financiers pour éviter l'évasion fiscale ainsi qu'empêcher le blanchiment d'argent et le financement du terrorisme. De ce point de vue, il s'avérera nécessaire de trouver un juste milieu.

Mode de transaction rentable : le faible coût des transactions par rapport au système bancaire traditionnel constitue l'un des autres avantages du Bitcoin. En outre, pour le moment, l'utilisateur du système Bitcoin peut faire des transactions au sein de ce système à un coût presque nul tandis qu'un virement, surtout ceux internationaux, coûte très cher, ou encore un retrait chez une banque concurrente est facturé environ 3 \$ par retrait.

L'une des utilisations les plus courantes des cryptomonnaies consiste à envoyer de l'argent au-delà des frontières. Avec l'aide des cryptomonnaies, les frais de transaction payés par un utilisateur sont réduits à un montant négligeable ou nul. Pour ce faire, il n'est plus nécessaire de faire appel à des tiers, comme VISA ou PayPal, pour vérifier une transaction. Elle supprime l'obligation de payer des frais de transaction supplémentaires.

Les échanges de devises se terminent en douceur : les cryptomonnaies peuvent être achetées en utilisant de nombreuses devises comme le dollar américain, l'euro européen, l'unité de mesure britannique, la roupie indienne ou le yen japonais. Divers portefeuilles et échanges de cryptomonnaies permettent de convertir une devise en une autre en échangeant des cryptomonnaies, entre différents portefeuilles, et en payant des frais de transaction minimes.

Transfert de fonds facile : Les cryptomonnaies ont toujours représenté une solution optimale pour les transactions. Les transactions, qu'elles soient internationales ou nationales en cryptomonnaies, sont rapides comme l'éclair, étant donné que la vérification nécessite peu de temps, car il n'y a que quelques barrières à franchir.

### **2.3 Inconvénients des cryptomonnaies**

Transactions illégales : Comme la confidentialité et la sécurité des transactions en cryptomonnaies sont élevées, il est difficile pour le gouvernement de retrouver un utilisateur par l'adresse de son portefeuille ou de garder un œil sur ses données. Le bitcoin a été utilisé comme mode de paiement (échange d'argent) lors de nombreuses transactions illégales dans le passé, comme l'achat de drogues sur le dark web. Il a également été utilisé par certaines personnes pour convertir leur argent acquis de manière illicite afin d'en cacher la source, par le biais d'un intermédiaire propre.

Risque de perte de données : Les développeurs voulaient faire des documents ASCII virtuellement intraquables, de solides défenses contre le piratage et des protocoles d'authentification impénétrables. Il serait ainsi plus sûr de placer de l'argent dans des cryptomonnaies que dans des espèces physiques ou des coffres bancaires. Toutefois, si un utilisateur perd la clé privée de son portefeuille, il ne pourra pas la récupérer. Le portefeuille restera enfermé avec le nombre de pièces qu'il contient, ce qui pourrait entraîner la perte de l'utilisateur.

Le pouvoir est concentré entre quelques mains : bien que les cryptomonnaies soient connues pour leur caractère décentralisé, le flux et la quantité de certaines monnaies sur le marché sont toujours contrôlés par leurs créateurs et certaines organisations. Ces détenteurs peuvent manipuler la monnaie et provoquer d'énormes fluctuations de son prix. Même les monnaies très échangées sont vulnérables à ces manipulations, comme le bitcoin, dont la valeur a doublé plusieurs fois en 2017.

Acheter des NFT avec d'autres jetons : certaines cryptomonnaies ne peuvent être échangées que dans une ou plusieurs monnaies fiduciaires. Cela oblige l'utilisateur à convertir ces devises en une ou plusieurs devises, comme le bitcoin ou l'éthereum, puis, par le biais d'autres échanges, en la devise souhaitée. Elle peut s'appliquer à certaines cryptomonnaies seulement. En procédant ainsi, les frais de transaction supplémentaires sont ajoutés à la méthode, ce qui coûte de l'argent inutilement.

Aucun remboursement ou annulation : En cas de litige entre les parties concernées, ou si quelqu'un envoie des fonds par erreur à une mauvaise adresse de portefeuille, la pièce ne



peut pas être récupérée par l'expéditeur. Il pourrait être utilisé par de nombreuses personnes pour escroquer les autres en les dépouillant de leur argent. Comme il n'y a pas de remboursement, on peut facilement être arnaqué pour une transaction dont on n'a jamais reçu le produit ou le service.

**Forte consommation d'énergie :** Le minage de cryptomonnaies nécessite beaucoup de puissance de calcul et d'électricité, ce qui le rend très énergivore. Le principal responsable de cette situation est souvent le bitcoin. En effet, le minage du bitcoin nécessite des ordinateurs de pointe et beaucoup d'énergie. Il est donc impossible de le faire avec des ordinateurs ordinaires. Les principaux mineurs de bitcoins se trouvent dans des pays comme la Chine qui utilisent du charbon pour produire de l'électricité, ce qui a considérablement augmenté l'empreinte carbone de la Chine.

**Vulnérabilité au piratage :** Bien que les cryptomonnaies soient très sécurisées, les échanges ne semblent pas l'être autant. La plupart des échanges stockent les données de portefeuille des utilisateurs pour figurer correctement leur identifiant. Ces données sont souvent volées par des pirates, ce qui leur donne accès à de nombreux comptes. Après avoir obtenu l'accès à ceux-ci, ces pirates peuvent transférer efficacement des fonds de ces comptes. Certains échanges, comme Bitfinex ou Mt Gox, ont été piratés au cours des dernières années, et des milliers et des milliers de dollars américains ont été volés en bitcoins. La plupart des bourses sont aujourd'hui hautement sécurisées, mais un nouveau piratage est toujours possible.

## **2.4 Attitude officielle de l'autorité monétaire des pays envers les cryptomonnaies**

La Chine : après que le pays a interdit l'industrie des cryptomonnaies depuis plusieurs mois dans des provinces chinoises, le cours du Bitcoin a baissé de plus de 7,5 % dans la province du Sichuan le 21 juin 2021. La guerre contre les cryptoactifs se poursuit en Chine : l'État chinois est toujours en garde pour freiner l'industrie du « mining » de cryptomonnaies. Cette pratique vise à créer de nouveaux actifs grâce à la puissance de calcul d'ordinateurs, en l'interdisant de fait dans le Sichuan, une région clé du sud-ouest du pays. Malgré l'annonce officielle de l'interdiction de l'industrie des cryptomonnaies en 2017, la Chine

figure toujours en tête du classement mondial en tant que premier producteur d'actifs de cryptomonnaies avec près de 80 % des échanges mondiaux. Plusieurs entreprises ont annoncé leur fermeture : plus de 26 entreprises dans la province Sichuan ont abandonné leurs activités.

Sichuan vient en deuxième position dans le classement des provinces les plus productives des cryptomonnaies en Chine après Xinjiang situé au nord-ouest, mais elle occupe 90 % des capacités de mining de bitcoin du pays selon le quotidien officiel *Global Times*.

Cette interdiction entraîne la baisse du cours du Bitcoin de 7,5 % dont la valeur en dollars est de 32,918.

L'autorité chinoise a donné des ordres aussi aux fournisseurs d'énergie de cesser de fournir de l'électricité aux entreprises dont les secteurs d'activité touchent à l'industrie des cryptomonnaies ; les autorités locales ont été incitées à chercher et fermer les entreprises concernées, dans une province considérée jusqu'ici comme la première productrice de cryptomonnaies en Chine. Et effectivement, la fourniture d'énergie à destination de ces entreprises a été totalement stoppée, selon les médias chinois, une information en tête des tendances sur les réseaux sociaux du pays. Un ancien producteur a confirmé à l'AFP que « tout était en train de fermer » et que des vérifications étaient réalisées afin de s'assurer que « nous mettons effectivement fin aux opérations et retirons les machines ». Cette opération intervient alors que la Chine essaye d'atténuer l'intérêt suscité par les cryptomonnaies dans le pays, tant pour des raisons environnementales qu'économiques, du fait de la spéculation entourant ces actifs, ou sociétaux. Le gouvernement central se présente comme étant de plus en plus sévère à l'égard d'une industrie particulièrement énergivore qui pourrait l'empêcher d'atteindre ses objectifs climatiques : selon une récente étude publiée dans *Nature*, cette industrie pourrait produire l'équivalent des émissions carbone de l'Italie ou de l'Arabie Saoudite d'ici 2024 sans action des autorités.

Le Salvador : malgré une forte résistance de la population et les critiques d'économistes et d'organisations financières internationales, le Salvador devient, le mardi 7 septembre 2021, le premier pays au monde à accepter la pièce de monnaie en tant que monnaie légale, à côté du dollar américain. Pour le président de l'État et son gouvernement, le bitcoin permettra aux Salvadoriens d'économiser 400 millions de dollars en frais bancaires lorsqu'ils

envoient de l'argent à travers la diaspora aux États-Unis, qui représente 22 % du PIB national. Le dollar américain est la monnaie utilisée depuis 20 ans au Salvador, elle est présentée comme une monnaie légale du pays dans lequel plus des deux tiers des 6,5 millions de Salvadoriens préfèrent effectuer leurs opérations avec cette monnaie. Ce sont des décisions (prises) sans concertation de ce gouvernement et des parlementaires, les gens ne voient pas à quel point celles-ci auront un impact positif en modifiant considérablement leurs conditions de vie. Le sondage de l'Université centraméricaine (UCA) révèle que 65,2 % de la population qui n'a pas d'intérêt à installer le porte-monnaie électronique pour exécuter des transactions de la vie quotidienne en bitcoins, malgré les 30 dollars de bienvenue offerts par le gouvernement. Plusieurs centaines de personnes ont manifesté dans la capitale pour demander au Parlement d'abandonner le bitcoin, mais la cryptomonnaie a également ses partisans qui croient en l'augmentation de sa valeur et qui la consacrent comme une monnaie de future. Le Parlement salvadorien, dominé de manière écrasante par les partisans des cryptodevises, a voté en juin la loi qui fera du bitcoin une monnaie ayant cours légal au Salvador et qui oblige à accepter le bitcoin comme moyen de paiement. La valeur du bitcoin sera établie librement par le marché, stipule la loi. En outre, Bukele, le président du Salvador, a donné l'ordre pour l'installation de plus de 200 distributeurs automatiques permettant d'échanger le bitcoin ainsi que la création d'un fonds de 150 millions de dollars pour garantir la conversion automatique de bitcoin en dollars américains. Les économistes, mais également la Banque mondiale, le Fonds monétaire international (FMI) et la Banque interaméricaine de développement (BID) ont manifesté leur scepticisme. Cette mesure aura un impact négatif sur les conditions de vie des Salvadoriens en raison de la volatilité élevée du taux de change de Bitcoin, et entraînera des répercussions sur les prix des biens et services. La Fondation salvadorienne pour le développement économique et social affirme que le fait que la valeur de cryptomonnaie soit déterminée exclusivement par le marché rend une monnaie très volatile. Redoutant le blanchiment d'argent des réseaux criminels, en particulier du trafic de stupéfiants, les États-Unis ont appelé le Salvador à se protéger contre les acteurs malveillants en utilisant bitcoin réglementé, transparent et responsable.

Les États-Unis : Les États-Unis veulent offrir une alternative aux cryptomonnaies telles que Bitcoin. Cette monnaie de demain devrait réduire les frais bancaires et accélérer les

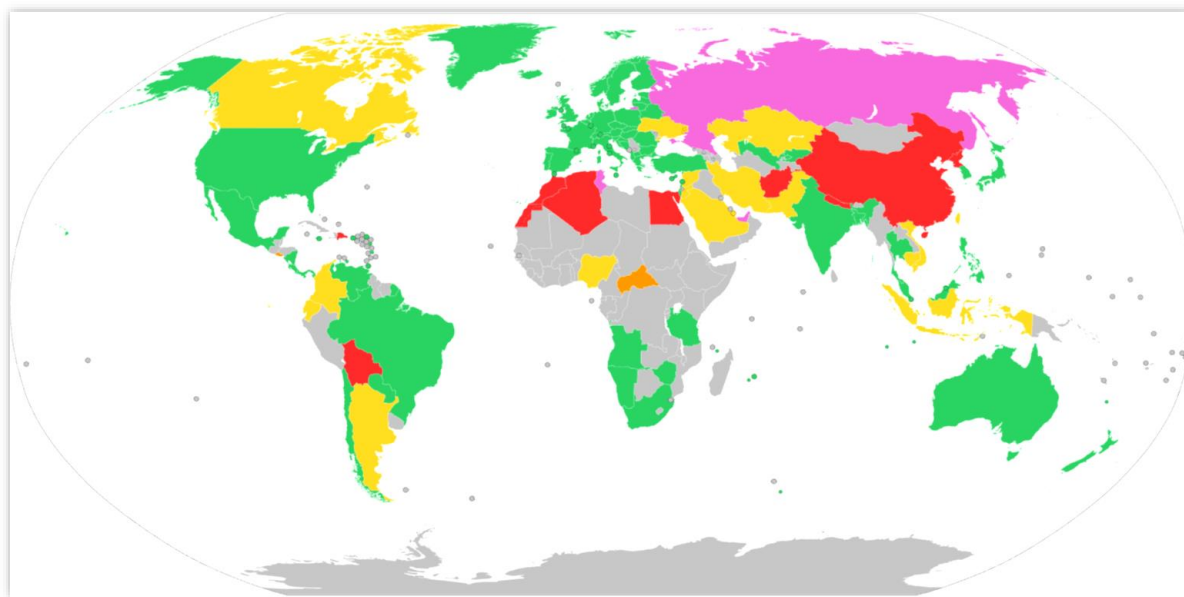
virements. Elle risque aussi de bousculer le fonctionnement du secteur bancaire. Le mercredi 9 mars 2022, les États-Unis ont affiché l'ouverture d'un chantier sur le dollar numérique par son président actuel Joe Biden. Ce cryptoactif de banque centrale sera entièrement sous le contrôle de la Réserve Fédérale américaine, un organisme indépendant du gouvernement. Le président des États-Unis s'appuie dans son projet sur le coût faible et l'efficacité des transactions, en particulier pour les transferts et les paiements transfrontaliers, et promet un meilleur accès au système financier, en prenant moins de risques que les actifs numériques administrés par le secteur privé. Selon le président démocrate, le problème d'un dollar numérique, moins risqué qu'une cryptomonnaie comme Bitcoin ou Ether, est urgent. Ce dollar digital vise à répondre à l'enthousiasme généré par les cryptomonnaies. Selon un communiqué de presse de Washington, 16 % des adultes vivant aux États-Unis ont investi dans des actifs cryptographiques. Par conséquent, en tandem avec le Digital Dollar Project, Joe Biden a appelé les agences gouvernementales à créer des directives réglementaires pour les cryptomonnaies.

Cependant, il existe déjà de nombreuses lois visant à réglementer l'utilisation des monnaies numériques pour lutter contre le financement du terrorisme et le blanchiment d'argent. En effet, d'emblée, il faut fournir certaines informations d'identité (banque, etc.). Joe Biden veut aussi rattraper certaines puissances étrangères, dont la Chine, sur le dollar numérique. Le gouvernement chinois a déjà lancé une monnaie numérique, Crypto Yuan, sur son territoire.

L'Union européenne : Contrairement aux placements financiers traditionnels (actions, obligations, etc.), les monnaies virtuelles sont essentiellement exemptes de toute réglementation spécifique, comme la transparence et les impôts publics. Cependant, certains États ont mis en place des mesures pour réglementer leur utilisation. Par exemple, en France, la loi PACTE du 22 mai 2019 a instauré le statut des Fournisseurs de Services d'Actifs Numériques (PSAN), intermédiaires qui permettent d'acquérir et de stocker des actifs cryptographiques. Leur enregistrement est obligatoire auprès de l'Autorité des marchés financiers (AMF) et leur agrément peut être accordé si la structure présente des garanties suffisantes de stabilité et de transparence financières. Cependant, au 7 juillet 2022, aucun des 42 PSAN enregistrés n'avait reçu l'agrément de l'AMF. La Commission

européenne a présenté le 24 septembre 2020 deux textes pour mieux encadrer l'utilisation, l'échange et le stockage des cryptoactifs. La première proposition réglementaire, intitulée MiCA (Marketplace for Crypto Asset Regulation), vise également à créer un cadre réglementaire pour les actifs cryptographiques et à les amener à une réglementation financière générale, y compris l'approbation. L'objectif est d'accroître la transparence des échanges de cryptomonnaie et de permettre la surveillance des intermédiaires financiers grâce à l'octroi de licences et à la protection des consommateurs. Elle prévoit la création d'un système d'accréditation harmonisé pour les 27 États membres du PSAN (comme en France), avec des exigences supérieures à la réglementation française. Le 14 mars 2022, la commission économique et monétaire du Parlement européen a voté en faveur du règlement MiCa, et le 30 juin, le Parlement européen et le Conseil de l'UE ont approuvé l'accord. Désormais, la responsabilité des intermédiaires financiers en cas de perte d'actifs cryptographiques sera imputée aux investisseurs. Le deuxième texte vise à créer un régime pilote pour le marché des cryptomonnaies. Il s'agit plutôt de créer un espace juridique de trois ans pour expérimenter l'utilisation de la blockchain dans la structure financière de l'UE. La blockchain, en tant que rouage clé des opérations de cryptomonnaie, est un mode de stockage numérique décentralisé qui ne nécessite ni intermédiaires ni administrateurs. Le règlement a été adopté par le Conseil en décembre 2021 et par le Parlement le 24 mars 2022. Ce texte a également été publié dans le Journal officiel de l'UE le 2 juin, qui entrera en vigueur le 23 mars 2023. Enfin, le 31 mars, les eurodéputés de la commission parlementaire ont également voté en faveur des révisions du Règlement européen sur les transferts d'argent (TFR), partie intégrante du paquet anti-blanchiment proposé par la Commission européenne en juillet 2021. L'objectif est d'inclure les cryptomonnaies dans la lutte contre le blanchiment d'argent et le financement du terrorisme. Plus précisément, les députés ont décidé de supprimer les seuils minimaux et les exemptions pour les transferts d'actifs cryptographiques de faible valeur en 2023. Plus précisément, l'objectif est de mieux identifier les transactions avec des actifs cryptographiques exécutées par des intermédiaires financiers. Par conséquent, alors que l'identité est requise pour effectuer des transactions de cryptomonnaie via PSAN, les transactions de cryptomonnaie avec ces intermédiaires sont effectuées par le français Tracfin (une agence secrète française chargée de lutter contre les transactions financières illicites) et automatiquement signalées aux

autorités des États membres d'une telle manière que les modifications apportées à la réglementation TFR devraient permettre aux utilisateurs de définir des enregistrements publics pour toutes les plateformes de cryptomonnaie afin d'identifier les plus vertueuses et les moins vertueuses.



**Légende :** ■ Cours légal ■ Permissif (légal d'utiliser le bitcoin) ■ Contentieux (avec restrictions sur l'utilisation légale du bitcoin) ■ Contentieux (l'interprétation des anciennes lois, mais pas interdit directement) ■ Hostile (interdiction totale ou partielle) ■ Aucune information

(Source : Wikipédia, cité le 20 août 2022)

## 2.5 Problématique

Sans la base de souveraineté, les taux de change des cryptomonnaies sont extrêmement volatiles en général, que ce soit à cause de l'incontrôlabilité ou de l'irrégularité du marché. Un événement comme la guerre en Ukraine ou une rumeur internet peut choquer le taux de change violemment. Pouvant passer d'une appréciation fulgurante à un déclin fracassant, les taux de change sont comme des montagnes russes et peuvent se produire à tout moment, bien que de nombreux investisseurs croient à une hausse future.

Du point de vue de prédiction, on peut avoir recours à des méthodes de réseaux de neurones, comme le modèle de mémoire à long-court terme (LSTM ou long-short term memory, en anglais), un modèle d'apprentissage profond (*deep learning*, en anglais) qui est non linéaire. L'un des désavantages réside dans le fait que ces modèles sont généralement non structurels et difficiles à interpréter.

Nous préférons réaliser des prédictions par des modèles interprétables ou plus faciles à interpréter tout en comprenant les risques liés au placement d'investisseurs sur le marché de la cryptomonnaie. Ainsi, dans notre recherche, nous commencerons par l'indicateur  $\alpha$ -Sutte qui est un modèle le plus simple parmi les autres modèles économétriques étant donné qu'il nécessite 4 données précédentes et qu'aucun ne teste d'hypothèse pour faire la prédiction. Ce modèle est efficace à court terme pour une analyse de taux de change de certaines cryptomonnaies dans cette étude. Le deuxième modèle à étudier la prévision des taux de change des cryptoactifs est ARIMA ; ce dernier se compose d'autorégressif (AR) et de moyenne mobile (MA) qui vise à prédire des valeurs futures dans une série chronologique. Ce modèle nécessite certains tests d'hypothèse (ADF, Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin KPSS) afin de donner les vraies valeurs. Dans cette étude, le modèle ARIMA est utilisé aussi pour prédire la valeur du taux de change comme une deuxième méthode avec  $\alpha$ -Sutte indicateur.

## CHAPITRE III

### MÉTHODOLOGIE

#### 3.1 Indicateur $\alpha$ -Sutte ( $\alpha$ -Sutte Indicator)

L'indicateur Sutte est initialement introduit par Ahmar (2015) dans le but de prédire le mouvement des actions. En fonction de son temps et de ses besoins, l'indicateur Sutte est développé pour devenir l'indicateur  $\alpha$ -Sutte. Le développement devrait fournir un meilleur niveau de précision et ne pas se limiter à la prédiction du mouvement des stocks, mais aussi à la prédiction des séries chronologiques de données. L'élaboration de cet indicateur  $\alpha$ -Sutte tient compte de la tendance de certaines données.

La variation d'une variable quelconque  $\Delta x = x_1 - x_0$  est la mesure triviale de changement de  $x$  dont le signe représente le sens ou la direction de la variation et la valeur absolue  $|\Delta x|$  quantifie l'amplitude. La variation en pourcentage  $(x_1 - x_0)/x_0$  est une mesure de la variabilité relative, sans unité de mesure. Lorsque la valeur initiale  $x_0 = 0$ , toutefois, la variation en pourcentage est inapplicable pratiquement.

Une mesure alternative de la variation relative est « *la variation en pourcentage par rapport à mi-chemin* », soit  $(x_1 - x_0)/[(x_1 + x_0)/2]$ . Cette mesure comporte un triple avantage : elle est une variation relative ; elle a le même sens de variation que  $\Delta x$  ; toute variation non nulle peut être représentée par cette mesure. Ainsi, l'indicateur  $\alpha$ -Sutte peut être considéré comme une moyenne mobile pondérée par les dernières variations en pourcentage par rapport à mi-chemin. En outre, il est remarquable que l'indicateur  $\alpha$ -Sutte puisse grandement lisser les fluctuations des séries temporelles, comme la prédiction est plus crédible. Mathématiquement, l'indicateur  $\alpha$ -Sutte est donné par

$$a_i = \frac{\alpha \left( \frac{\Delta x}{\frac{\alpha + \delta}{2}} \right) + \beta \left( \frac{\Delta y}{\frac{\beta + \alpha}{2}} \right) + \gamma \left( \frac{\Delta z}{\frac{\gamma + \beta}{2}} \right)}{3}$$



où  $a_t$  représente la série (et sa valeur observée en  $t$ ) en question ;  $\delta = a_{t-4}$ ,  $\alpha = a_{t-3}$ ,  $\beta = a_{t-2}$  et  $\gamma = a_{t-1}$  ;  $\Delta x = \alpha - \delta = a_{t-3} - a_{t-4}$ ,  $\Delta y = \beta - \alpha = a_{t-2} - a_{t-3}$ ,  $\Delta z = \gamma - \beta = a_{t-1} - a_{t-2}$ . Il est remarquable que des valeurs prédites par l'indicateur  $\alpha$ -Sutte soient possiblement négatives, ce qui n'a pas de sens. Il est possible de modifier la formule comme suit afin d'éviter ce problème. On introduit d'abord une variable latente  $a_t^*$ ,

$$a_t^* = \frac{a_{t-3} \cdot \frac{a_{t-3} - a_{t-4}}{\left(\frac{a_{t-3} + a_{t-4}}{2}\right)} + a_{t-2} \cdot \frac{a_{t-2} - a_{t-3}}{\left(\frac{a_{t-2} + a_{t-3}}{2}\right)} + a_{t-1} \cdot \frac{a_{t-1} - a_{t-2}}{\left(\frac{a_{t-1} + a_{t-2}}{2}\right)}}{3}.$$

Ensuite, on fait la prédiction, dans ce mémoire, par

$$a_t = \begin{cases} a_t^*, & \text{si } a_t^* \geq 0 \\ 0, & \text{autrement.} \end{cases}$$

Habituellement, il est nécessaire de calculer l'erreur quadratique moyenne, MSE (Mean Squared Error) en anglais. Soit l'estimateur est  $\hat{\theta}$ . La MSE est

$$MSE(\hat{\theta}) = E[(\hat{\theta} - \theta)^2].$$

Pour que l'erreur ait la même unité que la variable, on utilise aussi très souvent la racine de MSE.

$$RMSE = \sqrt{MSE}.$$

Nous allons également calculer l'erreur absolue moyenne en pourcentage (MAPE), ce qui constitue aussi une mesure usuelle de la précision de prédiction d'une méthode de prévision en statistique. Il exprime généralement la précision sous la forme d'un rapport défini par la formule :

$$MAPE = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \right) \cdot 100\% ,$$

où  $A_i$  est la valeur actuelle et  $F_i$  est la valeur prédite.

### 3.2 Modèles autorégressifs et moyenne mobile (ARMA)

La prédiction des taux de changes des différentes cryptomonnaies peut se faire avec plusieurs modèles économétriques. ARMA est l'un de ces modèles qui permet d'effectuer une analyse statistique avec des données de série chronologique afin de prédire le futur.

Le modèle ARMA  $(p, q)$  se compose de deux parties, une part autorégressive AR( $p$ ) d'ordre  $p$  et une part moyenne-mobile MA( $q$ ) d'ordre  $q$ . Le processus autorégressif AR( $p$ ) est un modèle dans lequel la valeur actuelle d'une série temporelle ne dépend que des valeurs que la variable a prises au cours des périodes précédentes. Autrement dit, AR( $p$ ) modélise la capacité de mémoire du processus en question. Formellement,

$$y_t = \alpha + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + u_t, \text{ Où } u_t \text{ est un bruit blanc (voir la définition ci-dessous).}$$

Le processus moyenne mobile MA( $q$ ) spécifie que la valeur actuelle dépend linéairement des termes d'erreur actuels et passés. Elle permet d'éliminer les fluctuations les moins significatives. Formellement,

$$y_t = \beta + \sum_{j=1}^q \theta_j u_{t-j} + u_t.$$

Ainsi, le modèle ARMA  $(p, q)$  peut alors s'écrire comme suit.

$$y_t = \mu + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j u_{t-j} + u_t.$$

Le processus MA est toujours stationnaire, mais AR et ARMA ne le sont pas nécessairement. Par défaut, on parle de la stationnarité faible ou en covariance, c.-à-d.

$$E[u_t] = \text{constante}, \forall t = 1, 2, \dots$$

$$\text{Var}[u_t] = \text{constante}, \forall t = 1, 2, \dots$$

$$\text{Cov}[u_t, u_{t-\tau}] = h(\tau), \forall t \text{ et } \tau = 1, 2, \dots$$

Quand la fonction d'autocovariance  $h(\tau) \equiv 0$ , le processus  $u_t$  est le soi-disant bruit blanc.

### 3.3 Moyenne mobile intégrée autorégressive (ARIMA)

Le modèle moyenne mobile intégrée autorégressive est une généralisation de modèle ARMA. Les séries temporelles analysées par ce processus doivent être stationnaires afin

que la prévision soit précise. La non-stationnarité des données entraîne automatiquement la direction vers le modèle ARIMA ( $p, d, q$ ) dont le but est de transformer les séries non stationnaires en des séries stationnaires permettant de donner des résultats précis pour les prévisions des taux de change des cryptomonnaies. Le mot intégré définit la spéciation des observations brutes permettant la stationnarité des séries, tandis que le degré de différenciation  $d$  est le minimum du nombre de fois qu'il doit y avoir des différenciations des observations pour rendre la série stationnaire.

**a. Analyse graphique des cryptomonnaies :**

Dans cette étape, les séries temporelles des cryptos actifs sont observées graphiquement afin de nous permettre de distinguer certaines évolutions sur le plan de ces données. En effet, cette analyse statistique nous donne une idée de la série étudiée de certaines cryptomonnaies dont elle est stationnaire ou non. Une série temporelle peut être décrite par la fréquence : les données de séries peuvent être des données annuelles, semestrielles, mensuelles, hebdomadaires ou finalement journalières.

**b. Corrélogramme :**

Les tests d'hypothèse étant indispensables pour l'analyse du corrélogramme, les deux hypothèses à poser pour cette étape sont :

- $H_0$  : notre série est stationnaire
- $H_1$  : notre série n'est pas stationnaire

La première hypothèse  $H_0$  est acceptée si la probabilité est inférieure à 5 % ; par la suite, on rejette la deuxième hypothèse  $H_1$ .

Si la probabilité est supérieure à 5 %, ceci nous conduit à accepter l'hypothèse  $H_1$  qui favorise la non-stationnarité de la série temporelle étudiée.

**c. Test de racine unitaire (Dickey-Fuller) :**

Une série stationnaire est une série qui ne contient ni tendance ni de racine unitaire ; c'est une série qui ne dépend pas du temps. Le test Dickey-Fuller est utilisé pour la vérification de la série temporelle étudiée dans la recherche permettant de savoir si cette série est stationnaire ou non.

Lorsque la série est considérée comme une série non stationnaire, le type de non-stationnarité peut être défini par la suite. Tendances et constante, avec seulement une tendance ou bien avec seulement une constante s'avèrent être les trois types de non-stationnarité de la série étudiée.

Les tests de Dickey-Fuller sont exécutés dans cette recherche sur le logiciel Eviews dont les séries temporelles étudiées sont importées pour examiner leurs stationnarités. Ce dernier nous permet, à l'aide des trois modèles de non-stationnarité, de savoir si le processus de la série étudiée est un TS ou DS afin de choisir la bonne méthode pour la rendre stationnaire. Avant d'appliquer le test, la spécification du nombre de retards se révèle indispensable.

L'application du test de la racine unitaire sur le logiciel Eviews engendre différentes probabilités à discuter et à analyser : la probabilité de la tendance supérieure avec la valeur de 5 % signifie que la série ne contient pas de tendance ; par la suite, la même démarche s'applique pour la constante : une valeur inférieure à 5 % entraîne la présence d'une constante dans notre série étudiée.

Contrairement à la valeur de la tendance et de la constante, une probabilité de test Dickey-Fuller supérieure avec la valeur de 5 % implique la présence de la racine unitaire dans la série étudiée ; la vérification de la présence ou l'absence de la racine unitaire peut se faire aussi par la comparaison de la valeur de test statistique avec la valeur critique toujours dans l'intervalle de 5 %. Si la probabilité de test statistique est supérieure à celle de la probabilité de test critique, la série contient une racine unitaire, et si la valeur des tests critiques est supérieure à celle de la valeur statistique, alors notre série est stationnaire et ne contient pas de racine unitaire.

#### **d. Stationnarisation des séries temporelles par la méthode de différenciation :**

Les séries temporelles financières sont souvent instationnaires. On peut stationnariser ce qui est instationnaire de plusieurs manières. La différenciation est l'une des méthodes les plus couramment utilisées. On peut même prendre la différence de haut ordre s'il est nécessaire, et la différence de haut ordre peut s'interpréter économiquement. Voici la définition des deux premières différenciations.

- ♦ Première différenciation :  $\Delta y_t = y_t - y_{t-1} = (1 - L)y_t$ , où  $L$  est l'opérateur retard.

- ♦ Seconde différenciation :  $\Delta^2 y_t = \Delta(\Delta y_t) = \Delta y_t - \Delta y_{t-1} = (1 - L)^2 y_t$ .

**e. Analyse des fonctions d'autocorrélation simple et partielle :**

Après que les tests de racine unitaires (Dickey-Fuller) qui nous permettent de savoir si notre série étudiée est stationnaire ou non ont été effectués, le modèle de la différenciation survient pour la stationnariser complètement. Une fois que notre série est devenue stationnaire, il s'avère nécessaire d'analyser les deux fonctions d'autocorrélation simple et partielle pour choisir le meilleur modèle afin d'effectuer la prévision et obtenir un bon résultat. En effet, les deux fonctions d'autocorrélation sont observées sur le corrélogramme. Le modèle autorégressif (AR) est présenté par la fonction d'autocorrélation partielle alors que la moyenne mobile est présentée par la fonction d'autocorrélation simple avec l'ordre d'intégration «  $i$  » qui présente le degré de différenciation.

En ce qui concerne le corrélogramme, les probabilités sont toutes inférieures à la valeur de 5 % qui est liée à des valeurs du Q statistique déjà obtenues à travers de la série étudiée ; donc, on peut affirmer qu'il ne s'agit pas de marché de hasard, ce qui implique que le processus est à mémoire. Il existe alors une représentation dans la classe ARMA ou bien ARIMA si la série est déjà modifiée.

Dans le corrélogramme, plusieurs modèles sont représentés dans les deux fonctions d'autocorrélations telles que la fonction d'autocorrélation simple et partielle ; les modèles à essayer pour faire la prévision sont ceux qui ont des valeurs en dehors de l'intervalle de confiance présenté sur le corrélogramme. Après avoir trouvé les valeurs pour construire le modèle qui nous permet de faire la prévision, on peut identifier les résultats d'équations d'estimation afin de déterminer le meilleur modèle ARMA OU ARIMA dont les probabilités des valeurs doivent être toujours inférieures à 5 %. En effet, les résidus doivent former un bruit blanc et doivent se distribuer selon la loi normale alors que les probabilités sont très supérieures à 5 %, quelle que soit la période.

**f. Prévision des séries des cryptomonnaies par la méthode ARMA ou ARIMA :**

À la suite des tests de stationnarité, de l'identification du modèle et de l'estimation de l'équation de la prévision, la dernière étape pour trouver des résultats est les prévisions.

La méthode de prévision diffère selon le logiciel utilisé pour faire la prédiction, mais tous les logiciels nécessitent la présence de la date de fin de la série estimée pour l'exécution du processus.

Le graphe de la prévision faite pour les séries temporelles des cryptomonnaies sera présenté en deux couleurs, les nouvelles valeurs estimées ne prennent pas les mêmes couleurs que de la série ou bien des données existant dès le début ; les résultats doivent être comparés à celle des valeurs réelles existantes si on a dépassé la période de prévision et doivent être proches de ces valeurs pour affirmer que le modèle de prévision utilisé est efficace.

Malgré l'existence de plusieurs modèles économétriques pour faire la prévision de taux de change des cryptomonnaies, les cryptoactifs restent très volatiles et leur prix varie chaque seconde en raison des différents facteurs suivants : l'évaluation et la prédiction du taux de change d'une cryptomonnaie sont très difficiles à la suite de facteurs internes ; les négociants jouent un rôle important dans la volatilité de taux de change des cryptomonnaies ; la capitalisation des cryptomonnaies est basée sur le principe de cause à effet. Plus le prix de la cryptomonnaie est élevé, moins un trader investit et vice versa. Prenons par exemple le cas du Bitcoin, la monnaie virtuelle la plus utilisée. La valeur de ces derniers dépend généralement des conditions du marché. Pour ce faire, que vous soyez vendeur ou acheteur, vous devez utiliser les outils du marché pour mieux gérer la volatilité des prix.

Le transfert de capital d'un crypto à une autre constitue aussi un des facteurs qui peut influencer sur le taux de change des cryptomonnaies. Le prix du Bitcoin affecte d'autres cryptomonnaies telles que les altcoins. Par conséquent, la valeur de ces monnaies fiduciaires augmente et diminue à mesure que Bitcoin fluctue. Par conséquent, il ne suffit plus d'analyser simplement le paysage de cryptomonnaie d'intérêt à l'aide d'outils du marché. En outre, il faut surveiller de près le prix du Bitcoin et ce que font les autres commerçants.

De plus, la loi de l'offre et la demande peut influencer le taux de change des cryptomonnaies dans le marché, il existe des lois régissant les cryptomonnaies, et ce sont clairement des lois de l'offre et de la demande. Premièrement, lorsqu'il s'agit d'investir dans les cryptomonnaies, la demande émane des utilisateurs. Par conséquent, les

cryptomonnaies deviendront de plus en plus demandées et plus accessibles aux investisseurs à mesure que la demande augmentera. Si celles-ci sont également disponibles sur plusieurs plateformes d'échange, cela entraînera également une demande accrue. En outre, la concurrence intense entre les différentes cryptomonnaies affecte la demande. Parmi les cryptomonnaies qui stimulent la demande sur le marché de l'investissement, on peut distinguer Bitcoin, Ethereum, Ripple, etc. Chacune de ces monnaies numériques comporte des caractéristiques qui attirent les investisseurs.

L'offre et la demande représentent une question d'équilibre. Par conséquent, le prix des cryptomonnaies sur le marché est directement influencé par les acheteurs et les vendeurs. Cependant, pour générer des rendements, il est important de mener des études de marché. Cette dernière est réalisée sur la base de critères précis qui se répartissent en deux grandes catégories.

Les facteurs externes influencent aussi sur le cours des cryptomonnaies ; parmi ces facteurs, on peut citer la crise économique et la dévaluation des monnaies Fiat ; la demande de cryptomonnaies, en particulier de Bitcoin, augmente lorsque la valeur de la monnaie fiduciaire diminue. Les contrôles des devises et des régimes fiscaux lors de crises régionales ou mondiales alimentent également la croissance de Bitcoin. De plus, la situation économique peut constituer l'un des facteurs externes qui influent sur le cours des cryptomonnaies ; la situation économique d'un pays peut avoir un impact direct sur la volatilité des cryptomonnaies. Certaines lois ont des effets à long terme sur la demande de cryptomonnaies. Pour comprendre l'impact des cryptomonnaies sur l'économie d'aujourd'hui, il suffit de suivre l'actualité de près. La capitalisation boursière des cryptomonnaies est soumise aux avis des autorités politiques et économiques et des médias. Par conséquent, la propagation des nouvelles économiques mondiales pourrait entraîner une augmentation du prix des cryptomonnaies, en particulier du Bitcoin. S'il est important que les commerçants prêtent attention aux nouvelles tendances et informations, il est également recommandé de mener sa propre analyse. En fait, certains messages sont faux et conçus pour influencer le prix des cryptomonnaies.

La prévision des taux de change des cryptomonnaies dans cette étude sera effectuée par deux modèles : un premier modèle  $\alpha$ -Sutte indicateur qui utilisera quatre observations

précédentes des taux de change afin de donner une prédiction efficace. Les résultats obtenus par le modèle  $\alpha$ -Sutte indicateur seront comparés aux résultats obtenus par le deuxième modèle utilisé dans la prédiction. Le deuxième modèle, qui est ARIMA, a pour but de réaliser une prédiction et une évaluation puissante des cours des cinq cryptoactifs à travers un logiciel Eviews. Pour déterminer le modèle le plus efficace dans la prévision des taux de change des cryptomonnaies, des critères peuvent être présentés dans notre comparaison comme celle entre la valeur réelle des cryptomonnaies, par exemple le Bitcoin et la valeur prédite par le modèle de prévision, la MSE (Mean Squared Error), dont MAPE est la taille de l'erreur relative d'une prévision, et la RMSE.



## CHAPITRE IV

### DONNÉES ET RÉSULTATS DES PRÉVISIONS

#### 4.1 Données

Les données utilisées dans cette recherche sont principalement obtenues auprès de la plateforme de marchés financiers « Investing.com » qui fournit des données en temps réel, des cotations, des graphiques, des outils financiers, des dernières nouvelles et des analyses menées sur 250 bourses à travers le monde dans 44 éditions linguistiques.

Ces données sont divisées en deux parties : des données de valeurs réelles qui permettent de décrire le prix de la cryptomonnaie sur le marché et d'autres pour effectuer les tests pour obtenir une meilleure prédiction. La formation des données a utilisé des data différentes pour les cinq cryptomonnaies étudiées dans cette recherche : on trouve 127 données (mois) pour le Bitcoin, 64 données pour l'Ethereum, 51 données pour Tether, 43 données pour Cardano et 59 pour Litecoin tandis que les données du test seront testées par 4 données dans le (mois) suivant. À partir de ces données de test, les résultats seront obtenus à partir de la formation des données. Ce résultat de prévision est ensuite comparé aux données réelles.

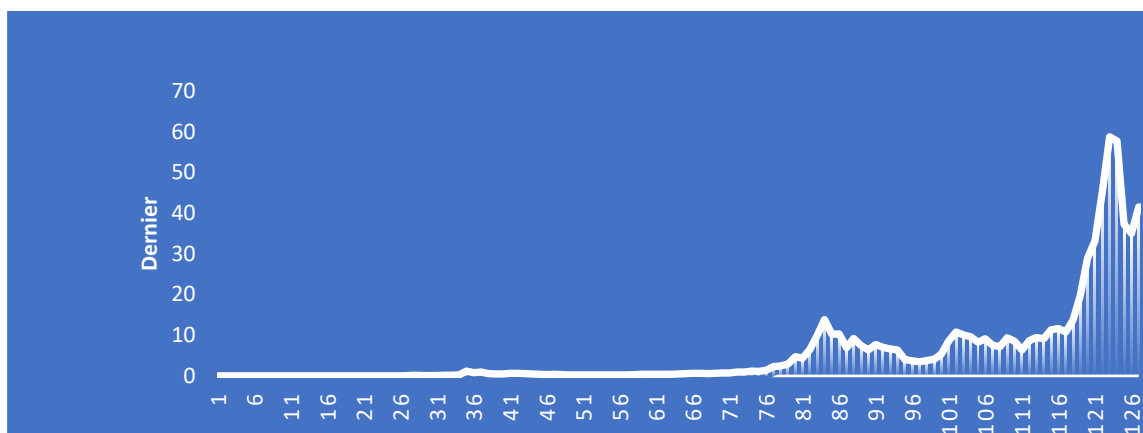
Le tableau suivant des statistiques descriptives des données montre un rapport détaillé sur chaque cryptomonnaie d'intérêt pour cette recherche.

**Tableau 4.1** Statistiques descriptives des cryptomonnaies

Bitcoin	Ethereum	Tether	Cardano	Litecoin					
0.5	8.87	1.01	0.5072	3.98					
Mean	5570.675397	Mean	471.6189	Mean	1.000729	Mean	0.287459524	Mean	80.26786
Standard Error	956.0004254	Standard Error	83.02492	Standard Error	0.000841	Standard Error	0.071515137	Standard Error	7.8922538
Median	631.5	Median	225.63	Median	1.0002	Median	0.0871	Median	60.785
Mode	4.9	Mode	#N/A	Mode	1.0002	Mode	#N/A	Mode	#N/A
Standard Deviation	10731.07816	Standard Deviation	658.9899	Standard Deviation	0.005886	Standard Deviation	0.463471058	Standard Deviation	59.58521
Sample Variance	115156038.5	Sample Variance	434267.7	Sample Variance	3.46E-05	Sample Variance	0.214805422	Sample Variance	3550.3972
Kurtosis	11.03550763	Kurtosis	5.162837	Kurtosis	4.894691	Kurtosis	2.96413933	Kurtosis	1.1429538
Skewness	3.200786357	Skewness	2.390942	Skewness	0.966579	Skewness	2.099149274	Skewness	1.1916671
Range	58762.9	Range	2764.78	Range	0.035	Range	1.7095	Range	267.24
Minimum	0.8	Minimum	8	Minimum	0.9857	Minimum	0.0305	Minimum	3.84
Maximum	58763.7	Maximum	2772.78	Maximum	1.0207	Maximum	1.74	Maximum	271.08
Sum	701905.1	Sum	29711.99	Sum	49.0357	Sum	12.0733	Sum	4575.268
Count	126	Count	63	Count	49	Count	42	Count	57
Confidence Level(95.0%)	1892.04349	Confidence Level(95.0%)	165.9645	Confidence Level(95.0%)	0.001691	Confidence Level(95.0%)	0.144427749	Confidence Level(95.0%)	15.810084

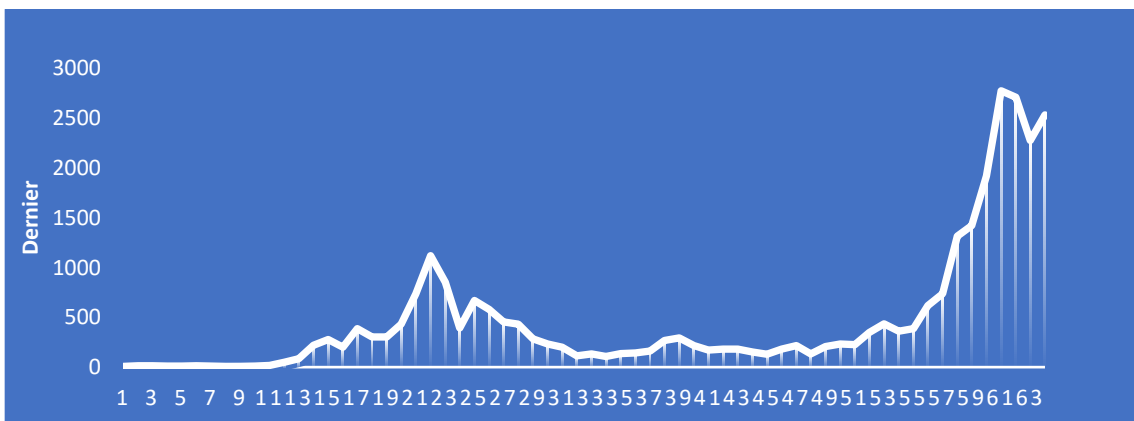
Les valeurs présentées dans la première colonne correspondent au bitcoin tandis que la deuxième est pour l'Ethereum, la troisième pour Tether, suivie par les valeurs de Cardano. La dernière colonne montre les valeurs qui correspondent à la cryptomonnaie Litcoin.

Les évolutions des prix des cryptomonnaies principales au fil du temps sont montrées dans les graphiques suivants.



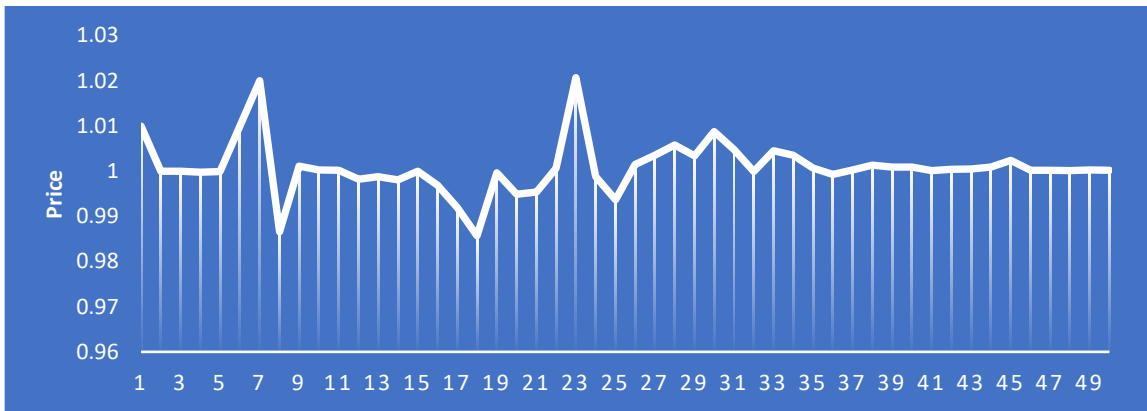
**Figure 4.1** Évolution de Bitcoin

L'analyse graphique de la série temporelle du bitcoin montre des pics et des creux. Ainsi, les valeurs du bitcoin varient d'une valeur à une autre mensuellement, la variance de la série du bitcoin présenté graphiquement n'est pas constante au cours du temps, ce qui nous révèle que notre série n'est pas stationnaire. Les taux du change du bitcoin ont progressé au cours des dix dernières années par rapport au dollar américain ; sa valeur même a été multipliée plus que dix fois pour atteindre en juillet 2021 la valeur de 41 553,74 \$ alors que sa valeur en janvier 2011 n'était que 0,5 \$.



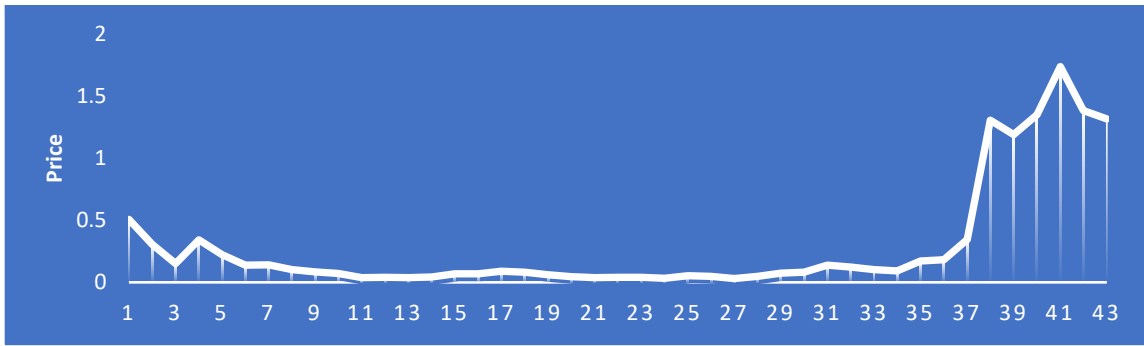
**Figure 4.2** Évolution de Ethereum

L'analyse graphique de la série temporelle de l'ethereum montre des pics et des creux : les valeurs du dernier prix de l'ethereum varient d'une valeur à une autre mensuellement, et la variance de la série de l'ethereum présenté graphiquement n'est pas constante au cours du temps, ce qui nous démontre que notre série n'est pas stationnaire. Les taux du change de l'ethereum ont progressé au cours des cinq dernières années par rapport au dollar américain ; sa valeur même a été multipliée plus que dix fois pour atteindre en juillet 2021 la valeur de 2532,19 \$ alors que sa valeur en avril 2016 n'était que de 8,87 \$.



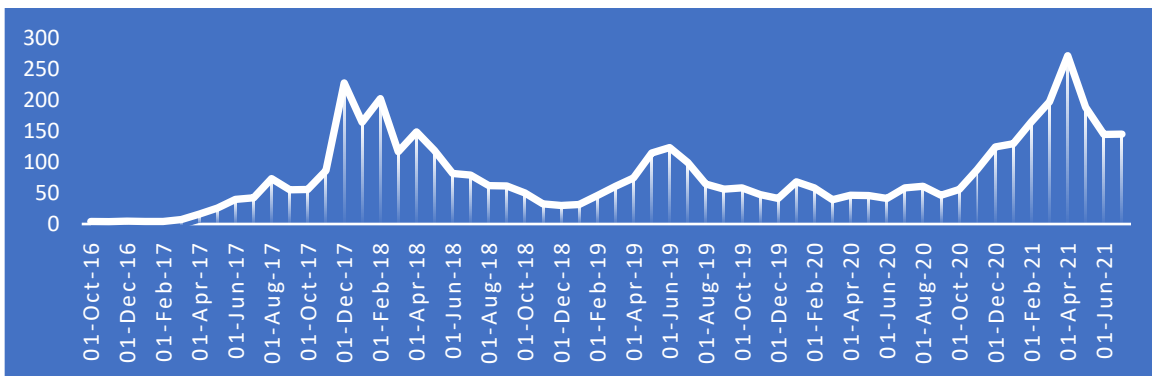
**Figure 4.3** Évolution de Tether

L'analyse graphique de la série temporelle du tether montre des pics et des creux : les valeurs du dernier prix du tether changent d'une valeur à une autre mensuellement, la variance de la série tether présenté graphiquement étant constante au cours du temps, ce qui révèle que notre série est stationnaire. Les taux de change du tether n'ont pas progressé beaucoup au cours des quatre dernières années par rapport au dollar américain ; sa valeur même a oscillé entre 1,0002 en juillet 2021 et 1,0100 en juin 2016.



**Figure 4.4** Évolution de Cardano

L'analyse graphique de la série temporelle du cardano montre des pics et des creux : les valeurs du dernier prix de cardano changent d'une valeur à une autre mensuellement, la variance de la série cardano présentée graphiquement n'étant pas constante au cours du temps, ce qui nous montre que notre série n'est pas stationnaire. Les taux de change de cardano ont progressé au cours des trois dernières années par rapport au dollar américain ; sa valeur même s'est multipliée presque par trois fois pour atteindre en juillet 2021 la valeur de 1,3166 alors que sa valeur en janvier 2018 n'était que 0,5072.



**Figure 4.5** Évolution de Litecoin

L'analyse graphique de la série temporelle du litecoin montre des pics et des creux : les valeurs du dernier prix de litecoin changent d'une valeur à une autre mensuellement, la variance de la série litecoin présentée graphiquement n'étant pas constante au cours du temps, ce qui nous montre que notre série n'est pas stationnaire. Les taux du change de litecoin ont progressé au cours des cinq dernières années par rapport au dollar américain ;

sa valeur même a été multipliée plus que dix fois pour atteindre en juillet 2021 la valeur de 144,691 alors que sa valeur en octobre 2016 n'était que de 3,980.

#### 4.2 Prévision par la méthode de $\alpha$ -Sutte Indicator

##### a) Prévision bitcoin par $\alpha$ -Sutte Indicator :

Date	$\alpha$ -Sutte indicateur	MSE	MAPE	RMSE
Août 2021	-3716.633075	17373301.95	% 0.7818657344	4168.129311
Septembre 2021	4592.094465	11934986.29	% 0.6939762956	3454.70495
Octobre 2021	34380.289	5586822.484	% 0.3354361402	2363.646015
Novembre 2021	49538.11262	418002.5438	% 0.09920912206	646.5311623

##### b) Prévision Ethereum par $\alpha$ -Sutte Indicator :

Date	$\alpha$ -Sutte indicateur	MSE	MAPE	RMSE
Août 2021	-62.67765815	329641.7725	% 1.566568351	574.144383
Septembre 2021	2.413663943	136197.8991	% 1.513932733	369.0499954
Octobre 2021	132.9140635	257628.1024	% 1.44626876	507.5707856
Novembre 2021	127.616718	297963.988	% 1.43004477	545.8607771

##### c) Prévision Tether par $\alpha$ -Sutte Indicator :

Date	$\alpha$ -Sutte indicateur	MSE	MAPE	RMSE
Août 2021	0.00000000999800041	0.01924230904	% 1.960784294	0.1387166502
Septembre 2021	0.0000333349996	0.01887044027	% 1.923012824	0.1373697211
Octobre 2021	-0.000011128326	0.01854445352	% 1.886813436	0.1361780214
Novembre 2021	0.000037057806	0.01821321144	% 1.851783288	0.1349563316

**d) Prévision Cardano par  $\alpha$ -Sutte Indicator :**

Date	$\alpha$ -Sutte indicateur	MSE	MAPE	RMSE
Août 2021	0.01848351443	0.1719770758	% 2.257558101	0.4147011886
Septembre 2021	-0.1390181561	0.09953664356	% 2.368191431	0.3154942845
Octobre 2021	-0.1549263445	0.08393113065	% 2.345319426	0.2897086996
Novembre 2021	-0.1386734846	0.05133491255	% 2.317609981	0.2265720913

**e) Prévision Litecoin par  $\alpha$ -Sutte Indicator :**

Date	$\alpha$ -Sutte indicateur	MSE	MAPE	RMSE
Août 2021	-35.19626742	490.1470017	% 2.008730027	22.1392638
Septembre 2021	26.00020726	265.7848544	% 1.361360237	16.30290938
Octobre 2021	-76.61840087	592.9899685	% 2.257401674	24.35138535
Novembre 2021	-180.3517427	687.3906349	% 2.96295083	26.21813561

**4.3 Analyse des séries temporelles des cinq cryptomonnaies avec Eviews :**

**a. Analyse et prévision de la série temporelle du Bitcoin :**

**Analyse du corrélogramme**

Le corrélogramme de la série temporelle du bitcoin comporte deux fonctions d'autocorrélation, une fonction d'autocorrélation simple et une fonction d'autocorrélation partielle.

On remarque dans le corrélogramme que l'autocorrélation simple diminue lentement vers zéro alors qu'un pic est pr esent e dans le premier corrélogramme au niveau de l'autocorrélation partielle. Le pic montré à cette cote nous permet de dire que notre série est généralement générée par un modèle AR. Cette remarque n'est pas confirmée à cent pour cent tant que les autres étapes de prévision ne sont pas encore exécutées.

### Test de racine unitaire (Dickey-Fuller) et différenciation du bitcoin

L'analyse des résultats des tests d'ADF (Dickey-Fuller) sur la série du dernier prix du bitcoin présente une probabilité de 0,1566 sur le plan de la tendance ; cette valeur est supérieure à 5 % alors notre série du bitcoin n'est pas générée par une tendance. Idem pour la constante : sa valeur à partir du test d'ADF est de 0,3063, ce qui est très supérieur à 5 % et nous explique que notre série ne contient ni constante ni tendance. Cependant, la racine

Null Hypothesis: DDERNIER has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 4 (Automatic - based on SIC, maxlag=12)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-6.564446	0.0000
Test critical values:		
1% level	-4.035648	
5% level	-3.447383	
10% level	-3.148761	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(DDERNIER)  
 Method: Least Squares  
 Date: 04/06/22 Time: 11:45  
 Sample (adjusted): 2011M07 2021M07  
 Included observations: 121 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DDERNIER(-1)	-1.157793	0.176373	-6.564446	0.0000
D(DDERNIER(-1))	0.701082	0.164427	4.263780	0.0000
D(DDERNIER(-2))	0.214108	0.145510	1.471428	0.1439
D(DDERNIER(-3))	0.374850	0.157067	2.386566	0.0187
D(DDERNIER(-4))	0.774321	0.156820	4.937649	0.0000
C	-500.2044	475.9265	-1.051012	0.2955
@TREND("2011M01")	12.94993	6.806745	1.902514	0.0596
R-squared	0.532542	Mean dependent var		53.87934
Adjusted R-squared	0.507939	S.D. dependent var		3378.826
S.E. of regression	2370.147	Akaike info criterion		18.43540
Sum squared resid	6.40E+08	Schwarz criterion		18.59714
Log likelihood	-1108.342	Hannan-Quinn criter.		18.50109
F-statistic	21.64536	Durbin-Watson stat		2.087346
Prob(F-statistic)	0.000000			

unitaire dans notre série existe puisque la probabilité de test Dickey-Fuller sur `views` 0.9917 est supérieure à 5 % tandis que la valeur statistique calculée, qui est égale à -

0.229818, est supérieure à celle de la valeur critique tabule. À travers de tous ces résultats obtenus, on peut conclure que notre série temporelle du bitcoin n'est pas stationnaire ; dans ce cas-ci, le modèle de différenciation intervient pour la stationnariser. Après une première différenciation, la série temporelle de cryptoactif bitcoin est devenue stationnaire avec une probabilité de 0,000 qui est inférieure à 5 % et avec une valeur de probabilité du test statistique -6,564446 qui est inférieure à celle de la probabilité de la valeur critique de 5 % dont la valeur est -3,447383.

### **Analyse des fonctions d'autocorrélation simple et partielle du bitcoin**

Lorsque la série temporelle du bitcoin devient stationnaire après la première différenciation, l'analyse des fonctions d'autocorrélation se révèle indispensable pour choisir le bon modèle pour effectuer les prévisions. La fonction d'autocorrélation partielle qui représente le modèle autorégressif (AR) présente différents corrélogrammes sur les résultats, mais pour les prévisions et pour le modèle à choisir, nous prendrons seulement les corrélogrammes qui sortent de l'intervalle de confiance. AR (1), AR (2) et AR (5) sont les modèles à adopter à partir des résultats sur evIEWS. Par la suite, la fonction d'autocorrélation simple qui représente le modèle moyenne mobile (MA) présente aussi deux modèles dont les corrélogrammes sortent de leur intervalle de confiance : ces deux modèles sont MA (1) et MA (2).

Les résultats de l'équation de l'estimation permettent d'identifier le modèle ARIMA pour effectuer la prévision afin qu'elle soit efficace. Pour la série temporelle du bitcoin, le bon modèle choisi à travers les résultats obtenus sur evIEWS est le modèle ARIMA (5,1,1) dont toutes les probabilités sont inférieures à 5 % tandis que les résidus forment un bruit blanc et suivent une loi normale avec leurs probabilités très supérieures à 5 %.

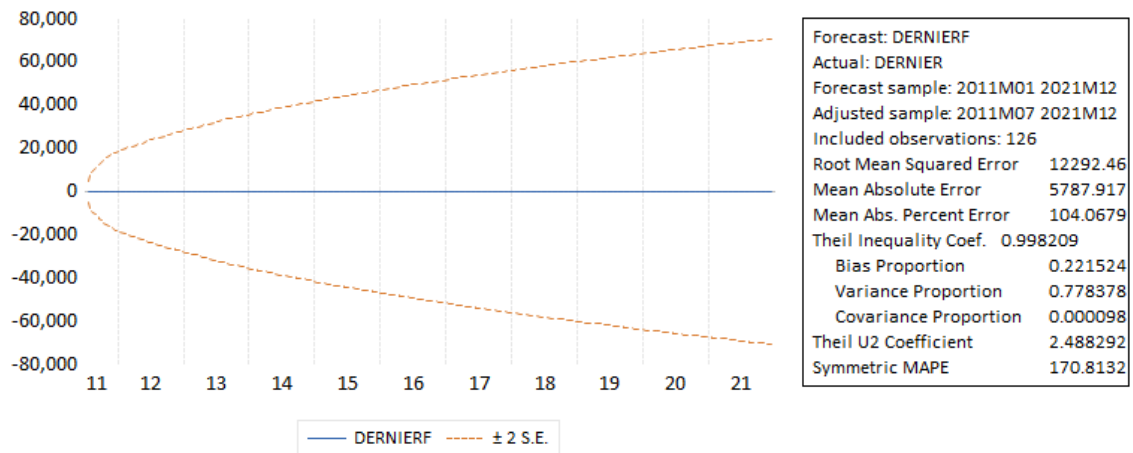


Dependent Variable: D(DERNIER)  
 Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)  
 Date: 04/06/22 Time: 11:30  
 Sample: 2011M02 2021M07  
 Included observations: 126  
 Convergence achieved after 87 iterations  
 Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(5)	-0.285886	0.059695	-4.789108	0.0000
MA(1)	0.561641	0.033741	16.64568	0.0000
SIGMASQ	6480409.	355961.4	18.20537	0.0000
R-squared	0.225280	Mean dependent var		329.7873
Adjusted R-squared	0.212683	S.D. dependent var		2903.750
S.E. of regression	2576.522	Akaike info criterion		18.57593
Sum squared resid	8.17E+08	Schwarz criterion		18.64346
Log likelihood	-1167.283	Hannan-Quinn criter.		18.60336
Durbin-Watson stat	1.992562			
Inverted AR Roots	.63-.46i	.63+.46i	-.24+.74i	-.24-.74i
	-78			
Inverted MA Roots	-.56			

### Prévision de la série temporelle du bitcoin par le modèle ARIMA

Le modèle ARIMA (5,1,1) est le modèle choisi pour effectuer la prévision sur evIEWS. Après avoir inscrit l'équation d'estimation exacte sur le logiciel, il suffit d'entrer la date de prévision de la série étudiée suivie par le graphe qu'on souhaite obtenir avec des valeurs telles que le MSE et MAPE qui nous permettent d'établir la comparaison avec les autres modèles de prévision et l'analyse de notre prédiction. Les résultats de prévision de la série du bitcoin présentent un graphe avec une couleur orange qui détermine l'intervalle de variation des prix des bitcoins prévus au cours des mois prochains jusqu'en novembre 2021 dont les valeurs estimées du bitcoin oscilleront entre 70 000 \$ et -70 000 \$.



## b. Analyse et prévision de la série temporelle de l'ethereum :

### Analyse du corrélogramme

Le corrélogramme de la série temporelle de l'ethereum comporte deux fonctions d'autocorrélation : une fonction d'autocorrélation simple et une fonction d'autocorrélation partielle.

On remarque dans le corrélogramme que l'autocorrélation simple diminue lentement vers zéro suivie par des corrélogrammes négatifs alors qu'un pic est toujours présenté au niveau du premier corrélogramme sur le plan de l'autocorrélation partielle. Le pic présenté à cette cote nous permet d'affirmer que notre série est généralement générée par un modèle AR. Cette remarque n'est pas confirmée à cent pour cent tant que les autres étapes de prévision ne sont pas encore exécutées.

### Test de racine unitaire (Dickey-Fuller) et différenciation de l'ethereum

L'analyse des résultats des tests d'ADF (Dickey-Fuller) sur la série du dernier prix de l'ethereum présente une probabilité de 0,1182 en ce qui concerne la tendance ; cette valeur

est supérieure à 5 % alors notre série de l'ethereum n'est pas générée par une tendance. Pareil pour la constante : sa valeur à partir du test d'ADF est de 0,4276, soit très supérieure à 5 %, ce qui nous explique que notre série ne contienne ni constante ni tendance. Cependant, la racine unitaire dans notre série existe puisque la probabilité de test Dickey-Fuller sur eviews 0,9944 est supérieure à 5 % ainsi que la valeur statistique calculée qui est égale à -0,070500 est supérieure à celle de la valeur critique tabule qui est de -3,482763. À la suite de tous ces résultats obtenus, nous pouvons conclure que notre série temporelle de l'ethereum n'est pas stationnaire ; dans ce cas, le modèle de différenciation intervient pour la stationnariser. Après une première différenciation, la série temporelle de cryptoactif ethereum n'est pas encore stationnaire avec une probabilité de 0,633 qui est encore supérieure à 5 % et avec une valeur de probabilité du test statistique -3,383196 qui est encore supérieure à celle de la probabilité de la valeur critique de 5 % dont la valeur est -3,486509. Une deuxième différenciation se manifeste pour stationnariser notre série de

Null Hypothesis: DERNIER2 has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=10)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-11.56930	0.0000
Test critical values:		
1% level	-4.118444	
5% level	-3.486509	
10% level	-3.171541	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(DERNIER2)  
 Method: Least Squares  
 Date: 04/23/22 Time: 17:18  
 Sample (adjusted): 2016M08 2021M07  
 Included observations: 60 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DERNIER2(-1)	-2.104035	0.181864	-11.56930	0.0000
D(DERNIER2(-1))	0.635240	0.116311	5.461582	0.0000
C	26.02488	146.9012	0.177159	0.8600
@TREND("2011M01")	-0.267645	1.499086	-0.178539	0.8589
R-squared	0.754222	Mean dependent var		11.53517
Adjusted R-squared	0.741055	S.D. dependent var		394.1271
S.E. of regression	200.5579	Akaike info criterion		13.50442
Sum squared resid	2252514.	Schwarz criterion		13.64405
Log likelihood	-401.1327	Hannan-Quinn criter.		13.55904
F-statistic	57.28266	Durbin-Watson stat		2.091349

l'ethereum avec une probabilité de 0,00 inférieure à 5 % et une valeur statistique calculée de -11,56930 inférieure de celle de la valeur critique qui est égale à -3,486509.

### Analyse des fonctions d'autocorrélation simple et partielle de l'ethereum

Lorsque la série temporelle de l'ethereum devient stationnaire après la deuxième différenciation, l'analyse des fonctions d'autocorrélation se révèle indispensable pour choisir le bon modèle pour effectuer les prévisions. La fonction d'autocorrélation partielle qui représente le modèle autorégressif (AR) comporte différents corrélogrammes sur les résultats, mais pour les prévisions et pour le modèle à choisir, nous choisirons seulement les corrélogrammes qui sortent de l'intervalle de confiance. AR (1), AR (2), AR (4) et AR (7) sont les modèles à adopter à partir des résultats sur eviews. Par la suite, la fonction d'autocorrélation simple qui représente le modèle moyenne mobile (MA) comprend aussi trois modèles dont les corrélogrammes sortent de leur intervalle de confiance : ces trois modèles sont MA (1), MA (2) et MA (3).

Les résultats de l'équation de l'estimation permettent d'identifier le modèle ARIMA pour effectuer la prévision afin qu'elle s'avère efficace. Pour la série temporelle de l'ethereum, le bon modèle choisi à travers les résultats obtenus sur eviews est le modèle ARIMA

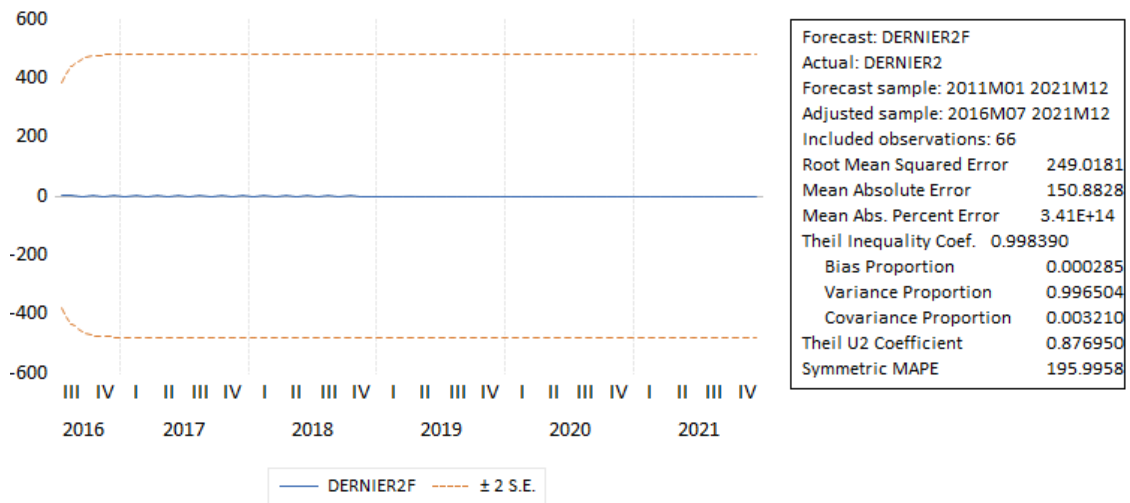
Dependent Variable: DERNIER2  
Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)  
Date: 04/23/22 Time: 17:52  
Sample: 2016M06 2021M07  
Included observations: 62  
Convergence achieved after 44 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	-0.571953	0.075243	-7.601400	0.0000
MA(2)	-0.749011	0.071677	-10.44985	0.0000
SIGMASQ	34255.76	4310.441	7.947159	0.0000
R-squared	0.438371	Mean dependent var		4.084032
Adjusted R-squared	0.419333	S.D. dependent var		248.9849
S.E. of regression	189.7303	Akaike info criterion		13.40014
Sum squared resid	2123857.	Schwarz criterion		13.50307
Log likelihood	-412.4044	Hannan-Quinn criter.		13.44055
Durbin-Watson stat	2.132206			
Inverted AR Roots	-.57			
Inverted MA Roots	.87	-.87		

(1,2,2) dont toutes les probabilités sont inférieures à 5 % alors que les résidus forment un bruit blanc et suivent une loi normale avec leurs probabilités très supérieures à 5 %.

### Prévision de la série temporelle de l'ethereum par le modèle ARIMA

Le modèle ARIMA (1,2,2) est le modèle choisi pour faire la prévision sur eviews. Après avoir inscrit l'équation d'estimation exacte sur le logiciel, il suffit d'inscrire la date de prévision de la série étudiée suivie par le graphe qu'on souhaite obtenir avec des valeurs telles que le MSE et MAPE qui nous permettent d'établir la comparaison avec les autres modèles de prévision et l'analyse de notre prédiction. Les résultats de prévision de la série de l'ethereum présentent un graphe avec une couleur orange qui détermine l'intervalle de variation des prix des ethereum prévus au cours des mois prochains jusqu'à novembre 2021 dont les valeurs estimées de l'ethereum oscilleront entre 500 et -500 dollars.



### **c. Analyse et prévision de la série temporelle du tether :**

#### **Analyse du corrélogramme**

Le corrélogramme de la série temporelle de tether présente deux fonctions d'autocorrélation, une fonction d'autocorrélation simple et une fonction d'autocorrélation partielle.

On remarque dans le corrélogramme que l'autocorrélation simple diminue lentement vers zéro suivie par des corrélogrammes négatifs tout en assurant que tous les corrélogrammes ne sortent pas de leurs intervalles de confiance alors qu'au niveau de l'autocorrélation partielle, il y a un corrélogramme qui sort de leur intervalle de confiance. Cette sortie du corrélogramme présentée à cette cote nous permet d'affirmer que notre série est généralement générée par un modèle AR. Cette remarque n'est pas confirmée à cent pour cent tant que les autres étapes de prévision ne sont pas encore exécutées.

#### **Test de racine unitaire (Dickey-Fuller) et différenciation du tether**

L'analyse des résultats des tests d'ADF (Dickey-Fuller) sur la série du dernier prix du tether présente une probabilité de 0,7252 pour ce qui est de la tendance ; cette valeur est supérieure à 5 % alors notre série du tether n'est pas générée par une tendance, contrairement à la constante dont la valeur à partir du test d'ADF est de 0,000 et donc inférieure à 5 %, ce qui nous explique que notre série ne contient pas une tendance, mais présente une constante. Une probabilité de 0,000 inférieure à 5 % au niveau des tests Dickey-Fuller montre que notre série ne contient pas une racine unitaire, nous pouvons aussi vérifier par la valeur du t statistique calculé qui est de -6,274975, soit inférieure à celle de la valeur critique de 5 % qui se présente sur le tableau de eviews avec une valeur de -3,504330. Nous pouvons ainsi affirmer que notre série du tether est stationnaire à travers les résultats obtenus par le test ADF.

Null Hypothesis: PRICE has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=10)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-6.274975	0.0000
Test critical values:		
1% level	-4.156734	
5% level	-3.504330	
10% level	-3.181826	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(PRICE)  
 Method: Least Squares  
 Date: 04/26/22 Time: 13:21  
 Sample (adjusted): 2017M07 2021M07  
 Included observations: 49 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PRICE(-1)	-0.896432	0.142858	-6.274975	0.0000
C	0.896424	0.143005	6.268482	0.0000
@TREND("2017M01")	2.13E-05	6.03E-05	0.353664	0.7252
R-squared	0.461993	Mean dependent var		-0.000200
Adjusted R-squared	0.438601	S.D. dependent var		0.007968
S.E. of regression	0.005970	Akaike info criterion		-7.344719
Sum squared resid	0.001640	Schwarz criterion		-7.228894
Log likelihood	182.9456	Hannan-Quinn criter.		-7.300775
F-statistic	19.75036	Durbin-Watson stat		1.961754
Prob(F-statistic)	0.000001			

### Analyse des fonctions d'autocorrélation simple et partielle du tether

Puisque la série temporelle du tether est stationnaire, l'analyse des fonctions d'autocorrélation se révèle indispensable pour choisir le bon modèle pour effectuer les prévisions. La fonction d'autocorrélation partielle qui représente le modèle autorégressif (AR) comporte différents corrélogrammes sur les résultats, mais pour les prévisions et pour le modèle à choisir, nous sélectionnerons seulement les corrélogrammes qui sortent de l'intervalle de confiance.

AR (11) est le modèle choisi pour effectuer la prévision puisqu'il s'agit du seul modèle dont le corrélogramme sort de son intervalle de confiance. Contrairement au modèle AR, aucun corrélogramme ne peut être pris à partir de nos résultats sur eviews pour le modèle MA puisque tous les corrélogrammes se situent dans leur intervalle de confiance. Les résultats de l'équation de l'estimation permettent d'identifier le modèle ARIMA pour réaliser la prévision afin qu'elle soit efficace. Pour la série temporelle du tether, le bon

modèle choisi à travers les résultats obtenus sur evIEWS est le modèle ARIMA (11,0,0) dont toutes les probabilités sont inférieures à 5 % tandis que les résidus forment un bruit blanc et suivent une loi normale avec leurs probabilités très supérieures à 5 %.

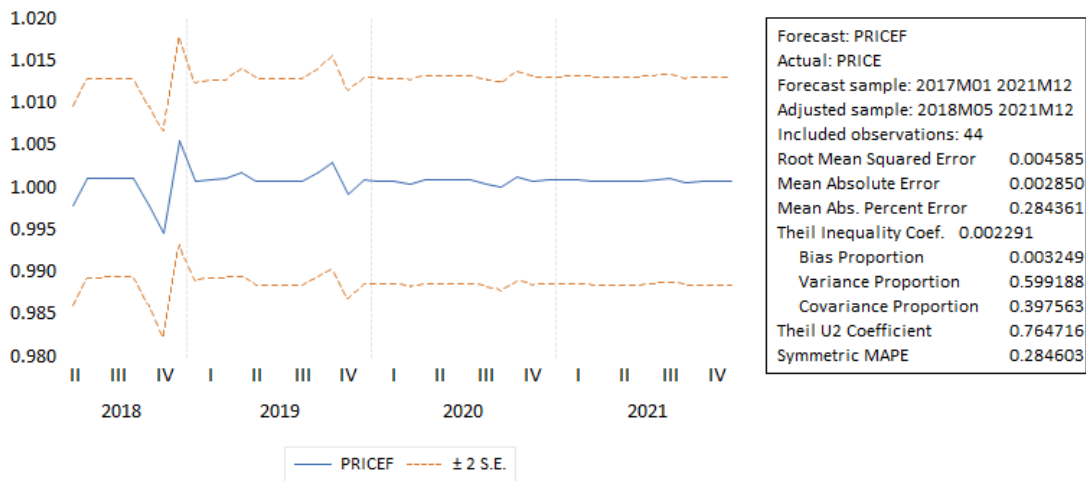
Dependent Variable: PRICE  
Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)  
Date: 04/26/22 Time: 13:33  
Sample: 2017M06 2021M07  
Included observations: 50  
Convergence achieved after 19 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.000836	0.000824	1215.319	0.0000
AR(11)	-0.328968	0.115259	-2.854163	0.0064
SIGMASQ	3.11E-05	5.09E-06	6.116746	0.0000
R-squared	0.109334	Mean dependent var		1.000914
Adjusted R-squared	0.071433	S.D. dependent var		0.005971
S.E. of regression	0.005754	Akaike info criterion		-7.394497
Sum squared resid	0.001556	Schwarz criterion		-7.279776
Log likelihood	187.8624	Hannan-Quinn criter.		-7.350811
F-statistic	2.884742	Durbin-Watson stat		1.837715
Prob(F-statistic)	0.065812			
Inverted AR Roots	.87+.25i	.87-.25i	.59-.68i	.59+.68i
	.13-.89i	.13+.89i	-.38+.82i	-.38-.82i
	-.76+.49i	-.76-.49i	-.90	

### Prévision de la série temporelle du tether par le modèle ARIMA

Le modèle ARIMA (11,0,0) est le modèle choisi pour effectuer la prévision sur evIEWS. Après avoir inscrit l'équation d'estimation exacte sur le logiciel, il suffit d'inscrire la date de prévision de la série étudiée suivie par le graphe que nous souhaiterions avoir avec des valeurs telles que le MSE et MAPE qui nous permettent de faire la comparaison avec les autres modèles de prévision et l'analyse de notre prédiction. Les résultats de prévision de la série du tether présentent un graphe avec une couleur orange qui détermine l'intervalle de variation des prix du tether prévus au cours des mois prochains jusqu'en novembre 2021 dont les valeurs estimées du prix du tether oscilleront entre 1,018 et 0,982 dollars.





**d. Analyse et prévision de la série temporelle du cardano :**  
**Analyse du corrélogramme**

Le corrélogramme de la série temporelle du cardano comporte deux fonctions d'autocorrélation : une fonction d'autocorrélation simple et une fonction d'autocorrélation partielle.

Nous remarquons dans le corrélogramme que l'autocorrélation simple diminue lentement vers zéro en étant suivie par des corrélogrammes négatifs alors qu'un pic est toujours présenté pour ce qui est du premier corrélogramme sur le plan de l'autocorrélation partielle. Le pic présenté à cette cote nous permet d'affirmer que notre série est généralement générée par un modèle AR. Cette remarque n'est pas confirmée à cent pour cent tant que les autres étapes de prévision ne sont pas encore exécutées.

**Test de racine unitaire (Dickey-Fuller) et différenciation du cardano**

L'analyse des résultats des tests d'ADF (Dickey-Fuller) sur la série du dernier prix du cardano présente une probabilité de 0,6076 sur le plan de la tendance ; cette valeur est supérieure à 5 %, donc notre série du cardano n'est pas générée par une tendance. Idem

pour la constante : la valeur de la constante à partir du test d'ADF est de 0,1604, soit très supérieure à 5 %, ce qui nous explique que notre série ne contienne ni constante ni tendance. Cependant, la racine unitaire dans notre série existe puisque la probabilité de test Dickey-Fuller sur evIEWS 0,3696 est supérieure à 5 % ainsi que la valeur statistique calculée qui est égale à -2,408659, soit supérieure à celle de la valeur critique tabule qui est de -3,529758. À travers tous ces résultats obtenus, nous pouvons conclure que notre série temporelle du cardano n'est pas stationnaire ; dans ce cas-ci, le modèle de différenciation intervient pour la stationnariser. Après une première différenciation, la série temporelle de cryptoactif cardano n'est pas encore complètement stationnaire. Une deuxième différenciation survient pour stationnariser notre série du cardano avec une probabilité de 0,0124 inférieure à 5 % et une valeur statistique calculés de -4,154506 inférieure à celle de la valeur critique qui est égale à -3,544282.

Null Hypothesis: PRICE2 has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 5 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-4.154506	0.0124
Test critical values:		
1% level	-4.243644	
5% level	-3.544284	
10% level	-3.204699	

\*Mackinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(PRICE2)  
 Method: Least Squares  
 Date: 04/26/22 Time: 14:39  
 Sample (adjusted): 2018M09 2021M07  
 Included observations: 35 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PRICE2(-1)	-6.127113	1.474812	-4.154506	0.0003
D(PRICE2(-1))	4.175390	1.381659	3.022011	0.0054
D(PRICE2(-2))	3.290574	1.208980	2.721778	0.0112
D(PRICE2(-3))	2.878335	0.963353	2.987832	0.0059
D(PRICE2(-4))	2.002188	0.665418	3.008919	0.0056
D(PRICE2(-5))	0.872099	0.389527	2.238868	0.0336
C	-0.014981	0.082908	-0.180691	0.8580
@TREND("2018M01")	0.002286	0.003317	0.689172	0.4966
R-squared	0.895214	Mean dependent var		0.009500
Adjusted R-squared	0.868048	S.D. dependent var		0.482679

## Analyse des fonctions d'autocorrélation simple et partielle du cardano

Lorsque la série temporelle du cardano devient stationnaire après la deuxième différenciation, l'analyse des fonctions d'autocorrélation s'avère indispensable pour choisir le bon modèle afin d'effectuer les prévisions. La fonction d'autocorrélation partielle qui représente le modèle autorégressif (AR) comporte différents corrélogrammes sur les résultats, mais pour les prévisions et pour le modèle à choisir, nous sélectionnerons seulement les corrélogrammes qui sortent de l'intervalle de confiance. AR (1), AR (2) et AR (6) sont les modèles choisis à partir des résultats sur eviews. Par la suite, la fonction d'autocorrélation simple qui représente le modèle moyenne mobile (MA) comprend aussi trois modèles dont les corrélogrammes sortent de leur intervalle de confiance : ces trois modèles sont MA (1), MA (3) et MA (4).

Les résultats de l'équation de l'estimation permettent d'identifier le modèle ARIMA pour effectuer la prévision afin qu'elle s'avère efficace. Pour la série temporelle du cardano, le bon modèle choisi parmi les résultats obtenus sur eviews est le modèle ARIMA (1,2,3) dont toutes les probabilités sont inférieures à 5 % tandis que les résidus forment un bruit blanc et suivent une loi normale avec leurs probabilités très supérieures à 5 %.

Dependent Variable: PRICE2  
Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)  
Date: 04/26/22 Time: 15:14  
Sample: 2018M03 2021M07  
Included observations: 41  
Convergence achieved after 56 iterations  
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	-0.495694	0.061959	-8.000421	0.0000
MA(3)	0.638871	0.182914	3.492732	0.0012
SIGMASQ	0.035584	0.004167	8.539911	0.0000
R-squared	0.488422	Mean dependent var		0.003254
Adjusted R-squared	0.461496	S.D. dependent var		0.267014
S.E. of regression	0.195943	Akaike info criterion		-0.310330
Sum squared resid	1.458952	Schwarz criterion		-0.184947
Log likelihood	9.361773	Hannan-Quinn criter.		-0.264673
Durbin-Watson stat	2.217312			
Inverted AR Roots	-.50			
Inverted MA Roots	.43-.75i	.43+.75i	-.86	

## Prévision de la série temporelle du cardano par le modèle ARIMA

Le modèle ARIMA (1,2,3) est le modèle choisi pour faire la prévision sur evIEWS. Après avoir inscrit l'équation d'estimation exacte sur le logiciel, il suffit d'entrer la date de prévision de la série étudiée suivie par le graphe que nous souhaitons avoir avec des valeurs telles que le MSE et MAPE qui nous permettent de réaliser la comparaison avec les autres modèles de prévision et l'analyse de notre prédiction. Les résultats de prévision de la série du cardano comportent un graphe avec une couleur orange qui détermine l'intervalle de variation des prix du cardano prévus au cours des mois prochains jusqu'en novembre 2021 dont les valeurs estimées du cardano oscilleront entre 5 et -5 dollars.



### e. Analyse et prévision de la série temporelle du litecoin :

#### Analyse du corrélogramme

Le corrélogramme de la série temporelle du litecoin présente deux fonctions d'autocorrélation : une fonction d'autocorrélation simple et une fonction d'autocorrélation partielle.

Nous remarquons dans le corrélogramme que l'autocorrélation simple diminue lentement vers zéro en étant suivie par des corrélogrammes négatifs alors qu'un pic est toujours présenté au premier corrélogramme en ce qui concerne l'autocorrélation partielle. Le pic présenté à cette cote nous permet de dire que notre série est généralement générée par un modèle AR. Cette remarque n'est pas confirmée à cent pour cent tant que les autres étapes de prévision ne sont pas encore exécutées.

### Test de racine unitaire (Dickey-Fuller) et différenciation du litecoin

L'analyse des résultats des tests d'ADF (Dickey-Fuller) sur la série du dernier prix du litecoin présente une probabilité de 0,3545 sur le plan de la tendance ; cette valeur est supérieure à 5 % alors notre série de litecoin n'est pas générée par une tendance. Idem pour la constante : la valeur de la constante à partir du test d'ADF est de 0,2945, soit très supérieure à 5 %, ce qui nous explique que notre série ne contient ni constante ni tendance. Cependant, la racine unitaire dans notre série existe puisque la probabilité de test Dickey-

Null Hypothesis: PRICE2 has a unit root			t-Statistic	Prob.*
Exogenous: Constant, Linear Trend				
Lag Length: 2 (Automatic - based on SIC, maxlag=10)				
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-7.512953	0.0000
Test critical values:	1% level		-4.140858	
	5% level		-3.496960	
	10% level		-3.177579	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(PRICE2)				
Method: Least Squares				
Date: 04/26/22 Time: 15:06				
Sample (adjusted): 2017M03 2021M07				
Included observations: 53 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PRICE2(-1)	-2.746262	0.365537	-7.512953	0.0000
D(PRICE2(-1))	0.936052	0.289493	3.233416	0.0022
D(PRICE2(-2))	0.432704	0.153274	2.823075	0.0069
C	4.563888	15.02066	0.303841	0.7626
@TREND("2016M01")	-0.135041	0.351625	-0.384049	0.7026
R-squared	0.845271	Mean dependent var		0.839434
Adjusted R-squared	0.832377	S.D. dependent var		95.09766
S.E. of regression	38.93465	Akaike info criterion		10.25123
Sum squared resid	72763.55	Schwarz criterion		10.43711
Log likelihood	-266.6577	Hannan-Quinn criter.		10.32271

Fuller sur  $eviews$  0,3642 est supérieure à 5 % tandis que la valeur statistique calculée qui est égale à -2,422999 est supérieure à celle de la valeur critique tabule qui est -3,490662. À la suite de tous ces résultats obtenus, nous pouvons conclure que notre série temporelle du litecoin n'est pas stationnaire ; dans ce cas, le modèle de différenciation intervient pour la stationnariser. Après une première différenciation, la série temporelle de cryptoactif litecoin n'est pas complètement stationnaire. Une deuxième différenciation vient pour stationnariser notre série du litecoin avec une probabilité de 0,00 inférieure à 5 % et une valeur statistique calculée de -7,512953 inférieure à celle de la valeur critique qui est égale à -3,496960.

### **Analyse des fonctions d'autocorrélation simple et partielle du litecoin**

Lorsque la série temporelle du litecoin devient stationnaire après la deuxième différenciation, l'analyse des fonctions d'autocorrélation se révèle indispensable pour choisir le bon modèle pour effectuer les prévisions. La fonction d'autocorrélation partielle qui représente le modèle autorégressif (AR) présente différents corrélogrammes sur les résultats, mais pour les prévisions et pour le modèle à choisir, nous sélectionnerons seulement les corrélogrammes qui sortent de l'intervalle de confiance. AR (1) et AR (3) sont les modèles choisis à partir des résultats sur  $eviews$ . Par la suite, la fonction d'autocorrélation simple qui représente le modèle moyenne mobile (MA) comporte aussi quatre modèles dont les corrélogrammes sortent de leur intervalle de confiance : ces quatre modèles sont MA (1), MA (2) MA (3) et MA (4).

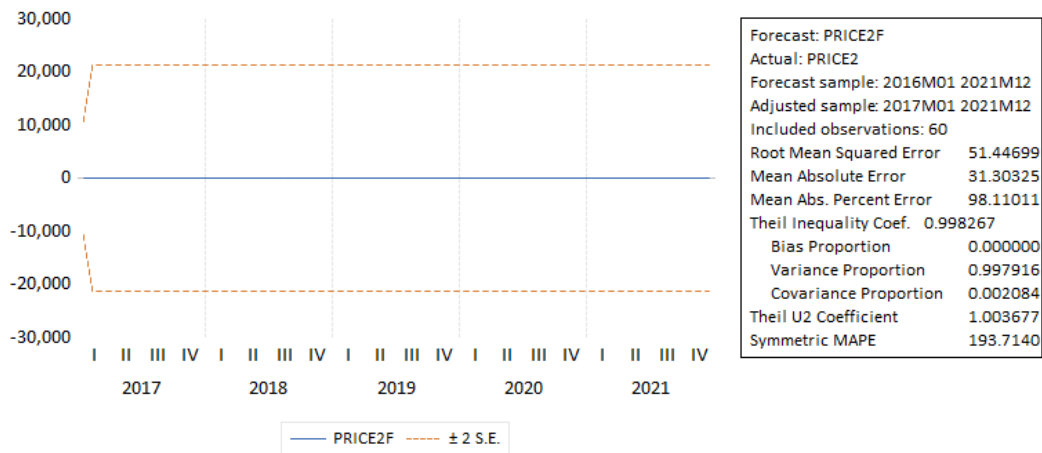
Les résultats de l'équation de l'estimation permettent d'identifier le modèle ARIMA pour réaliser la prévision afin qu'elle s'avère efficace. Pour la série temporelle du litecoin, le bon modèle choisi à travers les résultats obtenus sur  $eviews$  est le modèle ARIMA (1,2,2) dont toutes les probabilités sont inférieures à 5 % tandis que les résidus forment un bruit blanc et suivent une loi normale avec leurs probabilités très supérieures à 5 %.

Dependent Variable: PRICE2  
 Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)  
 Date: 04/26/22 Time: 15:03  
 Sample: 2016M12 2021M07  
 Included observations: 56  
 Convergence achieved after 15 iterations  
 Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	-1.000000	0.268967	-3.717921	0.0005
MA(2)	-0.999661	0.000528	-1892.813	0.0000
SIGMASQ	1097.871	149.5347	7.341914	0.0000
R-squared	0.577957	Mean dependent var		0.012161
Adjusted R-squared	0.562031	S.D. dependent var		51.46475
S.E. of regression	34.05898	Akaike info criterion		10.04046
Sum squared resid	61480.76	Schwarz criterion		10.14896
Log likelihood	-278.1329	Hannan-Quinn criter.		10.08252
Durbin-Watson stat	2.184022			
Inverted AR Roots	-1.00			
Inverted MA Roots	1.00	-1.00		

### Prévision de la série temporelle du litecoin par le modèle ARIMA

Le modèle ARIMA (1,2,2) est le modèle choisi pour effectuer la prévision sur evIEWS. Après avoir inscrit l'équation d'estimation exacte sur le logiciel, il suffit d'entrer la date de prévision de la série étudiée suivie par le graphe que nous souhaitons obtenir avec des valeurs telles que le MSE et MAPE qui nous permettent d'établir la comparaison avec les autres modèles de prévision et l'analyse de notre prédiction. Les résultats de prévision de la série du litecoin présentent un graphe avec une couleur orange qui détermine l'intervalle de variation des prix du litecoin prévus au cours des mois prochains jusqu'en novembre 2021 dont les valeurs estimées du litecoin oscilleront entre 20 000 et -20 000 dollars.



### 3. Comparaison des résultats du modèle $\alpha$ -Sutte Indicator et ARIMA pour les prévisions des cinq cryptomonnaies :

#### a. Comparaison des résultats des prévisions du Bitcoin :

Pour tester l'efficacité du modèle étudié, il faut toujours s'appuyer sur les valeurs des erreurs absolues moyennes en pourcentage. Les valeurs de prévision MAPE des cryptomonnaies bitcoin obtenues par la méthode  $\alpha$ -Sutte indicator sont toutes inférieures à 10 % contrairement au modèle ARIMA (5,1,1), ce qui implique que le modèle  $\alpha$ -Sutte indicator présente une plus grande précision.

Cette précision de prévision du modèle choisi ne veut pas dire que la prévision par la méthode ARIMA (5,1,1) n'est pas correcte, mais elle est moins efficace. En effet, la prévision par le modèle ARIMA pour les cryptomonnaies bitcoin ne nous indique pas la valeur exacte des prix du bitcoin, mais elle nous donne un intervalle de variation où le prix du bitcoin peut être placé. Pour confirmer, le prix du bitcoin valait 47 157 dollars en août pour atteindre 56 938, son prix par rapport au dollar américain au mois de novembre, tandis que la prévision par le modèle ARIMA (5,1,1) nous donne l'intervalle de variation entre 60 000 et -60 000 ; donc, c'est une prévision qui n'est pas fautive, mais qui n'est pas non plus très efficace pour les cryptomonnaies bitcoin. De plus, nous pouvons aussi confirmer par les valeurs de l'erreur quadratique moyenne RMSE qui est plus faible dans le modèle



$\alpha$ -Sutte indicator pour les quatre mois dont nous avons fait les prévisions que dans le modèle ARIMA (5,1,1).

#### **b. Comparaison des résultats des prévisions de l'Ethereum :**

Les valeurs des erreurs absolues moyennes en pourcentage sont toujours indispensables pour la vérification de la précision du modèle économétrique étudié, une valeur inférieure à 10 % nous permettant de conclure que le modèle présente une très grande précision. En effet, les valeurs de MAPE pour le modèle  $\alpha$ -Sutte indicator pour les cryptomonnaies ethereum sont toutes inférieures à 10 % ; de plus, nous constatons que la valeur de MAPE pour la prévision effectuée par le modèle ARIMA (1,2,2) est aussi inférieure à 10 % ; nous pouvons dire que la prévision de la série de l'ethereum par les deux modèles présente une grande précision. Pour passer au modèle le plus efficace, il suffit simplement de comparer le RMSE le plus faible entre les deux dont nous trouvons que la valeur RMSE 249.0181 du modèle ARIMA (1,2,2) est plus faible que les valeurs de l'erreur quadratique moyennent RMSE du modèle  $\alpha$ -Sutte indicator ; par la suite, nous pouvons affirmer que la prévision par le modèle économétrique ARIMA (1,2,2) s'avère de plus en plus efficace que le modèle  $\alpha$ -Sutte indicator.

#### **c. Comparaison des résultats des prévisions de Tether :**

Les valeurs des erreurs absolues moyennes en pourcentage se révèlent toujours indispensables pour la vérification de la précision du modèle économétrique étudié, une valeur inférieure à 10 % nous permettant de conclure que le modèle présente une très grande précision. En effet, les valeurs de MAPE pour le modèle  $\alpha$ -Sutte indicator pour les cryptomonnaies du Tether sont toutes inférieures à 10 % ; de plus, nous constatons que la valeur de MAPE pour la prévision effectuée par le modèle ARIMA (11,0,0) est aussi inférieure à 10 % ; nous pouvons souligner que la prévision de la série du Tether par les deux modèles présente une grande précision. Pour passer au modèle le plus efficace, il suffit juste de comparer le RMSE le plus faible entre les deux dont nous trouvons que la valeur RMSE 0.004585 du modèle ARIMA (11,0,0) est plus faible que les valeurs de

l'erreur quadratique moyenne RMSE du modèle  $\alpha$ -Sutte indicator ; par la suite, nous pouvons déclarer que la prévision par le modèle économétrique ARIMA (1,1,0) est de plus en plus efficace que le modèle.

**d. Comparaison des résultats des prévisions du Cardano :**

Pour tester l'efficacité du modèle étudié, il faut toujours s'appuyer sur les valeurs des erreurs absolues moyennes en pourcentage, les valeurs de prévision MAPE des cryptomonnaies cardano obtenues par la méthode  $\alpha$ -Sutte indicator sont toutes inférieures à 10 % contrairement au modèle ARIMA (1,2,3), ce qui implique que le modèle  $\alpha$ -Sutte indicator présente plus grande précision.

Cette précision de prévision du modèle choisi ne signifie pas que la prévision par la méthode ARIMA (1,2,3) n'est pas correcte, mais elle est moins efficace. En effet, la prévision par le modèle ARIMA pour les cryptomonnaies cardano ne nous donne pas la valeur exacte des prix du cardano, mais elle produit un intervalle de variation où le prix du cardano peut être placé. Pour confirmer, le prix du cardano valait 2,7716dollars en août pour diminuer un peu au mois de novembre jusqu'à 1,5544 tandis que la prévision par le modèle ARIMA (1,2,3) nous donne l'intervalle de variation entre 5 et -5 ; donc, c'est une prévision qui n'est pas fautive, mais qui n'est pas non plus très efficace pour les cryptomonnaies cardano.

**e. Comparaison des résultats des prévisions du litecoin :**

Pour tester l'efficacité du modèle étudié, il faut toujours s'appuyer sur les valeurs des erreurs absolues moyennes en pourcentage, les valeurs de prévision MAPE de la cryptomonnaie litecoin effectuée par la méthode  $\alpha$ -Sutte indicator sont toutes inférieures à 10 % contrairement au modèle ARIMA (1,2,2), ce qui implique que le modèle  $\alpha$ -Sutte indicator présente plus grande précision.

Cette précision de prévision du modèle choisi ne signifie pas que la prévision par la méthode ARIMA (1,2,2) n'est pas correcte, mais elle est moins efficace. En effet, la prévision par le modèle ARIMA pour la cryptomonnaie litecoin ne nous indique pas la valeur exacte des prix du litecoin, mais elle nous donne un intervalle de variation où le prix du litecoin peut être placé. Pour confirmer, le prix du litecoin valait 171 490 dollars en août pour atteindre 208 100, son prix par rapport au dollar américain au mois de novembre, tandis que la prévision par le modèle ARIMA (1,2,2) nous donne l'intervalle de variation entre 20 000 et -20 000 ; donc, c'est une prévision qui n'est pas fausse, mais aussi qui n'est pas très efficace pour les cryptomonnaies litecoin. De plus, nous pouvons aussi confirmer par les valeurs de l'erreur quadratique moyenne RMSE qui est plus faible dans le modèle  $\alpha$ -Sutte indicator pour les quatre mois dont nous avons fait les prévisions que dans le modèle ARIMA (1,2,2).

### **Résumé de la recherche**

Le premier chapitre de la recherche vise à présenter l'histoire des cryptomonnaies, la manière dont les monnaies numériques ont évolué au cours du temps depuis leurs créations. Il présente aussi les caractéristiques des cryptoactifs dont le fonctionnement est contrôlé par tout un système complètement sécurisé. Il explique aussi l'accession au système numérique tout en mettant en valeur les différentes variétés des cryptomonnaies échangées sur le marché.

Le deuxième chapitre consiste à décrire le rôle des monnaies numériques et leur influence sur l'économie des pays. Dans ce chapitre, le débat entre les économistes sur l'investissement des pays dans la cryptomonnaie est relaté : certains d'entre eux favorisent l'utilisation des monnaies numériques tandis que les autres refusent totalement cet investissement. Ces opinions sont discutées en se basant sur les avantages et les inconvénients cités dans la deuxième partie de la recherche. Ce chapitre aussi expose l'attitude officielle de l'autorité monétaire des pays envers les cryptomonnaies, certains pays ayant accepté les cryptomonnaies comme une monnaie légale alors que d'autres pays forcent l'interdiction de son utilisation.

Cette recherche a pour but d'effectuer la prédiction et l'évaluation des taux de change des différentes cryptodevises. Cette prédiction est faite avec des modèles économétriques tels que le  $\alpha$ -Sutte Indicator, ARMA et ARIMA. Le chapitre 3 dans cette recherche définit chaque modèle, les données nécessaires pour donner une prévision efficace et décrit la formule utilisée.

Enfin, au chapitre 4, qui est le dernier, on trouve les analyses des résultats de chaque modèle économétrique utilisé avec un tableau statistique descriptif des données, la formule spécifique de chaque méthode, la comparaison entre les différentes méthodes et la présentation du meilleur modèle pour chaque cryptomonnaie pour faire l'évaluation et la prédiction.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Ansari Saleh Ahmar: A Comparison of  $\alpha$ -Sutte Indicator and ARIMA Methods in Renewable Energy Forecasting in Indonesia; International Journal of Engineering & Technology, 7 (1.6) (2018) 20-22
- [2] Ansari Saleh Ahmar; Songklanakar J. Sci. Technol: an approach to predict the direction of stock market movements, 40 (5), 1228-1231, Sep. - Oct. 2018
- [3] A S Ahmar et al 2018 J. Phys,  $\alpha$ -Sutte Indicator: a new method for time series forecasting, Conf. Ser. 1040 012018
- [4] Aprilianus Rakhmadi Pratama<sup>1</sup>, Sigit Nugroho<sup>2</sup>, Ketut Sukiyono<sup>3</sup>: Cryptocurrency Forecasting using  $\alpha$ -Sutte Indicator, ARIMA, and Long Short-Term Memory.
- [5] A. M. C. H. Attanayake and S. S. N. Perera: Forecasting COVID-19 Cases Using Alpha-Sutte Indicator : A Comparison with Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) Method, Volume 2020, Article ID 8850199, 11 pages
- [6] Ansari Saleh Ahmar, Eva Boj del Val: SutteARIMA: Short-term forecasting method, a case: Covid-19 and stock market in Spain, Science of the Total Environment 729 (2020) 138883
- [7] David Birch: The Digital Currency Revolution, CSFI, Number 134 April 2020
- [8] <https://www.optionfinance.fr/analyses/clarifier-le-debat-sur-les-cryptomonnaies.html>
- [9] <https://bitcoin.org/fr/vocabulaire#bitcoin>
- [10] <https://journalducoin.com/analyses/bitcoin-est-il-une-pyramide-de-ponzi/>
- [11] <https://www.investopedia.com/news/what-paul-krugmans-problem-bitcoin/>
- [12] <https://ledrenche.ouest-france.fr/le-bitcoin-est-il-une-monnaie -davenir/>
- [13] <https://www.angelone.in/>
- [14] <https://www.capital.fr/crypto/interdiction-de-lindustrie-des-cryptomonnaies-en-chine-les-fermetures-dentreprises-se-succedent-1407034>

<https://www.capital.fr/crypto/le-salvador-devient-le-premier-pays-a-autoriser-le-bitcoin-comme-monnaie-legale-1413583>

<https://www.phonandroid.com/cryptomonnaies-les-etats-unis-annoncent-la-creation-du-dollar-numerique.html>

<https://www.touteurope.eu/economie-et-social/economie-face-aux-risques-de-derives-comment-l-union-europeenne-tente-t-elle-de-reguler-les-cryptomonnaies/>

[https://businessdynamite.xyz/cryptomonnaie/blockchain/pourquoi-cryptomonnaie-volatile/#Volatilite\\_cryptomonnaie\\_Les\\_negociants](https://businessdynamite.xyz/cryptomonnaie/blockchain/pourquoi-cryptomonnaie-volatile/#Volatilite_cryptomonnaie_Les_negociants)