

Louvain School of Management

Le trading algorithmique, une nécessaire (r)évolution ?

Mémoire recherche réalisé par
Charles-Henri Vandrepol

en vue de l'obtention du titre de
Master en ingénieur de gestion, à finalité spécialisée

Promoteur
Professeur Bruno Colmant

Année académique 2016-2017

Je tiens à remercier tout d'abord mon promoteur, le Professeur Bruno Colmant, pour ses conseils judicieux ainsi que la grande liberté d'écriture et la confiance qu'il m'a accordée.

Je suis également extrêmement reconnaissant envers les banquiers de la Banque Degroof Petercam, au sein de laquelle j'ai eu l'occasion d'effectuer mon stage de fin d'études. Ils m'ont aidé à trouver des réponses à mes questions, et n'ont pas hésité à exprimer leurs avis sur les sujets dont je souhaitais traiter tout au long de ce mémoire.

En particulier, je tenais à remercier les personnes suivantes

Eric Debeaud, ex-Trader

Tanguy del Marmol, Broker

Johan Cok, Senior Broker

Olivier-Pierre Morrot, Sales-Trader

Mohamed Abalhossain, Sales-Trader

Ainsi que

Michael Broes, ex-Trader Algorithmique

et Frederiek Van Holle, Manager de Fonds Quantitatifs

pour leurs excellents conseils et le temps qu'ils ont consacré à me parler de leur utilisation au quotidien des algorithmes de trading.

Je remercie les universités de la Louvain School of Management, Belgique, ainsi que St. Gallen, Suisse, pour les excellents cours que j'ai pu y suivre et l'intérêt qu'ils m'ont transmis pour les marchés financiers. De plus, l'accès aux recherches financières dont j'ai pu bénéficier a certainement contribué à une meilleure compréhension et résolution de la problématique abordée lors de ce mémoire.

Enfin, je remercie chaleureusement ma famille, et mes chers parents, Isabelle et Vincent, pour leur soutien, leurs conseils ainsi que leurs encouragements tout au long de l'écriture de ce mémoire.

Table des matières

I.	Introduction.....	1
II.	Evolution du Trading et de son fonctionnement	3
1.	Aperçu historique : comparaison entre les années '70 et aujourd'hui.....	4
1.1.	Le paysage des marchés financiers dans les années '70.....	4
1.2.	Le paysage des marchés financiers de nos jours.....	5
1.3.	Le fonctionnement des marchés financiers dans les années '70.....	7
1.4.	Le fonctionnement des marchés financiers aujourd'hui.....	8
2.	L'électronique au sein des marchés financiers	9
2.1.	Les types de contrats traités sur les marchés financiers.....	9
2.2.	Le trading au sein des marchés électroniques	11
2.2.1.	Les ordres au marché	11
2.2.2.	Les ordres à cours limité.....	12
2.2.3.	Autres types d'ordres	13
3.	Les algorithmes au sein des marchés financiers	15
3.1.	Différentes catégories d'algorithmes de trading	16
3.1.1.	Minimiser l'effet sur le marché	16
3.1.2.	Minimiser les coûts transactionnels.....	18
3.1.3.	Rechercher des opportunités.....	18
3.2.	Les paramètres associés aux algorithmes de trading.....	19
III.	Analyse du trading algorithmique	22
1.	Démarche de l'analyse	22
2.	Un environnement de trading changeant : Le cas des Etats-Unis	24
2.1.	Des années '70 à 2001.....	24
2.1.1.	Changements sur le NYSE.....	24
2.1.2.	Changements sur le Nasdaq.....	25
2.1.3.	Les systèmes de communications électroniques	27
2.2.	A partir de l'année 2001.....	30
3.	L'essor du trading algorithmique	34
3.1.	Les coûts de transaction.....	35
3.1.1.	Les coûts explicites	35
3.1.1.1.	Les frais d'échange	35
3.1.1.2.	Les taxes	37
3.1.1.3.	Les commissions.....	39

3.1.2.	Les coûts implicites.....	41
3.1.2.1.	Le coût de latence	41
3.1.2.2.	Le spread	43
3.1.2.3.	Le coût d'opportunité.....	44
3.1.2.4.	L'impact sur le marché	45
3.1.2.5.	Le risque temporel	47
3.2.	La liquidité	48
3.2.1.	Lien avec le trading algorithmique.....	49
3.3.	L'exécution	52
3.3.1.	Algorithmes d'exécution	53
3.4.	Les inconvénients	55
3.4.1.	Flash Crash.....	58
IV.	Conclusion	61
1.1.	Limites de la recherche	61
1.2.	Les résultats.....	62
1.3.	Critique	65
1.4.	Recherches futures.....	66
	Bibliographie	68
	Annexes	78
	Annexe 1 : Evolution du volume mensuel des transactions sur le S&P500	78
	Annexe 2 : Marchés boursiers les plus importants	79
	Annexe 3 : Taille des marchés boursiers par pays fin 2016	80
	Annexe 4 : Frais sur l'Euronext pour des transactions sur actions	80
	Annexe 5 : Evolution des frais de commission payés pour l'exécution de transactions.....	81
	Annexe 6 : Flash Crash du 6 mai 2010.....	81
	Annexe 7 : Le trading algorithmique par classes d'actifs et par régions.....	82

I. Introduction

Les marchés financiers ont indéniablement été marqués par des changements au cours des dernières décennies (Aldridge, 2013). Les acteurs du monde financier n'effectuent aujourd'hui pas de la même façon leurs ordres qu'il y a de cela cinquante ans, et ceci pourra probablement être répété endéans la même période de temps dans le futur (Song & Thakor, 2010). Les marchés se sont adaptés, se sont transformés, ont progressé. Victor Hugo, dans son livre « Les Misérables », a écrit : « le progrès est le mode de l'homme ». Les investisseurs ont ainsi évolué dans leur manière de réaliser des transactions, et les avancées technologiques ont permis de révolutionner les marchés financiers (Kim, 2010).

De par ces changements, un sujet en particulier attire aujourd'hui tous les regards : les algorithmes de trading. Récemment, plusieurs articles ont été écrits à propos de banques d'investissement dont les salles de marchés s'étaient radicalement métamorphosées (Goya, 2017). Ainsi, un desk de trading de la célèbre banque Goldman Sachs qui comptait près de six cents traders en 2000 n'en compte, seize ans plus tard, plus que deux (Byrnes, 2017). Tous les autres traders ont été remplacés par des algorithmes de trading, dont deux cents ingénieurs informaticiens sont chargés de les tenir à l'œil.

Ceci ne forme qu'un exemple parmi d'autres spécifiant que les algorithmes de trading sont à ce jour fortement implantés au sein des marchés financiers¹ (Aldridge, 2013). Cela a pris un certain temps à mettre en place, mais aujourd'hui les algorithmes ont la particularité de se comporter comme le feraient les traders, en mieux (Byrnes, 2017). Ils peuvent, par exemple, analyser des erreurs qui ont pu être commises lors de transactions antérieures afin de ne pas les reproduire. Ceci est en adéquation avec ce que disait Albert Einstein : « La folie, c'est de se comporter de la même manière et de s'attendre à un résultat différent ».

Cependant, le trading algorithmique peut paraître abstrait pour la plupart de personnes. A travers ce mémoire, nous allons démystifier les principales questions entourant ce sujet. En particulier, nous aborderons la problématique suivant deux sous-questions. Premièrement, nous analyserons en quoi la venue d'algorithmes de trading peut être vue

¹ Kissel (2014) dans son livre estime que les algorithmes de trading étaient responsables de plus de 80% du volume d'actions traitées aux Etats-Unis en 2012.

comme une nécessité. Ensuite, nous rechercherons pourquoi nous pouvons parler de (r)évolution en matière de trading.

Notre mémoire se compose de deux parties distinctes. La première partie est une revue théorique de concepts propres au trading. Nous analyserons tout d'abord les différences pouvant exister entre la manière de faire du trading avant la révolution engendrée par l'électronique et la façon de procéder aujourd'hui (Song & Thakor, 2010). Ensuite, nous porterons un regard plus attentif sur les effets découlant de l'automatisation des marchés financiers, et en particulier les contrats et les types d'ordres impliqués (Johnson B. , 2010). Enfin, nous clôturerons la partie théorique en explicitant le rôle des algorithmes de trading ainsi que les paramètres qui y sont associés (Yang & Jiu, 2006).

Cette première partie donnera un aperçu clair et concis des notions nécessaires à la compréhension de la suite de ce mémoire qui est composée d'analyses en rapport avec le trading algorithmique.

Nous entrerons ensuite dans le vif du sujet, à savoir les recherches visant à répondre à notre problématique. Celles-ci s'appuient sur des ouvrages et des études reconnues dans le domaine du trading, et plus spécifiquement l'utilisation d'algorithmes de trading. En analysant de manière critique ces informations, nous serons à même d'atteindre l'objectif se trouvant derrière l'écriture de ce mémoire.

Dans un premier temps, nous analyserons les changements qui se produisent sur les marchés financiers afin de constater si la venue des algorithmes de trading a été une réelle nécessité. Pour cela, nous nous inspirerons des recherches ayant eu lieu sur les marchés boursiers américains (Markham & Harty, 2008).

Ensuite, nous décomposerons l'émergence des algorithmes de trading en trois points distincts : les coûts, la liquidité et l'exécution. Ceci nous permettra de dire si la qualité du marché a été améliorée grâce aux algorithmes de trading. Nous terminerons cette partie en recherchant les inconvénients qui sont liés à l'utilisation de ces systèmes.

Ceci nous amènera en fin de compte à la conclusion de ce mémoire, où nous reviendrons sur les principaux résultats. Nous exprimerons également une critique par rapport à nos recherches et évoquerons de possibles recherches futures.

II. Evolution du Trading et de son fonctionnement

La première partie de ce mémoire vise à guider le lecteur à travers les concepts théoriques que nous aborderons tout au long de ce document. En effet, les marchés financiers ne ressemblent aujourd'hui en rien à ce que nous connaissions il y a de cela quelques décennies (Aldridge, 2013).

Nous décidons dans un premier temps de comparer l'environnement des salles de marchés avant la révolution informatique et celui que nous observons aujourd'hui. Ces changements ont lieu non seulement dans la manière d'effectuer des transactions, mais également parmi les acteurs de marché réalisant les achats et les ventes d'actifs financiers (Song & Thakor, 2010).

Dans un second temps, nous nous intéresserons à l'apport de l'électronique sur les marchés financiers. En particulier, nous traiterons des différents types de contrats qui peuvent être échangés sur les marchés, ainsi que les divers types d'ordres pouvant être utilisés par des investisseurs afin d'exécuter leurs transactions (Johnson B. , 2010).

Enfin, nous clôturerons cette première partie en explicitant de façon théorique le rôle des algorithmes de trading au sein des marchés. Nous les classerons en trois catégories principales, suivant les recherches de Yang et Jiu (2006). Nous terminerons en explicitant les paramètres dont peuvent dépendre les algorithmes. Ces paramètres sont mis en place par les investisseurs afin de tirer profit au mieux de l'évolution qu'ont pu connaître les marchés.

Le développement des concepts que nous verrons dans cette première phase permettront ensuite de mieux cerner l'analyse que nous effectuerons lors de la seconde partie du mémoire. De plus, cela aidera fortement à la compréhension de la recherche effectuée par la suite, et nous pourrons percevoir de façon plus aisée les liens existants entre la théorie et la pratique.

1. Aperçu historique : comparaison entre les années '70 et aujourd'hui

Le paysage des salles des marchés est en constante évolution, et ceci est d'autant plus marquant depuis les années '70 (Song & Thakor, 2010). L'arrivée des ordinateurs a marqué un changement fondamental dans la manière avec laquelle travaillent les personnes au sein du monde financier. Le temps des traders qui crient leurs ordres à travers des salles de marchés noires de monde est définitivement révolu (Chang, 2005). Ces films qui nous ont tant fait rêver et qui ont véhiculé cette image de traders tout puissants, en référence notamment à « Wall Street »² et le célèbre Gordon Gekko, peuvent aujourd'hui être classés au rang de mythe. En effet, le métier de trader et son fonctionnement ont été marqués par des changements radicaux. Ces transformations sont d'autant plus visibles lors de ces dernières années, car la diminution des coûts des hardwares ainsi que les investissements considérables dans cette technologie dite « électronique » ont permis d'ouvrir les marchés financiers à davantage d'acteurs. De plus, dans les récentes années une part non-négligeable des opérations de marché se fait à l'aide d'algorithmes de trading³.

Il peut dès lors être intéressant de s'informer plus en profondeur sur la différence entre le fonctionnement des marchés financiers avant l'arrivée de l'électronique et les marchés financiers comme nous les connaissons aujourd'hui. Afin d'avoir une idée plus précise sur le sujet, prenons pour exemple le paysage des marchés financiers dans les années '70 et celui que l'on connaît actuellement.

1.1. Le paysage des marchés financiers dans les années '70

Dans les années '70, les principaux acteurs de marché peuvent être classés comme suit (Aldridge, 2013):

²« Wall Street » est un film réalisé par Oliver Stone en 1987. Il traite de la finance et des marchés financiers aux Etats-Unis. Le film est aujourd'hui devenu culte, notamment grâce à certains personnages emblématiques tels Gordon Gekko, incarné par Michael Douglas.

³ Selon une étude datant de fin mai 2016, le trading haute fréquence (THF), qui forme une sous-catégorie du trading algorithmique, était responsable en 2014 de respectivement 35% des transactions du marché des actions en Europe et 50% de celui aux Etats-Unis (Kaya, 2016). Ces chiffres sont néanmoins en baisse comparé à 2009 où le THF représentait environ 40% et 60% du marché des actions en Europe et aux Etats-Unis.

- Les « petits investisseurs », monsieur et madame tout le monde qui souhaitent investir une partie de leur argent dans un produit financier.
- Les spéculateurs, qui font du trading pour compte propre ou pour une organisation financière. Ils parient sur la hausse ou la baisse d'un titre et engrangent ainsi du profit.
- Les market makers ou teneurs de marché, qui comme son nom l'indique sont les personnes en charge de faire le marché. Nous entendons par cela qu'ils doivent à tout moment pourvoir un prix d'achat ou de vente à la personne désireuse de traiter un produit sur le marché.
- Les gestionnaires discrétionnaires, qui ont pour rôle de gérer l'argent de tiers. Le terme désigne les hedge funds, les fonds de pensions et les organismes de placements collectifs, mais ne s'y limite pas (Bogle, 2016).

Le trading dans les années '70 se faisait essentiellement par des ordres écrits. De ce temps, les coûts transactionnels constituaient un réel frein à l'achat ou à la vente de produits financiers. Par exemple, le volume d'actions traitées sur le S&P 500 était alors proche des \$250.000.000 par mois⁴ (Yahoo Finance, 2017). De par le fait que tous les ordres étaient transmis par écrit, des erreurs pouvaient survenir. Les traders travaillaient sur des plateaux noirs de monde, et criaient leurs ordres à travers la salle ou par téléphone (Chang, 2005). Il arrivait alors que l'ordre soit mal compris, avec toutes les conséquences néfastes à la clef. De plus, il suffisait que l'écriture de certaines personnes laisse à désirer pour que des erreurs facilement évitables surviennent. Enfin, toute la partie analytique que nous connaissons aujourd'hui était mise de côté. Les traders et brokers faisaient confiance à leur instinct ou agissaient en fonction de l'expérience qu'ils avaient pu se forger toute au long de leur carrière (Brown, 1996). Le pouvoir était nettement en faveur des brokers, qui au passage engrangeaient de larges commissions liées aux marges très élevées (Hazen, 2017) .

1.2. Le paysage des marchés financiers de nos jours

Aujourd'hui, les choses ont changé de façon radicale. Nous retrouvons encore les anciens protagonistes, mais la place qu'ils occupent a été nettement réduite, principalement par

⁴ Comme démontré à l'annexe 1 avec des données venant de Yahoo Finance.

l'arrivée de nouveaux acteurs de marchés. Ceux-ci se caractérisent par l'utilisation de nouvelles technologies, découlant des avancées en termes d'électronique et de soft- et hardwares. Les nouveaux entrants sont notamment :

- Les arbitragistes automatisés, utilisant des algorithmes afin de passer des ordres de marché de façon automatique. Leur but est d'engranger du profit à très court terme, en jouant sur les différences de prix qui peuvent survenir au sein de deux marchés distincts (Rose, 2010).
- Les market makers automatisés, permettant aux utilisateurs de procéder à une transaction sur les marchés financiers à tout moment (Sethi & Vaughan, 2016). Ils ont également pour but de fournir des prix précis aux traders ainsi que de s'assurer que l'ordre d'un vendeur rencontre l'ordre d'un acheteur, et inversement (Othman, Pennock, Reeves, & Sandholm, 2013).
- Les gestionnaires d'actifs quantitatifs, qui à l'aide de connaissances approfondies en mathématiques, macroéconomie, finance et informatique parviennent à prédire l'évolution d'actifs financiers (Cornell & Hsu, 2016).
- D'autres alternatives aux plateformes de trading traditionnelles, telles les « dark-pools ». Celles-ci permettent par exemple à de grands acteurs institutionnels de transmettre des ordres de façon anonyme, en passant par des marchés parallèles. Ceci a pour avantage de ne pas montrer ses intentions aux autres, tout en influençant au minimum le prix du produit (Comerton-Forde & Putnins, 2015).

De par ces changements, l'accès au marché s'est démocratisé. Alors que le trading était avant réservé à une petite partie des gens, il suffit aujourd'hui de disposer d'une connexion internet et d'un ordinateur, voir un smartphone ou une tablette, et nous avons instantanément accès aux marchés financiers mondiaux. Il est également important de noter qu'étant donné que tout se fait de façon informatisée aujourd'hui, les erreurs sont beaucoup moins fréquentes. Contrairement à ce qui pouvait se voir dans le passé, le pouvoir se situe désormais dans les mains des investisseurs, et non plus des brokers. Les coûts des transactions ont diminué de façon drastique, permettant aux investisseurs de garder une part plus large du gâteau.

La transformation du paysage des marchés financiers lors de ces cinquante dernières années a inexorablement profité aux nouveaux entrants, se référant aux nouvelles technologies et leur permettant d'utiliser tous les aspects positifs qui en découlent. En termes de comparaison, aujourd'hui ce sont environ \$80 milliards qui se traitent chaque mois sur le S&P 500⁵ (Yahoo Finance, 2017).

1.3. Le fonctionnement des marchés financiers dans les années '70

Bien évidemment, il n'y a pas que le paysage des salles de marchés qui a changé, mais également leurs modes de fonctionnement. Il est ainsi intéressant de se pencher sur les différences notables que l'électronique au sein des salles de marchés a engendrées (Chang, 2005).

Comme évoqué précédemment, le pouvoir de décision résidait en grande partie dans les mains des brokers. Ces personnes étaient en charge d'effectuer leurs recherches, de s'informer sur les produits et de soumettre des idées d'investissement à leur client. Le rôle du broker était alors des plus importants, car il avait plus de facilité d'accès à l'information que son client (Brown, 1996).

Une fois que l'investisseur avait décidé de la position qu'il voulait prendre, il téléphonait au broker afin de lui transmettre ses directives. Ce dernier introduisait l'ordre dans le marché s'il était d'une taille suffisante. Dans le cas contraire, il devait attendre davantage de petits ordres afin de former un « lot », dont la taille équivaut au minimum échangeable sur le marché. De ce fait, il se pouvait que certains clients soient lésés car leur ordre se traitait ultérieurement, à un prix différent dans certains cas.

Le broker passait ensuite l'ordre à un « spécialiste » qui endossait le rôle de market maker, garantissant qu'il y ait en permanence un écart minime entre l'offre et la demande sur un produit (Brown, 1996). Ce spécialiste s'assurait d'assigner un certain lot à un certain prix, normalement sans préférence entre les brokers afin d'exercer son métier en toute transparence. Une fois l'ordre placé, il transmettait les détails finaux au broker. Ce dernier se

⁵ Comme démontré à l'annexe 1 avec des données venant de Yahoo Finance.

chargeait de faire la même chose pour son client, engrangeant au passage de belles commissions.

1.4. Le fonctionnement des marchés financiers aujourd'hui

Nous comprenons assez rapidement que le long processus qui existait il y a cinquante ans a nettement été amélioré par la suite. La technologie permet aujourd'hui de transférer le pouvoir de décision des mains du broker à celles de l'investisseur. Ainsi, la place des brokers est presque devenue anodine désormais (Madura, 2010).

Toutes les informations concernant les produits financiers pouvant être traités se trouvent à présent extrêmement facilement. Les investisseurs ont ainsi accès aux informations et peuvent effectuer eux-mêmes leurs analyses, et ce via internet ou des plateformes financières spécifiquement conçues pour cela telles que Bloomberg ou Thomson Reuters (Harris, 2002).

Une fois sa décision prise, ils introduisent leurs ordres via des plateformes électroniques d'achats ou de ventes de titres. De par le fait que tout se passe de façon électronique, le risque d'erreur est nettement limité (Harris, 2002).

L'ordre apparaît ensuite sur l'ordinateur du broker, qui est chargé d'exécuter l'ordre de la meilleure façon qui soit. Nous entendons par là qu'il doit minimiser le risque pour l'investisseur, le temps que prend l'exécution de l'ordre, le coût engendré pour l'investisseur ainsi que le temps d'observabilité de l'ordre. La façon la plus rapide pour effectuer cela est à l'aide d'algorithmes. Comme évoqué par un des brokers chez Degroof Petercam, chaque broker aura sa façon d'allouer les ordres qu'il reçoit en fonction des algorithmes qu'il a mis sur pied. Cette étape a dorénavant été réduite à quelques (milli)secondes.

Le broker se charge enfin d'envoyer les termes de l'exécution au client et est rémunéré à la commission pour le travail fourni. Dépendant du client pour lequel il a effectué l'ordre, il sera rémunéré à hauteur de quelques centièmes de pourcents de la transaction (Aldridge, 2013).

Mais les investisseurs ont également la possibilité de traiter directement dans les marchés, sans passer par des intermédiaires. Un exemple d'une telle plateforme en Belgique

est « Keytrade Bank »⁶, où d'un simple clic un client peut entrer un ordre d'achat ou de vente d'un produit financier. La plateforme va automatiquement gérer son ordre à l'aide d'algorithmes, diminuant encore l'intervention humaine et dès lors les coûts engendrés.

2. L'électronique au sein des marchés financiers

Après s'être penché sur l'évolution qu'ont connu les marchés financiers, il est intéressant d'analyser l'impact de l'électronique quant à son fonctionnement. Cette partie a pour but de clarifier les produits financiers qui peuvent être traités sur des marchés boursiers électroniques ainsi que d'expliquer de façon concrète le rôle de l'électronique au sein de ceux-ci (Bodie, Kane, & Marcus, 2013).

2.1. Les types de contrats traités sur les marchés financiers

Il va sans dire qu'un grand nombre de contrats financiers sont aujourd'hui traités sur des bourses électroniques. Il est important de décomposer ces différents types afin de comprendre par la suite les spécificités liées à chacun d'eux. En fonction de ses caractéristiques, un produit financier sera plus ou moins facile à traiter sur un marché électronique.

Les plus connus sont bien évidemment les actions, ordinaires ou privilégiées (Tanase & Calota, 2014). Ces actions sont émises par des entreprises et confèrent à leur détenteur un droit de propriété sur la société en question, offrant la possibilité de partager les profits le cas échéant. Lors de l'introduction en bourse d'une société, cette dernière va procéder à une IPO (Initial Public Offering), émettant un nombre déterminé d'actions à un prix prédéfini (Bessembinder, Hao, & Zheng, 2015). Ces actions vont ensuite être échangées au sein des marchés, et de nouvelles actions peuvent également être émises par les entreprises. La différence entre les actions ordinaires et privilégiées réside dans le fait que les premières octroient un droit de vote lors des prises de décisions qui surviennent durant les assemblées générales (AG) de la compagnie. Les actions préférentielles quant à elles permettent de

⁶ Keytrade Bank est une banque belge en ligne qui permet à ses clients d'emprunter de l'argent, d'investir dans des actifs financiers et donne un accès direct à ses clients aux marchés financiers internationaux.

percevoir les dividendes ou les fruits d'une liquidation avant les actionnaires normaux (Tanase & Calota, 2014).

Une autre classe d'actifs financiers qui peut se traiter sur les marchés électroniques sont tous les produits dits « exotiques ». Parmi ceux-ci nous distinguons les produits de change (« foreign exchange », FX), les matières premières (« commodities ») etc. (Ye, 2009). Ils se retrouveront souvent sous forme de fonds négociables en bourse (« exchange traded funds », ETF), qui se traitent de la même façon que des actions (Bansal & Somani, 2002). Ces produits pourront également se traiter en tant que produits dérivés (Escobar, Mahlstedt, Panz, & Zagst, 2017). Ces contrats apparaîtront alors comme des futures, des options ou des swaps.

Les fonds communs de placement constituent une autre alternative aux investisseurs souhaitant traiter sur les marchés électroniques. Néanmoins, dans ce cas les investisseurs confient une partie de leur argent à de tiers gestionnaires. Ceux-ci vont créer un portefeuille suivant les caractéristiques du fond, notamment sa stratégie d'investissement. Les fonds sont limités en taille, et les gestionnaires de fonds s'engagent à racheter les parts des investisseurs en cas de retraits du fond (Kacperczyk, Sialm, & Zheng, 2005). Etant donné la lourde législation entourant les fonds communs de placement, les sociétés d'investissement se tournent vers des hedge fund (Brav, Jiang, & Kim, 2015). Ceux-ci ont la particularité d'être beaucoup plus laxistes du point de vue de la régulation, et poursuivent des stratégies de trading plus agressives.

Les obligations constituent une autre classe d'actifs. Celles-ci sont émises par les sociétés, et une personne détenant une obligation aura droit à un coupon régulier sur une certaine période, qui est fonction du taux d'intérêt pratiqué. L'obligation constitue une forme d'endettement pour les entreprises ou de créance pour les détenteurs d'un tel produit. L'obligation n'accorde par contre pas de droit de vote lors d'une AG. Une alternative se retrouve dans les obligations convertibles, qui permettent d'échanger ses obligations contre des actions (Mayers, 1998). Il existe également des marchés secondaires où il est possible d'acheter et de vendre ce genre de produits.

2.2. Le trading au sein des marchés électroniques

Les marchés financiers fonctionnent par l'envoi d'ordres d'exécution. Ces ordres permettent à des investisseurs de communiquer leurs intentions d'achats ou de ventes. Les deux types d'ordres les plus communs sont les ordres au marché et les ordres à cours limité (Johnson B. , 2010).

2.2.1. Les ordres au marché

Le concept se trouvant derrière les ordres au marché est le suivant : exécuter une transaction pour un volume donné au meilleur prix possible (Stoll, 2006). La personne introduisant un tel ordre n'introduit pas de limite de prix. Elle souhaite néanmoins que le volume d'achat ou de vente se fasse intégralement. Prenons pour exemple le livre d'ordres ci-dessous.

Achat		Vente		Vente	
Volume	Prix	Volume	Prix	Volume	Prix
2000	17.82	1500	17.85	1500	17.85
750	17.81	1000	17.86	1000	17.86
200	17.80	150	17.87	500	17.86
1700	17.79	500	17.88	150	17.87
				500	17.88

(1) Avant

(2) Après

Figure 1: Exemple d'un livre d'ordres

Dans ce cas-ci, le tableau à gauche montre le volume d'achat et de vente actuellement présent dans le marché pour un certain produit et les prix correspondant à ces volumes. La différence entre le meilleur prix de vente et d'achat est appelé le « bid-ask spread » (Berkman, 1993). Le cas de figure repris ci-dessus est l'introduction d'un ordre d'achat de 2000 unités au prix de marché. Les 2000 unités vont être complétées tenant compte des 1500 unités à 17.85 et de 500 unités à 17.86. Le prix moyen par unité est alors 17.8525. Le prix dépendra donc en grande partie de la liquidité⁷ du produit (Chordia, Roll, & Subrahmanyam, 2001). Un ordre

⁷ Selon John Maynard Keynes (1930), un actif est dit plus liquide qu'un autre « s'il est plus susceptible d'être exécuté en un temps plus court sans perte ». Il faut donc tenir compte du risque associé à sa valeur finale ainsi que l'existence d'un marché capable d'absorber l'achat ou la vente sans que cela ait un impact significatif sur le marché (Pagano, 1989).

possédant un volume plus large aurait entraîné un prix d'achat supérieur, car les volumes sont limités. Pour 3000 unités il aurait, par exemple, fallu payer 17.8578. Si le but recherché est l'optimisation de la performance plutôt que la rapidité d'exécution, un donneur d'ordre privilégiera les ordres à cours limité.

2.2.2. Les ordres à cours limité

Les ordres à cours limité ont pour objectif d'acheter ou de vendre une certaine quantité à un prix préalablement choisi (Handa & Schwartz, 1996). La transaction ne se fera que lorsque le prix limité coïncidera avec l'offre. Un ordre limite à l'achat s'effectuera ainsi au prix indiqué, ou en dessous de celui-ci. Un ordre à la vente se fera également au prix entré, ou au-dessus de ce dernier. Si le volume entré n'a pu être totalement exécuté, l'ordre restera visible. Ceci favorisera la liquidité étant donné que d'autres personnes pourront voir si des gens montrent de l'intérêt à l'achat ou à la vente, voyant la quantité disponible et le prix affiché. L'avantage associé à cette technique est le fait d'être soi-même maître du prix, contrairement à un ordre au marché.

Un investisseur peut alors profiter de la hausse afin de vendre avant que le marché ne retombe (cas de figure (a)), ou profiter de la baisse pour acheter et engranger du profit sur une hausse future (cas de figure (b)). Dans l'exemple ci-dessous la personne détenant un produit financier a émis un ordre de vente au prix de 17,82. Lorsque le prix atteint cette limite, le produit sera automatiquement vendu. Il en va de même pour un investisseur désireux d'acheter à un prix inférieur au cours actuel (Gould, et al., 2013). Deux cas de figures peuvent néanmoins entraver l'exécution automatique de ces ordres : 1) la limite n'est pas atteinte,

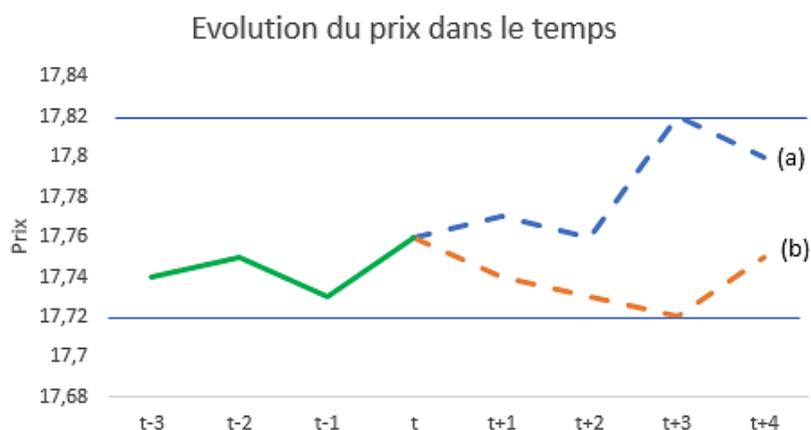


Figure 2: Placement d'un ordre à cours limité

auquel cas l'ordre n'aura pas lieu et 2) un ordre au marché est introduit, auquel cas il aura priorité sur un ordre à cours limité ayant les mêmes caractéristiques (Toke, 2015) .

2.2.3. Autres types d'ordres

Outre les deux types d'ordres précédemment évoqués, il est important qu'un trader ait connaissance d'une multitude d'autres catégories d'ordres qui peuvent exister. En effet, il est important qu'un trader puisse ajuster ses positions et ses ordres en fonction des mouvements de marchés qui ont lieu, mais également en anticipant de possibles changements (Cartea, Jaimungal, & Penalva, 2015). En voici quelques exemples.

Un trader peut par exemple choisir de combiner un ordre au marché avec un ordre à cours limité, communément appelé un ordre hybride. Comme évoqué précédemment, l'un offre une garantie d'exécution mais une incertitude quant au prix, alors que l'autre permet de fixer un prix sans pour autant assurer son exécution (Cartea & Jaimungal, 2015). Il utilisera alors un ordre appelé « market-to-limit » (MTL), qui se comporte premièrement comme un ordre au marché et dans un second temps prend la forme d'un ordre à cours limité. Si un trader introduit un ordre d'achat, le prix disponible à la vente deviendra le nouveau prix limite (Back & Baruch, 2007). Dans l'exemple ci-dessous, un trader introduit un ordre MTL à l'achat de 2000 unités. L'ordre va ainsi se compléter par les 1500 unités au prix de 17.85, et les 500 unités restantes se mettent en attente au prix de 17.85 qui devient la limite.

Achat		Vente	
Volume	Prix	Volume	Prix
2000	17.82	1500	17.85
750	17.81	1000	17.86
200	17.80	150	17.87
1700	17.79	500	17.88

(1) Avant

Achat		Vente	
Volume	Prix	Volume	Prix
500	17.85	1500	17.85
2000	17.82	1000	17.86
750	17.81	150	17.87
200	17.80	500	17.88
1700	17.79		

(2) Après

Figure 3: Exemple de l'effet d'un ordre "market-to-limit"

Les marchés financiers doivent satisfaire tous types d'investisseurs, du plus important, celui qui représente une somme investie considérable, au plus petit. Or les plateformes électroniques permettent à tous les investisseurs de voir les ordres d'achat et de ventes au sein du marché. Ainsi, des investisseurs imposants ne souhaitent pas forcément que leurs

intentions soient divulguées, car cela pourrait influencer les conditions du marché (De Winne & D'hondt, 2007). Il leur est donc possible d'émettre des ordres de façon cachée, tout ou en partie suivant les marchés sur lesquels ils traitent (Euronext, NASDAQ, NYSE etc.). De tels exemples sont les ordres « iceberg ». Ils ont pour particularité de ne dévoiler qu'une petite partie du volume que le trader souhaite traiter. Ils peuvent ainsi écouler un large volume en plusieurs morceaux, leur garantissant un prix fixe (Pardo & Pascual, 2012). Si un investisseur veut par exemple vendre 10,000 unités à 17.85, il va montrer 1,000 unités et garder les 9,000 autres dissimulées. Une fois que les 1,000 unités sont vendues, un nouveau lot de 1,000 unités à 17.85 se placeront dans le livre d'ordres et il n'en restera que 8,000 cachées. Ceci se produira jusqu'à ce que toutes les unités soient vendues.

Un ordre peut également être accompagné de conditions quant à son exécution. Dans ce cas, l'ordre ne sera émis qu'une fois les conditions réunies pour qu'il soit effectué. Un tel exemple peut être celui des ordres « stop-loss » qui a pour but de réduire les pertes (Shelton, 2017). Un investisseur peut introduire un ordre d'achat à 17.85 et voir le cours grimper jusqu'à 17.95. Il place alors un ordre « stop » à la vente à 17.95. Si l'action continue de grimper, l'ordre « stop » restera inactif. Dans le cas contraire, un ordre de vente sera émis. Ainsi l'investisseur profitera d'une sécurité en cas de marché défavorable.

Une autre fonction permet aux investisseurs de jongler plus facilement avec les limites de prix qu'ils émettent. De tels ordres sont dit « rattachés » à un autre (pegged-orders en anglais). Ce phénomène est également perceptible au sein des systèmes de taux de change, comme par exemple le dollar de Hong Kong qui suit le dollar américain (Scott, 1997). Dans le cas des marchés financiers, un investisseur qui entre un « pegged-order » souhaite que son ordre suive en permanence le meilleur prix actuellement disponible à l'achat ou à la vente suivant une condition qu'il prédéfinit (Johnson B. , 2010). Dans l'exemple ci-dessous un trader souhaite que son ordre d'achat (a) soit constamment à 0.01 près du meilleur prix d'achat. Lorsqu'un autre ordre vient se placer (b), l'ordre (a) va adapter son prix de sorte à rester au même niveau que précédemment.

Achat		Vente	
Volume	Prix	Volume	Prix
2000	17.82	1500	17.85
(a) 750	17.81	1000	17.86
200	17.80	150	17.87
1700	17.79	500	17.88

(1) Avant

Achat		Vente	
Volume	Prix	Volume	Prix
(b) 1000	17.84	1500	17.85
(a) 750	17.83	1000	17.86
2000	17.82	150	17.87
200	17.80	500	17.88
1700	17.79		

(2) Après

Figure 4: Exemple de l'effet d'un "pegged-order"

3. Les algorithmes au sein des marchés financiers

L'essor de nouvelles techniques de trading a inexorablement laissé place à des changements de par la nature d'effectuer ces échanges. Le fait le plus marquant de ces dernières décennies est sans doute l'émergence d'algorithmes au sein des marchés financiers (Kumiega & Van Vliet, 2012). Un algorithme est défini par le Larousse comme étant un « ensemble de règles opératoires dont l'application permet de résoudre un problème énoncé au moyen d'un nombre fini d'opérations » (Larousse, 2017a). Dès lors, un algorithme de trading va permettre à son utilisateur d'automatiser les étapes à suivre afin d'effectuer une transaction (Thompson, 2017). En règle générale, ces étapes sont au nombre de cinq (Treleaven, Galas, & Lalchand, 2013):

- Rassembler les données, macro- et micro-économiques, qui vont servir d'impulsion aux algorithmes de trading.
- Effectuer une analyse avant l'exécution, de sorte à trouver des opportunités de profit suivant les classes d'actifs qu'un investisseur souhaite traiter.
- L'attente d'un signal de trading, qui suite à l'analyse effectuée, décrit quand il faut traiter, mais également quels produits il faut inclure dans notre portefeuille d'actifs.
- L'exécution de l'ordre, qui va se faire suivant des paramètres préétablis afin de garantir une exécution qui satisfait aux attentes de l'utilisateur.
- L'analyse après exécution, qui analyse les résultats découlant de l'exécution de l'ordre et permet ainsi d'ajuster les paramètres en cas de besoin.

Il est néanmoins intéressant de noter que l'utilisation d'algorithmes de trading n'est en rien une science totalement nouvelle. Elle remonte à l'emploi des premiers ordinateurs dans les salles de marchés, au début des années '70 (Aldridge, 2013). Les algorithmes permettaient alors d'élaborer des tâches assez basiques et facilitaient quelque peu la vie des traders. Depuis, grâce aux avancées technologiques et aux volumes toujours plus importants qui sont traités, une réelle évolution a eu lieu. En effet, il y a de cela près de 50 ans, il était encore rare de voir des ordinateurs au sein des salles de marchés. Leur coût était prohibitif, et leurs capacités extrêmement limitées (Stoll, 2006). Or il semble aujourd'hui inimaginable de ne pas travailler avec un ordinateur au sein d'une salle de marché. Ils sont devenus bien plus abordables, et permettent de travailler avec de larges bases de données afin de résoudre des problèmes toujours plus complexes. Les traders faisant usage de ces algorithmes ont pour mission d'écrire sous forme de lignes de codes leurs intentions, qui vont ensuite être mises en œuvre par l'ordinateur (Cartea et al., 2015).

3.1. Différentes catégories d'algorithmes de trading

Il existe, tout comme pour les différentes sortes d'ordres de trading précédemment évoquées, une multitude d'algorithmes ayant chacun leurs spécificités. Johnson B. (2010) suggère de les classer sous trois types de catégories, s'inspirant de Yang et Jiu (2006) : ceux davantage axés sur les effets qu'ils peuvent avoir (« impact-driven »), ceux se rapportant au coût (« cost-driven ») et enfin ceux qui vont rechercher des opportunités (« opportunity-driven »). Selon le but recherché par son utilisateur, un algorithme de trading pourra facilement se classer dans l'une de ces trois catégories.

3.1.1. Minimiser l'effet sur le marché

Tant que faire se peut, un acteur au sein des marchés financiers tentera de minimiser l'impact qu'auront ses actions sur le marché. Cela peut se faire en ajustant le temps ou le volume sur lequel il traite tenant compte d'un repère, par exemple un certain pourcentage de volume en un laps de temps prédéfini. Il est également possible de passer outre les plateformes conventionnelles en utilisant les « dark pools » (Kim, 2010).

Une des premières références en matière d'algorithmes a été le « VWAP » (volume-weighted-average-price). En 1988, Berkowitz, Logue et Noser établirent que le VWAP était un excellent repère afin d'élaborer des stratégies de trading performantes (Berkowitz et al., 1988). Le principe est assez simple : le repère se calcule en divisant le chiffre d'affaire par le volume traité. Ainsi, le VWAP journalier d'une action sera :

$$VWAP = \frac{\sum_n v_n p_n}{\sum_n v_n} \quad (\text{Johnson B. , 2010})$$

où n transactions se feront sur la journée, chacune pour une taille v_n et un prix p_n . Les investisseurs souhaitent que, lorsqu'ils achètent ou vendent des positions, ils obtiennent un prix qui représente le plus correctement possible les conditions du marché endéans le laps de temps sur lequel ils ont traité (Bialkowski, Darolles, & Le Fol, 2008). Le but est alors de formuler des algorithmes qui après coup donnent un prix d'exécution proche du VWAP. Toute la difficulté réside dans le fait qu'aucun investisseur ne connaît à l'avance le volume qui sera traité à un certain moment.

Les algorithmes associés au temps sont les algorithmes qui se réfèrent au « TWAP » (time-weighted-average-price), représentant le prix moyen sur une période de temps. Ils ne tiennent pas compte des facteurs de marché, mais se contentent de réaliser un ordre dans un laps de temps prédéfini (O'Hara M. , 2014). Un acteur financier souhaitant par exemple vendre 100,000 titres pourra décider de procéder par étapes : vendre 1,000 titres chaque 6 minutes pendant 4 heures, et le double ensuite durant les 3 heures suivantes. Cette façon d'agir sera jugée efficace si elle est proche du « TWAP » de l'actif financier. Le désavantage de cette fonction est sa prédictibilité. Mais il est évidemment possible de créer des algorithmes nettement plus complexes, rendant sa prédictibilité pratiquement impossible à percevoir (Gregoriou, 2010). Le but final étant d'obtenir des intervalles de temps et un volume optimal pour que l'ordre soit traité en intégralité endéans une période de temps raisonnable (Aldridge, 2013).

D'autres algorithmes peuvent également être mis en place afin de minimiser l'impact des transactions entreprises par des investisseurs. Des tels algorithmes portent le nom de « minimal-impact algorithms » (Preece & Rosov, 2014). Il ne se réfèrent pas à des repères, comme c'est le cas pour le TWAP et le VWAP, mais se contentent de dévoiler le moins

d'information possible aux autres acteurs de marché. Ceci peut se produire grâce à l'apparition de « dark pools » ou en utilisant de ordres cachés, comme évoqué précédemment (Garvey, Huang, & Wu, 2016).

3.1.2. Minimiser les coûts transactionnels

Ces algorithmes ont pour but de diminuer les coûts transactionnels. Certains de ces coûts sont liés directement au fait d'effectuer une transaction, comme par exemple les frais de commissions des brokers (Goldstein, Irvine, Kandel, & Wiener, 2009), des frais liés à l'utilisation des plateformes de trading (Colliard & Foucault, 2012) et les taxes découlant de profits réalisés. D'autres sont liés à l'exécution-même de l'ordre, comme par exemple le coût lié au « spread », qui représente le surplus payé par un investisseur pour que son ordre soit effectué instantanément (Berkman, 1993). Cette catégorie englobe par ailleurs les coûts de latence, représentant l'effet de marché qui a lieu entre le moment où un investisseur entre un ordre et son exécution (Rosenbloom, 2011). Les coûts d'opportunités liés à la non-exécution d'un ordre (Rath, 2004) ainsi que l'impact sur le prix du marché qu'occasionne un ordre constituent d'autres coûts implicites.

Certains de ces algorithmes ciblent la mesure du coût total lié à la transition (en anglais « implementation shortfall (IS)»), qui représente la différence entre le prix d'exécution théorique et celui réellement observé (Kritzman, Myrgren, & Page, 2006). Leur but est de trouver un juste milieu entre le risque lié au temps et l'impact d'un ordre sur le marché (Yang & Jiu, 2006). Une version plus poussée est suggérée par Johnson B. (2010), qui lui parle d'« adaptive shortfall ». Le principe de cet algorithme est assez similaire au précédent, sauf qu'il a pour particularité de s'adapter en tout temps aux conditions du marché (Johnson B. , 2010).

3.1.3. Rechercher des opportunités

Ces algorithmes auront pour but de profiter au mieux des conditions de marché favorables tenant compte de la liquidité, du prix ou d'autres facteurs (O'Hara, 2015).

De façon similaire à la stratégie du VWAP, un algorithme dit « Price inline » (Johnson B. , 2010) adapte l'envoi d'ordres non pas en fonction du volume traité sur le marché, mais en

tenant compte de la sensibilité au prix. Cela permet de définir un repère, et l'algorithme fera en sorte que l'investisseur puisse comparer le prix du marché avec ce dernier. En toute logique, un prix sur le marché à l'achat est favorable s'il se trouve en deçà du repère fixé, et l'inverse est vrai pour un prix à la vente.

Un algorithme peut également rechercher de la liquidité, et adapter l'envoi d'ordres si le prix est favorable et que les volumes associés à ces prix sont larges (Michayluk & Prather, 2008). Il sera plus facile de traiter un actif financier si celui-ci possède une grande liquidité, et cela réduira les coûts implicites liés à la transaction. Rechercher de la liquidité peut donc être particulièrement intéressant, notamment pour des actifs connus pour être moins liquides (Pagano, 1989).

Un autre algorithme qui peut être classé dans cette catégorie est le processus de trading de paires. Il consiste simplement à prendre deux actifs similaires et une position longue dans l'un et courte dans l'autre, selon que la valeur du titre monte et celle de l'autre descende (Chang, 2009). Un profit sera réalisé si la position longue monte de façon plus forte que la position courte, et inversement. Cette technique repose sur le fait qu'il y ait des incohérences de marché, le tout étant d'être capable de les découvrir avant qu'elles ne se résolvent par elles-mêmes.

L'ensemble des algorithmes évoqués ci-dessus peuvent s'appliquer à toutes les classes d'actifs qui ont été décrites au point 2.1. Néanmoins, d'autres algorithmes plus spécifiques peuvent être employés selon qu'un actif en particulier est visé.

3.2. Les paramètres associés aux algorithmes de trading

Les besoins toujours plus spécifiques des investisseurs font en sorte que les personnes intermédiaires, comme par exemple les brokers, ne peuvent plus se contenter d'utiliser des stratégies génériques pour l'ensemble de leurs clients (Chaboud, Chiquoine, Hjalmarsson, & Vega, 2014). Ils doivent adapter leurs algorithmes en fonction des paramètres recherchés afin d'optimiser leurs stratégies d'exécution. Les paramètres communs à la plupart des algorithmes sont par exemple (Johnson B. , 2010):

- La définition d'un temps de début et de fin de l'algorithme.

- Le fait d'inclure une fonction « must-be-filled », qui tend à ce que le volume résiduel soit écoulé même si les conditions de marché ne sont pas favorables.
- Une limite de prix qui permet de se protéger contre des fluctuations de prix.
- Le style d'exécution : agressif, passif ou neutre. L'agressivité est fonction du prix et de la taille de l'ordre (Ranaldo, 2004). Un algorithme est dit agressif s'il se comporte comme un ordre au marché, qui s'exécutera ainsi plus rapidement mais à un coût potentiellement plus élevé.
- Un volume minimum et/ou maximum, qui permet de ne pas dévoiler de façon trop perceptible ses intentions tout en limitant son impact sur le marché.

Néanmoins, ceux-ci ne forment qu'une petite partie des paramètres qui peuvent être introduits dans des algorithmes de trading. Les plus simples ne tiendront compte que de certaines variables, tandis que des algorithmes plus complexes peuvent compter plusieurs centaines de paramètres (Kissel, 2014). Ainsi, pour les catégories d'algorithmes vues ci-dessus, les paramètres supplémentaires à prendre en considération peuvent être :

- Un paramètre de traçage, pour les algorithmes VWAP et TWAP par exemple. Ce dispositif va permettre de comparer les performances actuelles de l'algorithme avec le repère qu'il suit (Frei & Westray, 2015).
- Un contrôle sur la visibilité de l'ordre, afin de vérifier que les autres acteurs de marché ne reçoivent pas trop d'informations quant à nos intentions. Cela se fait le plus facilement via l'emploi de « dark pools », mais également via des ordres « iceberg » où l'investisseur utilise des canaux de distribution traditionnels (De Winne & D'hondt, 2007).
- Un moyen d'inclure l'aversion au risque, représentant le souhait qu'à un investisseur à ce que son ordre soit exécuté rapidement en prenant davantage de risques (Allen & Karjalainen, 1999).
- La possibilité d'adapter son style d'exécution, en passant d'une stratégie agressive à une stratégie passive en fonction des conditions du marché.

En faisant habilement usage des algorithmes mis à leur disposition ou créés par leurs soins, les investisseurs pourront adapter facilement et rapidement leur portefeuille d'investissement.

III. Analyse du trading algorithmique

1. Démarche de l'analyse

Cette partie aura pour but de répondre à la double question centrale de notre recherche, à savoir « en quoi l'apparition d'algorithmes de trading a été vue comme étant une nécessité » et « quelles sont les raisons pour lesquelles nous pouvons parler de (r)évolution ». De plus, il sera également intéressant de comparer les avantages et les inconvénients qu'engendrent ce genre de pratiques. Car ce sont sans doute les avantages qui en découlent qui ont favorisé son utilisation aujourd'hui. A la suite de cette partie, nous pourrons porter un regard plus critique sur l'utilisation de ces systèmes au sein des marchés financiers.

L'analyse se fera en plusieurs étapes. Nous allons premièrement aborder de façon précise les événements qui ont mené à l'émergence des algorithmes au sein des salles de marchés (Markham & Harty, 2008). Pour cela, nous allons prendre l'exemple des marchés américains, et en particulier les événements ayant eu lieu sur les marchés boursiers tels le Nasdaq et le New York Stock Exchange (NYSE). Etant donné les nombreux événements qui expliquent l'arrivée des algorithmes de trading, nous décidons de diviser les faits de façon chronologique en deux périodes de temps : des années '70 à 2001, et de 2001 à aujourd'hui. Cette partie nous permettra de répondre à la question concernant la nécessité des algorithmes de trading.

Dans un second temps, nous allons nous concentrer sur les raisons de son succès et les éléments ayant entraîné son utilisation très répandue au sein des marchés financiers (Aldridge, 2013). Pour cela, nous opterons pour une analyse approfondie des trois points clés : les coûts, la liquidité et l'exécution.

Les coûts sont décomposés en coûts explicites, connus d'avance, et coûts implicites, dont un investisseur ignore le montant avant d'effectuer sa transaction (Rath, 2004). Les acteurs de marché se doivent de gérer ces coûts au mieux, car des dépenses trop élevées risquent de diminuer plus ou moins fortement le profit qu'ils réalisent. Nous nous focaliserons sur le rôle que peut jouer l'utilisation d'algorithmes de trading pour réguler ces coûts. Nous

pourrons par la suite déterminer si son emploi peut être bénéfique pour le marché en général, et les acteurs qui le composent.

Un second élément d'une importance capitale est la présence ou non de suffisamment de liquidité au sein d'un marché. Nous étudierons l'impact des algorithmes de trading sur la liquidité à l'aide des recherches menées par Hendershott, Jones et Menkveld (2011). Ces derniers parviennent à déceler les ordres utilisant des algorithmes de trading sur le NYSE. Leur étude a été citée à de multiples reprises par d'autres chercheurs dans le domaine financier et forme ainsi une source de grande qualité.

Par après, nous analyserons la démarche bénéfique, tant pour le marché que pour les investisseurs, que pourraient avoir les algorithmes sur les façons d'exécuter un ordre. Nous pourrons lors de cette partie établir des liens utiles avec la théorie vue à ce sujet.

Enfin, nous examinerons les inconvénients liés aux algorithmes de trading. Pour ce faire, nous parlerons de certains manquements reconnus par la littérature financière à propos de l'utilisation d'algorithmes au sein des marchés financiers (Kissel, 2014). De plus, nous discuterons de différents faits marquants ayant eu lieu ces dernières années qui démontrent les désagréments pouvant être causés par ces systèmes.

A la fin de cette partie, nous serons à même de répondre aux questions centrales de notre mémoire. Les résultats seront repris dans notre conclusion et donneront un regard critique au lecteur sur la thématique abordée.

2. Un environnement de trading changeant : Le cas des Etats-Unis

Dans le passé, nous pouvons constater qu'une innovation est forcément le résultat d'un besoin nouveau (Lhuillery, 2014). Ce besoin sera tantôt comblé, tantôt créé par l'innovateur. Il en va de même pour l'émergence des algorithmes de trading, qui d'une certaine façon sont le résultat de nouvelles exigences de la part des acteurs des marchés financiers. Pour ce faire, nous allons étudier les changements majeurs au sein du marchés boursiers aux Etats-Unis.

2.1. Des années '70 à 2001

2.1.1. Changements sur le NYSE

Comme nous l'avons écrit précédemment, le réel changement au sein des marchés financiers a eu lieu à partir des années '70. Avant cela, les transactions se faisaient de façon écrite ou par téléphone. Mais le NYSE, qui représente de loin le plus gros marché action à ce jour⁸ (Desjardins, 2016), introduit en 1976 le système de « designated order tunaround » (DOT), et quelques années plus tard, en 1984, une version améliorée (Super-DOT) (Markham & Harty, 2008). Ceci fut mis en place afin de faire face au volume d'ordres grandissant et à la nécessité de les traiter de façon plus rapide. Dorénavant, il y avait la possibilité de transmettre ses ordres d'achat et de vente de façon électronique. Des entreprises spécialisées recevaient les ordres sur les écrans d'ordinateurs spécialement conçus à cet effet. Elles s'occupaient par la suite d'exécuter l'ordre dans le marché. Ce système permettait de transmettre plus de 200 ordres à la seconde et affichait leur prix sur des écrans d'ordinateurs, diminuant de façon conséquente le temps auparavant consacré à l'impression des ordres (Schizer, 1992). En 1992, près de 75% des ordres étaient transmis aux entreprises spécialisées via le procédé Super-DOT (Hasbrouck, Sofianos, & Sosebee, 1993), et plus de 98% en 2002 (Stoll, 2006).

D'autres améliorations ont également vu le jour durant cette période, notamment grâce à l'arrivée de l'électronique. Des entreprises privées ont perçu les potentiels gains liés à la transformation des salles de marché. Elles se sont mises à élaborer des systèmes pouvant aider les brokers, notamment en facilitant toute la partie « back-office » et en affichant des

⁸ Voir l'annexe 2 pour une vue globale de la taille des marchés financiers mondiaux.

informations à propos des évolutions des marchés sur leurs écrans (Markham & Harty, 2008). Certaines de ces firmes, telles Bloomberg et Reuters, ont aujourd'hui encore les systèmes utilisés par les acteurs de marchés financiers pour obtenir de l'information. Leur but premier n'était pas d'exécuter les ordres, en passant par un marché électronique par exemple, mais servait d'aide aux spécialistes.

2.1.2. Changements sur le Nasdaq

De plus en plus, il fallait amener des améliorations à certaines faiblesses qui pouvaient se trouver sur le NYSE vers les années '70. Ce marché régula la plupart des actions listées, mais laissait pour compte les actions moins importantes (Stoll, 2006). De ce fait, le Nasdaq fut créé en 1971. Alors que le NYSE est un marché d'enchères⁹, le Nasdaq est quant à lui un marché de dealers¹⁰. Bénéficiant des avancées technologiques connues jusque-là, ce marché divulguait l'information reçue à propos des ordres par ordinateur. De base, il ne servait pas comme marché pour exécuter des ordres, mais en 1984 un système a été développé afin d'exécuter de petits ordres (« SOES », Small Order Execution System) sur ce marché. Ce n'est qu'après, en 1990, qu'a été développé SelectNet, un système de trading automatique qui facilite les échanges électroniques entre les brokers (Markham & Harty, 2008). Le Nasdaq avait pour particularité de mettre en concurrence les spécialistes, contrairement au NYSE où chaque spécialiste était responsable de son panier d'actions. Au fil des années, ce nouveau marché a pris de l'importance, et vers les années '90 il comptait même plus de sociétés cotées que le NYSE (Atkins & Dyl, 1997). Néanmoins l'étude de Huang et Stoll (1996) a prouvé que ce système démontrait un réel désavantage quant aux spreads, qui étaient trop élevés. Mais la SEC¹¹ (Securities and Exchange commission), en 1997, a émis de nouvelles règles (« Order Handling Rules », OHR) afin de transformer le Nasdaq (Lindsey, Byrne, & Schwartz, 2016). Ces règles avaient pour principe d'obliger le Nasdaq à :

⁹ Un marché d'enchères est caractérisé par le fait que des investisseurs achètent et vendent des actifs financiers entre eux. Ceci se fera via un système d'enchères, en ce sens que l'offre la plus élevée sera couplée avec la demande la plus basse (Desjardins, 2017).

¹⁰ Au sein d'un marché de dealers, les participants n'opèrent pas de transactions entre eux directement, mais par l'intermédiaire d'un dealer (Desjardins, 2017).

¹¹ La SEC (Securities and Exchange commission) est une agence gouvernementale américaine qui travaille de façon indépendante. Elle a pour but de protéger les investisseurs, de veiller au bon fonctionnement des marchés financiers ainsi que d'établir de nouvelles régulations (Les Echos, 2017).

- Afficher les ordres limites s'ils sont meilleurs que les offres émises par les market makers. Les investisseurs peuvent désormais entrer en compétition avec les dealers¹² du Nasdaq afin de réduire les spreads (Chung & Van Ness, 2001).
- Faire en sorte que les market makers affichent leurs meilleures cotations de façon publique. Nous entendons par là qu'il faut dorénavant que les market makers publient leurs cotations les plus compétitives, et permettent ainsi aux autres acteurs des marchés financiers d'avoir accès à leurs cotations via des système de communication électronique (« Electronic Communication Networks » (ECN)¹³) (Chung & Van Ness, 2001). Cette règle servait à éviter que les market makers ne se favorisent entre eux en négociant des cotations plus favorables, au détriment du grand public.
- Réduire la taille minimum des ordres émis par les market makers, en passant d'au moins mille actions par ordre à cent actions par transaction. L'étude de Barclay, Christie, Harris, Kandel et Schultz (1999) étudie les effets de cette règle, et parvient à la conclusion que les cotations sont meilleures qu'auparavant. Ils analysent qu'étant donné que le public peut envoyer des ordres d'une taille minimum de cent actions, il se peut que les dealers ne soient pas incités à trouver des prix adéquats pour un lot inférieur à la taille minimale qu'ils se doivent de traiter (Barclay et al., 1999). Or cette règle sert justement à ce que les dealers améliorent leurs cotations, ayant pour but de réduire les spreads sans affecter de manière négative la qualité du marché.
- Procéder à un relâchement de la régulation entourant les spreads maximaux que peuvent pratiquer les market makers sur le Nasdaq. Auparavant, ils se devaient de rester endéans les limites imposées par la législation¹⁴. Kandel et

¹² Contrairement à un broker, un dealer est une entité (personne physique ou société) qui achète des actions pour compte propre (au prix de vente) ou vend des actions qu'il détient (au prix d'achat). Ils agissent en tant que market makers (Harvey, 2017).

¹³ Les systèmes de communications électroniques sont définis par la SEC comme étant des systèmes de trading électroniques, où les ordres d'achat et de vente vont se rencontrer de façon automatique (SEC, 2005b).

¹⁴ Cette règle était connue sous le nom de « Excess Spread Rule », et obligeait les dealers à envoyer des cotations dont les spreads n'excédaient pas 125% de la moyenne des spreads des trois market makers ayant les spreads les plus rapprochés (Kandel & Marx, 1997).

Marx (1997) étudient l'implication de cette règle sur les spreads des market makers, et parviennent à la conclusion que cette façon de faire n'était pas optimale, en ce sens que les spreads étaient trop grands. Dorénavant, ils ont donc davantage le choix quant à leurs cotations, sachant que la législation a été légèrement modifiée (Barclay et al., 1999).

2.1.3. Les systèmes de communications électroniques

L'arrivée des ECN a été grandement favorisée par certains scandales qui ont frappé le Nasdaq ainsi que le NYSE. L'étude de Christie et Schultz (1994) a démontré que les spreads des cours que donnaient les market makers du Nasdaq étaient excessivement larges. Leurs résultats suggéraient que ces pratiques étaient le résultat d'arrangements entre les market makers. Les investigations menées par la SEC ont alors démontré que les prix affichés sur les ECN représentaient mieux les cours réels des actions que ces mêmes cours sur le Nasdaq. De ce fait, les gens qui traitaient via le Nasdaq recevaient des prix moins intéressants que ceux utilisant les ECN.

Le NYSE n'a pas été épargné non plus par certaines pratiques douteuses. Les brokers avaient développé des techniques afin de se positionner comme tiers partie entre deux transactions, se plaçant systématiquement dans le sens contraire de leur client. Ils gardaient alors le meilleur prix pour eux, en achetant à un prix bas par exemple, et exécutant l'ordre du client à un prix nettement moins favorable, en vendant plus haut que précédemment affiché (Lindsey et al., 2016).

En 1971 déjà, Fisher Black émettait l'idée qu'il fallait passer à des marchés complètement automatisés (Black, 1971). Selon lui, les marchés financiers pouvaient se permettre de supprimer l'intervention humaine ou, du moins, réduire considérablement le rôle des personnes physiques dans l'intervention des transactions de marchés (Stoll, 2006). Il avait alors en tête une idée qui verrait le jour seulement des années plus tard.

Les ECN commencent à apparaître massivement vers les années '90 (Markham & Harty, 2008). Les ECN fonctionnaient suivant les mêmes principes que les livres d'ordres décrits plus haut. Certaines de ces structures les plus connues portaient des noms comme

Archipelago, Bloomberg Tradebook, Instinet etc. (Hendershott T. , 2003). Les ECN démontrent de nombreux avantages :

- Ils ont considérablement diminué les coûts transactionnels liés au trading. Les ECN sont capables de fonctionner de manière automatique, sans avoir besoin de dealers par exemple. Les dealers sur le Nasdaq traitaient avec des marges de l'ordre de 25 pourcents (Hendershott T. , 2003). De ce fait, les investisseurs avaient dès lors l'opportunité de passer outre ces intermédiaires, évitant ainsi les grandes marges au passage. Comme démontré par l'étude de Barclay, Hendershott et McCormick (2003), au plus grand est le volume des ordres, au plus grande est l'économie réalisée en passant par des ECN et non des dealers de marché.
- Les ECN permettent également de traiter nettement plus rapidement qu'auparavant. Les avancées technologiques dont ces systèmes se servent visent à ce que qu'ils prennent systématiquement le dessus sur les ordres exécutés à travers les plateformes des marchés conventionnels. A titre d'exemple, le temps d'exécution d'un ordre à l'aide d'un ECN n'est pas supérieur à 3 secondes, or via les systèmes de marchés ordinaires cela prendrait près de 20 secondes (Hendershott T. , 2003).
- L'étude menée par Simaan, Weaver et Whitcomb (2003) affirme que le fait que les ECN affichent les informations de façon anonyme ¹⁵ a pour effet de réduire les spreads. De plus, l'anonymat peut se révéler important pour certains investisseurs qui ne souhaitent pas que des concurrents voient leurs prises de positions (Stoll, 2006). Cela pourrait avoir des conséquences néfastes, telles que le phénomène de « front-running » expliqué par Brunnermeier et Pedersen (2005), où des traders (a) vendent juste avant d'autres traders (b) afin que les seconds descendent leur prix, de sorte que les traders (a) rachètent à un prix moindre.
- Tous les investisseurs ayant souscrit à un certain ECN ont accès aux livres d'ordres de ce dernier. Ils peuvent ainsi ajuster leurs stratégies d'investissement de façon optimale, ayant une vue plus détaillée sur les prix et le volume disponible (Hendershott T. , 2003).

¹⁵ Hormis les prix et le volume, aucune autre information n'est disponible (Simaan et al., 2003).

Les stratégies poursuivies par les ECN ne sont pas forcément les mêmes (McAndrews & Stefanadis, 2000). Nous entendons par là que certains systèmes ne fonctionnent qu'avec des ordres à cours limité, tandis que d'autres se portent également garants pour les ordres au marché.

Pour les premiers, l'ordre entré au sein de l'ECN sera dans un premier temps exécuté dans le système-même. Si l'exécution de l'ordre ne se fait pas de façon immédiate, car il n'y a aucun acheteur ou vendeur pour le prix entré à ce moment-là, l'investisseur peut décider de laisser son ordre sur le livre d'ordres de l'ECN. Ce dernier va alors poster l'ordre sur le Nasdaq si le prix correspond au meilleur prix du système (McAndrews & Stefanadis, 2000). L'investisseur peut également décider de rediriger l'ordre vers un autre ECN ou simplement l'annuler (Hendershott T. , 2003). Ceci contribue à créer une concurrence naturelle entre les différents systèmes, et ainsi garantir un meilleur prix d'exécution (Hasbrouck & Saar, 2002).

Les seconds vont davantage se tourner vers les marchés traditionnels, tels le Nasdaq, à la recherche de prix optimaux. Quand le meilleur prix du marché (« National Best Bid or Offer », NBBO) se trouve sur un autre ECN, ou peut être obtenu via un dealer sur le Nasdaq, le système va automatiquement transférer l'ordre (McAndrews & Stefanadis, 2000). Ils vont ainsi à la recherche de liquidité en dehors de leur propre système. Pour se faire, chaque ECN aura sa propre méthode d'exécution et sélectionnera selon des critères spécifiques¹⁶ le système vers lequel envoyer l'ordre.

La prolifération des ECN a par ailleurs contraint la SEC à prendre davantage de mesures afin de réguler leur activité. En 1999, la SEC développe un ensemble de règles afin de réguler les systèmes de trading alternatifs¹⁷ (Alternative Trading Systems Regulations, Reg. ATS) (Domowitz & Lee, 2001). Dorénavant, chaque ECN qui traite plus de 5% du volume d'actions dans un système de marché national (National Market System, NMS) doit être rattaché à un marché boursier reconnu afin d'afficher les meilleures cotations présentes dans leur système

¹⁶ De tels critères peuvent par exemple être le prix, la vitesse d'exécution ou la probabilité d'exécution effective de l'ordre (McAndrews & Stefanadis, 2000).

¹⁷ La SEC définit à la règle 300(a) de la Reg. ATS un système de trading alternatif comme étant « tout système qui (1) constitue, maintient, ou propose un marché ou des services pour se faire rencontrer des acheteurs et des vendeurs d'actions ou charger d'effectuer des actions similaires à un marché boursier et (2) qui ne régule pas ses membres ou surveille son propre marché » (SEC, 1998).

de façon publique (Karmel, 2001). Les ECN ont le choix d'être enregistrés comme étant des marchés d'échanges nationaux ou comme étant un système de broker-dealers, et ainsi se rattacher aux lois correspondantes au système choisi (SEC, 1998). De ce fait, cela revenait à rendre les ECN plus transparents, car la SEC craignait que les avantages présentés par les ECN ne profitent qu'à une petite partie des investisseurs, notamment leurs propres souscripteurs (Markham & Harty, 2008).

En réponse à l'émergence des ECN, le Nasdaq a créé son propre système de communication électronique en 2002, SuperMontage. Chung et Chuwonganant (2009) ont analysés les effets positifs qui découlent de l'implémentation du système SuperMontage, et sont arrivés à la conclusion que cela améliorerait la qualité d'exécution des ordres sur le Nasdaq. Le Nasdaq a également racheté certains ECN (par exemple Instinet) afin de les intégrer dans son système (Goldstein, Shkilko, Van Ness, & Van Ness, 2008). De plus, ce marché a fusionné avec d'autres marchés, tels le Philadelphia Stock Exchange et les Boston Stock Exchange (Markham & Harty, 2008). Le NYSE, de son côté, a fusionné avec Archipelago, l'un des plus importants ECN, après avoir résisté durant longtemps à la compétition non seulement occasionnée par les ECN, mais également par les autres marchés mondiaux (Goldstein et al., 2008). Tout comme le Nasdaq, le NYSE a fusionné avec Euronext en 2006. En faisant ainsi ces choix stratégiques, les deux marchés n'ont cessé de grandir et représentent aujourd'hui les deux plus grands marchés financiers au monde¹⁸ (Desjardins, 2016).

2.2. A partir de l'année 2001

Si nous prenons l'exemple du marché des actions US, qui représente plus de 50% du marché des actions au niveau mondial fin 2016¹⁹ (Dimson, Marsh, & Staunton, 2017 ;Carlson, 2017), la littérature tend à dire qu'une autre grande période de changement a eu lieu dès 2001. En effet, c'est à ce moment-là que la SEC a décidé de passer d'un système de prix à la fraction près (par exemple 1/16^{ième} de dollar, soit \$0.0625) à un système au cent près (soit \$0.01) (« decimalization » en anglais) (Bessembinder, 2003). Ceci avait pour effet de diminuer

¹⁸ Voir l'annexe 2 pour une vue globale de la taille des marchés financiers mondiaux.

¹⁹ Voir l'annexe 3 pour l'analyse de Crédit Suisse sur la part de marché de chaque pays au sein des marchés financiers.

le pas entre le prix d'une action, passant ainsi de par exemple $\$17^{3/16}$ à $\$17^{4/16}$, or dorénavant le prix passerait de $\$17.18$ à $\$17.19$. Concrètement, comme démontré par l'étude de Chung, Chuwonganant et McCormick (2004), cela signifiait que le prix présent dans les livres d'ordres serait plus précis, et renverrait une image plus juste de la valeur des actions. Le spread serait ainsi nettement diminué. L'idée était de réduire les coûts de transactions pour les petits investisseurs. Une étude établie par Harris (1994) a néanmoins démontré que ce changement dans les pas de cotation entraîne un réel désavantage, notamment une baisse de liquidité qui peut être néfaste pour la qualité du marché. Une étude similaire a également été menée par Jones et Lipson (2001) arrivant aux mêmes conclusions.

Kissel (2014), se basant sur d'autres études, explique que la liquidité est restée semblable à ses niveaux d'avant. En effet, de par le changement de pas de cotation, les offres se sont dispersées. Au lieu d'avoir une demande de 1000 actions à $\$100$, nous aurions plusieurs demandes : une de 150 actions à $\$99.98$, une de 200 actions à $\$99.99$, une de 300 actions à $\$100$, une de 200 actions à $\$100.01$ et enfin une de 300 actions à $\$100.02$. Ainsi le prix moyen est resté semblable, et il y a toujours 1000 actions à la demande. Le changement s'opère ici au niveau du volume du meilleur prix de la demande, qui était auparavant de 1000 actions et qui n'est plus que de 300 actions après la mise en place de la transformation du pas de cotation. Ainsi le nombre d'étapes afin d'acquérir les 1000 actions sera plus conséquente.

En outre, de nombreuses règles se sont ajoutées au fil des années. Le marché des actions US est un marché qui a pour particularité d'être extrêmement fragmenté²⁰ (O'Hara & Ye, 2011). De ce fait, en 2005 une loi a été votée (Regulation National Market System ; Reg NMS) qui a été implémentée en 2007 et qui a justement pour but de garder un œil sur les fragmentations de marchés. Les règles les plus importantes du manuscrit écrit par la SEC sont les règles 610 (« access rule »), 611 (« order protection rule ») et 612 (« sub-penny rule ») (Chakravarty, Jain, Upson, & Wood, 2012) :

- Access rule : Cette règle facilite l'accès aux propositions d'offres sur le marché de diverses façons (SEC, 2005a). Elle permet d'accéder plus équitablement et

²⁰ Le marché des actions US peut être qualifié de « fragmenté » car il a pour particularité de permettre à un investisseur d'acheter ou de vendre un même produit financier sur un grand nombre de marchés différents.

de façon non-discriminatoire aux propositions d'offres. Elle tend également à harmoniser le prix des droits d'entrées à différents centres de trading.

- Order protection rule : Interdit l'exécution d'un ordre à un cours inférieur à un ordre « protégé » se trouvant sur un autre marché. Pour être classé comme étant protégé, un ordre doit être automatiquement et immédiatement accessible (SEC, 2005a). En pratique, cela signifie qu'un acteur financier ne peut traiter à un prix différent que le prix se trouvant « en première ligne » (bid-ask) sur un autre marché (Budish, Cramton, & Shim, 2014).
- Sub-penny rule : Cette règle prévoit qu'un acteur de marché ne peut entrer, accepter ou montrer de l'intérêt pour un ordre qui a un pas de cotation plus petit que \$0.01, excepté pour les actions cotant à moins de \$1.00 (SEC, 2005a).

Ces règles impliquent donc qu'un plus grand nombre d'acteurs ont accès aux marchés, tout en limitant les pratiques discriminatoires. Ce sont néanmoins ces pratiques qui s'avèrent être profitables pour les investisseurs. La SEC décide par ces mesures de favoriser la diminution des risques et une plus juste valeur des actions.

En outre, cela permet d'harmoniser tous ces marchés fragmentés, mais cela favorise également la venue de nouveaux entrants. Aux Etats-Unis il existe 11 marchés d'actions, et plus de 50 systèmes de trading alternatifs (O'Hara, 2015). De plus, chaque banque d'investissement (JP Morgan, Morgan Stanley, Société Générale etc.) possède également en interne ses desks de trading. Il faut ajouter à cela les marchés traitant les dérivés d'actions et les marchés sur les futures en actions (O'Hara, 2015). Il va sans dire qu'une réglementation est nécessaire afin de garder ce système sur pied, et d'éviter que certains acteurs ne profitent du flou entourant les offres au sein de ces marchés.

En jetant un regard sur le volume traité sur le S&P 500 depuis les années '70, nous remarquons que ce dernier n'a fait qu'augmenter jusqu'en 2008/2009. Ceci renforce l'idée émise par Kissel (2014) et d'autres auteurs qu'en dépit d'une perte de liquidité évoquée plus haut, le volume en dollars traité n'a cessé de croître. Le pic de la crise économique est fortement marqué, et les volumes traités ont atteint des sommets. La baisse significative qui s'ensuit montre tout de même un niveau nettement plus élevé qu'observé avant la crise.

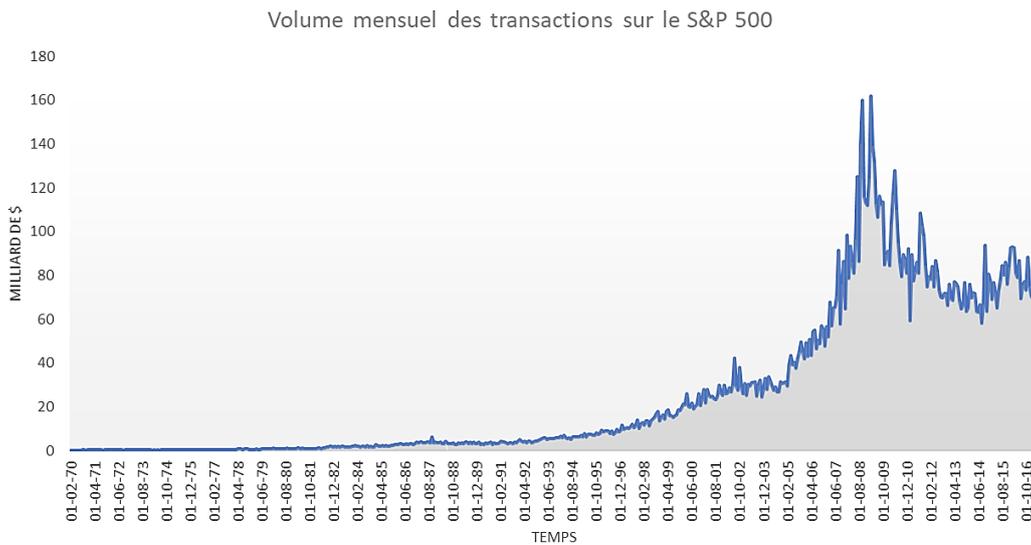


Figure 5: Evolution du volume mensuel en \$1 milliard traité sur le S&P 500 des années '70 à aujourd'hui
(Données retrouvées sur Yahoo Finance : S&P 500 (^GSPC), 2017)

Néanmoins, il est évident de constater que cette hausse de volume échangé va dans le sens inverse de la taille des ordres traités (Crédit Suisse, 2011). Suite au phénomène de « décimalisation », la taille des ordres a constamment diminué jusqu'à la crise financière et économique, et s'est ensuite stabilisée. Ceci signifie qu'il faut un nombre beaucoup plus important de transactions aujourd'hui pour parvenir à compléter un ordre.

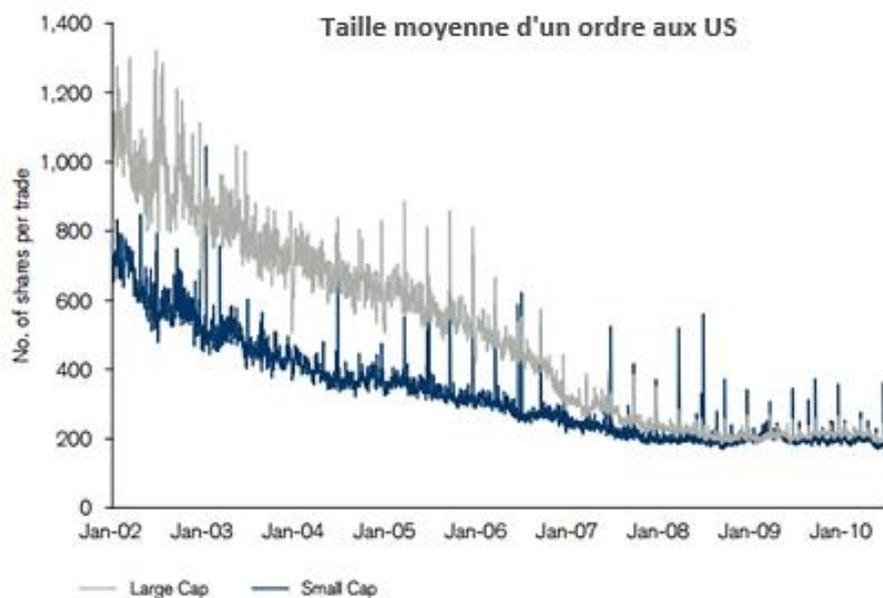


Figure 6: Taille moyenne d'un ordre aux Etats-Unis (Crédit Suisse, 2011, p. 6)

3. L'essor du trading algorithmique

Les changements constatés ci-dessus ont grandement favorisé l'utilisation des algorithmes de trading au sein des marchés financiers. Kirilenko et Lo (2013) relèvent trois raisons à cela : davantage de complexité au sein des marchés financiers, les avancées dans la modélisation quantitative et les développements des ordinateurs.

L'augmentation de la complexité va de pair avec la globalisation, qui a pour effet d'accroître « le nombre d'acteurs de marché, la variété des transactions financières, les niveaux et distributions des risques, et les sommes engagées » (Kirilenko & Lo, 2013). De ce fait, il est assez aisé de conclure qu'un monde financier plus complexe requiert des solutions adéquates. Les algorithmes, offrant la possibilité de résoudre ces problèmes, sont dès lors d'une grande utilité.

De plus, les avancées en matière de modélisation financière ont permis aux investisseurs d'adapter des théories écrites par des économistes de renom en langage informatique (Kirilenko & Lo, 2013). De fait, les formules les plus répandues, telle la théorie d'évaluation d'options de Black-Scholes ou la théorie de sélection de portefeuilles élaborée par Markowitz et Sharpe, ont été codées et utilisées au sein d'algorithmes.

Enfin, comme nous l'avons déjà évoqué, les améliorations des systèmes informatiques ont grandement transformé le paysage des marchés financiers. En 1965, Moore prédisait que « le nombre de composants par microprocesseur doublerait chaque année » (Mack, 2011), augmentant ainsi la complexité des appareils. Ceci se faisait pour un prix inchangé, de sorte que pour un coût semblable les ordinateurs devenaient de plus en plus performants et puissants (Mack, 2011). Etant donné que les algorithmes de trading sollicitent l'analyse d'un grand nombre de données, ceci a inexorablement profité à leur emploi.

De par leur croissance exponentielle ces dernières années, il nous paraît intéressant d'étendre les recherches concernant certains avantages liés à l'emploi d'algorithmes de trading et d'établir des critiques quant à son usage.

3.1. Les coûts de transaction

Premièrement, il nous paraît essentiel de discuter des coûts de transactions liés aux algorithmes de trading. Car en fonction de ces coûts, un investisseur choisira ou non d'utiliser une stratégie poursuivie par l'algorithme. Et c'est exactement ce point-là qui est primordial, car un algorithme n'a de sens que s'il peut apporter du profit aux personnes qui l'emploient.

D'un point de vue purement financier, les coûts peuvent être définis comme « les coûts découlant de l'échange d'un titre financier » (Demsetz, 1968). Bien évidemment, il faut pouvoir comprendre et contrôler ces coûts, car un investisseur souhaite comprendre pourquoi il paie une certaine somme, et l'intermédiaire doit savoir justifier les coûts qu'il pratique. Ces coûts sont généralement classés dans deux catégories différentes : les coûts explicites, ceux qui sont perceptibles d'avance, et les coûts implicites, qui ne sont pas connus à l'avance et qui doivent être estimés (Rath, 2004). La compétition grandissante au sein des marchés pousse d'autant plus les acteurs à être vigilants sur ces points.

3.1.1. Les coûts explicites

Les coûts explicites sont connus à l'avance, avant même d'effectuer la transaction. Il peut s'agir de frais d'échange, de commissions ou de taxes (Aldridge, 2013).

3.1.1.1. Les frais d'échange

Les marchés de change, comme nous l'avons vu précédemment, ont pour but de se faire rencontrer des ordres d'achats et de ventes qu'ils ont reçus des ECN ou des Brokers. Pour ce service, ils perçoivent des montants en fonction de différents critères : le type d'ordre, le volume, le produit traité etc.²¹ (Euronext, 2017). Les ECN aussi perçoivent un montant de la part des investisseurs. Les clients souhaitant accéder aux systèmes ECN doivent, tout comme pour les marchés boursiers, payer des droits d'accès aux terminaux ainsi que des redevances par action traitée (Karmel, 2001). Il en va de même pour les utilisateurs indirects, ceux qui ont souscrit à d'autres ECN, mais dont l'ordre a été redirigé.

²¹ Un exemple de frais sur l'Euronext peut être trouvé à l'annexe 4.

Le point capital pour un marché est donc la satisfaction de ses clients en leur offrant la possibilité d'acheter ou de vendre quand ils le désirent (Stoll, 2006). Il faut que celui-ci s'assure qu'une liquidité suffisante est disponible, en ce sens qu'il doit en permanence y avoir des ordres à l'achat et à la vente. Les ordres au marché ne sont pas un bon exemple, car ils consomment de la liquidité (Cartea & Jaimungal, 2015). En effet, les ordres au marché vont immédiatement s'exécuter, au prix du marché. Ils ne permettent pas d'agrandir les positions disponibles dans un livre d'ordres, mais ont l'effet inverse. En revanche, les ordres à cours limité²² se chargent d'apporter la liquidité nécessaire (Cartea & Jaimungal, 2015). Ils peuvent néanmoins réduire la liquidité en se comportant comme des ordres au marché, dans le cas où l'ordre limité à l'achat est au cours actuel ou au-dessus, ou lorsque l'ordre à la vente est au cours actuel ou en deçà. Un investisseur a cependant peu d'intérêt à agir de la sorte, car toute l'utilité des ordres à cours limité est d'assurer l'exécution de l'ordre à un prix plus avantageux que celui qui est en vigueur à cet instant.

Afin d'attirer suffisamment de liquidité, les marchés peuvent décider d'appliquer des rabais ou des frais dépendants du fait que l'ordre augmente ou diminue la liquidité (Goldstein, Kumar, & Graves, 2014). Un marché qui offrira un rabais au pourvoyeur de liquidité et des frais pour les consommateurs de liquidité sera qualifié de « normal ». Un marché fonctionnant dans le sens contraire sera dénommé comme étant un marché « inversé » (Aldridge, 2013). A titre d'exemple, les rabais en vigueur sur le Nasdaq en 2017 sont de l'ordre de \$0.0001 à \$0.00305 par action (Nasdaq, 2017), alors que les frais associés à la diminution de liquidité se trouvent entre \$0.003 et \$0.0035 par action (Nasdaq, 2017). Bien que ces chiffres paraissent anecdotiques, des investisseurs traitant avec des volumes considérables seront impactés positivement ou négativement. L'intérêt d'un marché inversé est d'attirer les ordres au marché quand le NBBO se trouve sur plusieurs marchés différents (Aldridge, 2013).

L'étude menée par Colliard et Foucault (2012) porte notre attention sur deux points intéressants. Tout d'abord, en analysant l'effet d'une hausse des frais d'échange sur les marchés à cours limité, ils établissent que ceci a pour effet de réduire les gains engendrés par les acteurs de marché. En effet, les consommateurs de liquidité peuvent envisager de se

²² En deçà du prix actuel pour des ordres à l'achat, l'inverse vaut pour les ordres à la vente.

tourner vers d'autres options, comme des ordres au marché ayant une probabilité d'exécution plus élevée (Colliard & Foucault, 2012). Une baisse des frais, par exemple due à la compétition grandissante entre les différents marchés, n'attire pas forcément davantage de liquidité car les pourvoyeurs de liquidité vont également en profiter pour placer des ordres au marché.

Suite à cela, ils partent du principe qu'un marché doit trouver un juste milieu entre ses frais et ses rabais découlant du retrait ou de l'apport de liquidité. Des frais trop élevés diminueront les ordres consommant de la liquidité, qui lui rapportent de l'argent. Des rabais trop généreux attireront quant à eux trop de liquidité, impactant négativement ses profits (Colliard & Foucault, 2012).

Selon Arnuk et Saluzzi (2008), des traders peuvent profiter des avantages liés au rabais pour traiter gratuitement. En achetant et vendant des actions pour le même prix, ils génèrent du profit car ils ajoutent de la liquidité et jouissent de la prime de rabais. Cette façon d'effectuer des transactions est appelée « Liquidity Rebate Trading » (Arnuk & Saluzzi, 2008). Etant donné que les rabais sont fonction du volume traité, les grands gagnants de ce genre de système sont les utilisateurs d'algorithmes, notamment les traders haute fréquence, qui parviennent à placer des ordres d'achat et de vente extrêmement rapidement (Goldstein et al., 2014).

3.1.1.2. Les taxes

Une autre sorte de coût connu à l'avance sont les taxes. Une taxe est définie par le Larousse comme étant un « prélèvement à caractère fiscal, destiné à alimenter la trésorerie de l'Etat, d'une collectivité locale ou d'un établissement public administratif en contrepartie d'un service rendu aux administrés » (Larousse, 2017b). Les taxes sont prélevées sur le profit qu'enregistre un acteur de marché, et selon les lois en vigueur dans le pays. Certaines stratégies utilisant des algorithmes de trading, essentiellement en trading haute fréquence, génèrent des profits sur une courte période et doivent donc s'astreindre à une taxe complète. Les stratégies d'investissement à plus long terme produisent des profits après coup qui sont généralement assujettis à une taxe moindre (Aldridge, 2013).

Dans les années récentes, des gouvernements ont voulu imposer des taxes sur les transactions financières. Une telle expérience a été menée en Suède, de 1983 à 1991

(Habermeier & Kirilenko, 2003). Il est néanmoins évident de constater que ce système n'a pas fonctionné comme prévu. Les acteurs du marché financier suédois ont, après l'instauration de la taxe, massivement fui ce marché afin de traiter via d'autres marchés boursiers, Londres ou New-York par exemple (Habermeier & Kirilenko, 2003). L'étude menée par Campbell et Froot (1994) démontre que cette taxe a un effet extrêmement négatif sur le volume des bonds d'états traité, diminuant de 85% en 1987 par rapport à son volume moyen. La taxe fut abolie en 1991, suivant son échec, et de suite le marché boursier suédois est revenu à son niveau d'avant (Habermeier & Kirilenko, 2003).

Plus récemment, certains pays européens comme l'Italie ou la France ont imposé des taxes sur les transactions²³. Des études récentes (Capelle-Blancard & Havrylchuk, 2016 ; Cappelletti, Guazzarotti, & Tommasino, 2017) sont toutes deux parvenues aux conclusions que l'instauration de cette taxe a réduit le volume des actions concernées et parallèlement augmenté le spread de ces actions.

L'idée principale derrière ce genre de taxation est d'éviter que des THF envoient un nombre excessif d'ordres qu'ils annulent par la suite, impactant ainsi négativement la stabilité des marchés (Aït-Sahalia & Saglam, 2014). Evidemment, les gains engendrés par une taxe sur les transactions devraient également rapporter de l'argent. C'est une des raisons pour lesquelles l'Union européenne aimerait faire passer une loi allant dans ce sens, représentant un gain de 30 à 35 milliards d'euros par an (European Commission, 2017). Néanmoins cette loi est sur la table des négociations depuis 2013, et jusqu'à présent tous les acteurs ne sont pas parvenus à se mettre d'accord.

De plus, il est aujourd'hui extrêmement aisé de contourner ce genre de règlements. Il suffirait d'élaborer un algorithme tenant compte de cette taxe afin qu'il prenne les décisions nécessaires pour éviter ces coûts de transactions supplémentaires. Cela pourrait avoir comme conséquence d'effectuer les transactions sur d'autres marchés, qui ne sont pas impactés par cette taxe, de se diriger vers des « dark pools » ou d'investir dans d'autres produits financiers

²³ En 2012, la France a implémenté une taxe de 0.2% sur les transactions concernant les grands groupes, et 0.01% pour les THF qui introduisent des ordres et les annulent endéans une demi seconde. L'Italie a, elle, opté en 2013 pour une taxe de 0.02% pour le THF annulant leurs ordres endéans une demi seconde (Aït-Sahalia & Saglam, 2014).

(Aït-Sahalia & Saglam, 2014). Nous remarquerions alors un résultat semblable à celui relevé en Suède, notamment une baisse de liquidité impactant de façon négative le marché.

Jones (2013) part d'un constat assez simple : une taxe de 0.25%, qui peut sembler anodine au premier regard, pourrait avoir des conséquences extrêmement néfastes sur les coûts de transaction. Il prend l'exemple suivant : un investisseur souhaitant traiter 100 actions ayant un cours à \$50 payera environ \$12 de frais de transactions. En ajoutant 0.25% de taxe, ces frais sont plus que doublés²⁴. Ses recherches ont par ailleurs démontré que cette contribution impacte négativement les cours de bourse (Jones, 2013). Etant donné que le retour après taxe promis par exemple par un fond de placement commun doit rester le même, les prix diminueront forcément suite à la taxe²⁵. La taxe serait également reflétée dans les spreads, qui deviendraient plus larges (Jones, 2013). Il parvient aux mêmes conclusions qu'Aït-Sahalia et Saglam (2014), notamment que cette taxe augmenterait les coûts de transactions, inciterait les acteurs de marchés à traiter ailleurs et impacterait de manière négative le marché dans son ensemble.

3.1.1.3. Les commissions

Un dernier exemple de frais explicites sont les frais de commissions de brokers. De tels frais sont comptabilisés par des intermédiaires effectuant les transactions sur le marché, comme vu précédemment. Aujourd'hui, le rôle des brokers est (Aldridge, 2013):

- De veiller à ce que les transactions soient en adéquation avec les lois en vigueur et d'informer les autorités compétentes des activités de trading.
- De servir d'intermédiaire entre les clients et les marchés, les dark pools et autres plateformes d'échanges de titres financiers.
- D'endosser le rôle de contrepartie pour les ordres effectués de gré-à-gré.
- D'exécuter les ordres de la meilleure façon qui soit, en fonction des exigences de leurs clients.

²⁴ $0.25\% \times \text{le montant de la transaction} = \12.50 .

²⁵ Si le fond commun de placement table sur un profit de 3% par an, l'impact d'une taxe de 0.25% diminuera ce profit à 2.75%. De ce fait, les cours doivent diminuer de 7.7% pour pouvoir offrir un rendement semblable ($3\% = 3.25\% \times 0.9231$).

De plus, la plupart des brokers vont également faire payer leurs clients pour accéder à des informations de marchés spécifiques ainsi que d'autres services, comme des recherches ou des rapports (Wile, 2014). Néanmoins, ces demandes deviennent de plus en plus rares, car les investisseurs parviennent à trouver les informations dont ils ont besoin par eux-mêmes. De ce fait, une grande part de leurs revenus sont obtenus par les algorithmes d'exécutions qu'ils emploient. Le travail des brokers de la Banque Degroof Petercam, par exemple, consiste essentiellement à réceptionner des ordres de la part des clients, la plupart du temps des banquiers travaillant en interne, et de les transmettre au marché suivant un processus de « best execution ».

Ces commissions sont négociées à l'avance ou peuvent varier, suivant que le client souhaite traiter plus ou moins de volume, la difficulté de l'algorithme d'exécution employé etc. (Aldridge, 2013). Etant donné le coût que cela représente pour les investisseurs, il est extrêmement important qu'ils sachent à combien s'élèveront ces frais de commissions pour ainsi choisir le meilleur broker avec qui travailler.

Cependant, la plupart des investisseurs sont aujourd'hui moins résilients à payer pour des services qu'ils ont la possibilité de développer en interne. Les grandes banques et fonds communs de placement conçoivent eux-mêmes leurs algorithmes d'exécution. Le rôle du broker est en quelque sorte devenu obsolète (Wile, 2014). Les avancées en matière de technologie et d'accès à l'information rendent leur activité superflue. De plus, la constante compétition entre eux a tiré les marges vers le bas, diminuant fortement la rentabilité de ce genre d'activité (Cappon, 2014). Des nouveaux acteurs de marchés, les sociétés passives de management d'actifs, n'ont pas besoin des tous ces services proposés par les brokers, et ne souhaitent donc pas payer pour ces prestations. En conséquence, les frais de commissions pour les transactions n'ont cessé d'être réduits ces dernières années²⁶ (Cappon, 2014). La seule alternative qui leur est offerte pour continuer leur activité est de se spécialiser dans certains segments ou produits des marchés financiers.

²⁶ L'évolution des frais de commissions payés par les investisseurs institutionnels peut être trouvée à l'annexe 5.

En outre, de nouvelles régulations voient le jour, comme MiFID II qui sera effective en Europe en janvier 2018 (Johnson R. , 2017). Une fois cette loi en place, la composition des frais de commission sera nettement modifiée. Les frais de recherches, représentant une part importante des commissions prélevées par les brokers, seront séparés des frais d'exécution. Ainsi, les investisseurs ne paieront plus pour des recherches dont ils n'ont pas fait la demande, et les frais seront plus transparents (Johnson R. , 2017). Un rapport de 2016 écrit par la société de consultance Accenture stipule qu'une fois cette loi mise en place, les commissions pourraient diminuer de l'ordre de 33% (Chin, Chong, & Walkowicz, 2016).

3.1.2. Les coûts implicites

La seconde catégorie de coûts concerne tous les montants qui découlent de l'exécution d'un ordre. En effet, le fait d'effectuer une transaction peut momentanément pousser les cours vers le bas ou vers le haut si cela concerne de grands ordres à l'achat ou à la vente (Rath, 2004). Il peut également y avoir des coûts d'opportunités, liés à la non-exécution d'un ordre (Rath, 2004). Contrairement aux coûts explicites, les coûts implicites ne sont pas connus à l'avance. Ils doivent être mesurés suivant des estimations et analyses qui sont le fruit de l'effet d'une transaction sur le marché.

3.1.2.1. Le coût de latence

Un investisseur souhaitant effectuer une transaction s'informe au préalable sur les cours actuels du produit qu'il veut traiter. Une fois la transaction encodée dans le marché adéquat, l'ordre est exécuté. Néanmoins, ceci peut ne pas se faire immédiatement. Dans le monde qui nous entoure, ceci équivaut à acheter un produit dans un magasin, mais une fois arrivé à la caisse pour payer, le prix de cet article a été modifié. Au sein des marchés financiers, nous ne parlons non pas en minutes ou en secondes, mais en millisecondes (Harris, 2015). De ce fait, le changement défavorable dans le prix entre le moment où l'ordre est entré et l'exécution effective de l'ordre porte le nom de coût de latence.

Ces dernières années, l'attention s'est surtout portée sur les Traders Haute Fréquence, capable d'envoyer des ordres à des vitesses proches de la vitesse de la lumière (Harris, 2015). Afin de contrer la perte de profits résultant de retards qui peuvent survenir durant le

processus d'exécution de l'ordre, certains acteurs investissent massivement dans les infrastructures nécessaires pour traiter de la façon la plus rapide possible (O'Hara, 2015). Ces systèmes ont pour but de communiquer extrêmement promptement, ainsi que d'effectuer des calculs nécessaires afin d'ajuster des positions de façon adéquate. Ces pertes de temps se font essentiellement au niveau (Aldridge, 2013):

- Des réseaux de communication, qui s'ils sont congestionnés ou interrompus causent un délai dans l'envoi d'ordres et d'informations. C'est la principale raison pour laquelle beaucoup de firmes de THF implantent leurs ordinateurs ou data centers le plus près possible de ceux des marchés (Goldstein et al., 2014).
- Des systèmes d'exécution des brokers, qui peuvent se voir pénaliser s'ils utilisent des algorithmes performants sur des machines qui ne le sont pas (Aldridge, 2013).
- Des marchés mêmes, qui en cas d'envois massifs d'ordres similaires²⁷ ne peuvent traiter toutes les demandes en même temps, occasionnant un délai.

Certaines recherches effectuées à ce sujet ont clairement démontré que les coûts de transaction pouvaient être réduits en utilisant des systèmes d'exécution plus rapides. Stoikov et Waeber (2016) sont parvenus à la conclusion qu'un algorithme fonctionnant avec une latence d'une milliseconde pouvait doubler les économies réalisées par rapport à un algorithme ayant une latence d'une seconde.

Néanmoins, d'autres facteurs sont également à prendre en compte, comme la liquidité disponible sur le marché et le nombre d'ordres consommant cette liquidité (Aldridge, 2013). De ce fait, lorsqu'un grand nombre d'investisseurs entrent des ordres au marché en même temps, les prix vont davantage fluctuer, et ainsi évoluer de façon favorable ou défavorable plus rapidement.

Etant donné les avancées telles que nous les avons vues ces dernières années, il est peu probable que de nouveaux progrès se fassent au niveau de la réduction des coûts de latence

²⁷ Nous entendons par là un nombre conséquent d'ordres à l'achat ou à la vente.

(Goldstein et al. , 2014). En effet, les frais engendrés pour la recherche, l'acquisition et l'installation de systèmes permettant de traiter encore plus rapidement ne compenseraient pas les profits réalisés grâce à ces améliorations.

3.1.2.2. Le spread

Le spread (bid-ask spread) d'une action équivaut à la différence entre le meilleur prix de vente et le meilleur prix d'achat pour une action, comme évoqué précédemment (Berkman, 1993). Il a pour but de couvrir les coûts du market maker qui achète et garde des actifs financiers dans son inventaire en attendant de les replacer sur le marché. Il tient également compte du risque pouvant exister de traiter avec une contrepartie détenant plus d'informations que le market maker (Kissel, 2014). Un investisseur qui achète et revend immédiatement une action perdra de l'argent, équivalent au spread. Ceci l'impactera d'autant plus si le spread est large. Le but est donc de réduire au maximum le spread d'une action, afin que la différence entre le prix à l'offre et celui à la demande soit le plus petit possible.

En termes financiers, nous relevons deux sortes de spread dont il doit être tenu compte : le spread coté et le spread effectif. Au sein des marchés financiers, les prix des actifs financiers fluctuent constamment. De ce fait, un marché se doit d'afficher les cotations, le prix à l'offre et celui à la demande, et ce en permanence. Le spread qui en découle est nommé le spread coté (Jones, 2013). Néanmoins, il se peut que certains paramètres viennent fausser ce spread. L'ordre introduit peut par exemple être plus volumineux que la liquidité disponible à ce moment-là, et le spread qui en résulte sera plus grand que le spread coté initialement (Jones, 2013). De même, il se pourrait que des ordres cachés soient présents au sein du livre d'ordres, traitant à des prix plus favorables. Dans ce cas, la transaction de l'investisseur se fera à un prix moindre, car le spread effectif sera moins grand qu'il ne le pensait (Jones, 2013).

Les recherches publiées à ce sujet tendent vers les mêmes conclusions, à savoir que l'utilisation du trading algorithmique favorise des spreads plus restreints et diminue ainsi les coûts de transaction. Hendershott et al. (2011) étudient le lien qu'il peut y avoir entre la liquidité et les ordres électroniques envoyés grâce à des algorithmes de trading²⁸. En effet,

²⁸ Nous analyserons cette étude plus en détail à la partie traitant de la liquidité, p. 47.

ceci peut être particulièrement intéressant pour les investisseurs consommant de la liquidité, car ils achètent au prix de l'offre et vendent au prix de la demande. Le spread forme ainsi une partie intégrante de leurs coûts. Les résultats de l'étude démontrent que la corrélation qui existe entre le spread et l'utilisation d'algorithmes de trading est négative, ce qui implique que les algorithmes font diminuer les spreads (Hendershott et al., 2011).

Ce rapprochement dans le cours des offres et demandes s'inscrit dans la lignée de ce qui était déjà en cours avec la concurrence créée par les ECN. Les spreads n'ont fait que se réduire depuis les années '80 et l'importance croissante des ECN au sein des marchés financiers (Jones, 2013). De plus, le phénomène de décimalisation expliqué plus haut a certainement contribué à son tour à la réduction des spreads (Bessembinder, 2003). Les recherches de Angel, Harris et Spatt (2011) confirment que la compétition grandissante entre les dealers traditionnels et les systèmes de trading électroniques utilisant des algorithmes, ainsi que ces algorithmes entre eux, a contribué à rendre les spreads plus petits. En effet, les algorithmes parviennent à recevoir et analyser l'information rapidement, leur permettant d'ajuster les cotations des personnes les employant de façon optimale (Angel et al., 2011).

3.1.2.3. Le coût d'opportunité

Il se peut également qu'un ordre ne s'exécute pas, et le profit découlant de la transaction qui aurait eu lieu ne revient pas à l'investisseur. Ce manque à gagner est désigné comme étant le coût d'opportunité (Aldridge, 2013). Ces coûts surviennent surtout lorsqu'un investisseur place un ordre à cours limité, sans que celui-ci ne rencontre un prix actuellement affiché sur le marché. Un manque de liquidité engendrera également une non-exécution de l'ordre (Johnson B. , 2010). Contrairement aux autres catégories de coûts que nous observons, le coût d'opportunité ne représente pas un réel coût physique, en ce sens qu'il n'a lieu que si une part du volume de l'ordre est traité à un cours moins favorable (Johnson B. , 2010).

Scholtus, van Dijk et Frijns (2014) étudient l'effet que peut avoir l'utilisation d'algorithmes de trading en réponse à des événements ayant un impact sur les marchés financiers. Le fait de ne pas prendre en compte de l'information qui s'avère importante peut potentiellement mener à une perte de profit, car l'investisseur n'aura pas ajusté ses positions assez rapidement. De ce fait, ils arrivent à la conclusion qu'étant donné le nombre croissant

de traders utilisant des algorithmes, seuls les plus rapides auront l'opportunité d'effectuer les changements nécessaires à la suite de nouvelles informations (Scholtus et al., 2014). Les traders moins rapides devront au préalable analyser chacune de leurs positions afin d'établir la stratégie à suivre en fonction de l'annonce qui sera faite. Ceci pourrait donc engendrer des pertes de profits futurs (Scholtus et al., 2014).

Si nous revenons sur les 5 étapes menant à une transaction lors de l'utilisation d'algorithmes de trading (Treleaven et al., 2013), la réduction des coûts d'opportunité se fait essentiellement lors de l'analyse avant l'exécution. En analysant les conditions actuelles du marché, l'algorithme va être à même de prendre la meilleure décision, de manière bien plus rapide que pourrait le faire une personne physique. Dans certains cas, des algorithmes visant spécifiquement à minimiser les coûts transactionnels vont incorporer les paramètres liés aux coûts d'opportunités dans leurs calculs, diminuant ainsi les pertes potentielles occasionnées (Johnson B. , 2010).

3.1.2.4. L'impact sur le marché

Lorsqu'un investisseur entre un ordre sur le marché, ce dernier aura un impact plus ou moins conséquent sur les cours de l'actif financier traité. La plupart du temps, cet effet sera négatif pour l'investisseur, par exemple en tirant les prix vers le bas lorsqu'un investisseur souhaite vendre (Aldridge, 2013). Le coût total qui en résulte est représenté par la différence qui survient entre le prix actuel et le prix hypothétique qui serait affiché si l'investisseur n'avait pas entré d'ordre (Johnson B. , 2010).

Chaque investisseur qui place un ordre sur le marché octroie de l'information aux autres participants du marché. Contrairement aux analystes, les traders sont la plupart du temps rémunérés en fonction des profits qu'ils génèrent. De ce fait, un trader ne prendra une position que s'il est convaincu que c'est une bonne décision. Un ordre volumineux avertira les autres acteurs de marché qu'il y a un nouvel élément ayant influencé son choix, et impactera ainsi dans une plus large mesure les cours (Brogaard, 2010). Les deux types d'ordres les plus répandus, les ordres au marché ainsi que les ordres à cours limités vus précédemment, peuvent avoir un impact sur les prix. Néanmoins, un investisseur pourra décider d'annuler un ordre à cours limité. Dans la plupart des cas, ce type d'ordre sera considéré comme ayant un

impact moindre par rapport à un ordre au marché (Aldridge, 2013). Un acteur du marché financier doit concevoir vers quel marché envoyer sa transaction, à quel moment, ainsi qu'analyser le cas où son ordre consomme toute la liquidité disponible. De ce fait, un investisseur doit être capable de calculer ce qu'il se passe lorsqu'il exécute un ordre, mais également l'effet que ce dernier aura par après (Cartea et al., 2015).

Aldridge (2013) explique que l'essence même de ce phénomène d'impact sur le marché se heurte aux théories financières qui devraient l'entourer. Dans un monde idéal, tous les investisseurs recevraient au même moment exactement la même information. Les éléments du passé n'auraient pas d'influence sur le prix futur, et ainsi tous les acteurs financiers interprèteraient l'information de la même façon. Suite à cela, les prix s'ajusteraient automatiquement, formant un saut d'un prix vers un autre. Les transactions en cours n'auraient donc pas d'effet sur l'évolution des prix (Aldridge, 2013).

Nous remarquons qu'il est aisé de constater que ceci n'est pas le cas. Les investisseurs ont tendance à avoir chacun des opinions par rapport aux nouvelles qui leur parviennent, qui ne vont pas forcément dans le même sens (Dufour & Engle, 2000). Ainsi, Dufour et Engle (2000) observent que les investisseurs à court terme et à long terme ont tendance à prendre des décisions d'investissement fort différentes. De plus, comme étudié par Kyle (1985), l'ajustement des prix suite à une nouvelle information se fait de façon graduelle, et n'est pas intégrée en une fois dans le prix, ce qui en théorie permettrait d'effectuer un saut dans les cotations.

De par l'effet que l'impact sur le marché peut avoir sur le coût total, de nombreuses recherches ont été effectuées pour tenter de trouver un moyen de diminuer ces coûts. Gatheral et Schied (2013) étudient des modèles afin de minimiser l'impact temporaire et permanent que peuvent avoir des ordres sur le marché. Ils reviennent sur certains algorithmes permettant de minimiser ces coûts, et démontrent les bénéfices liés à la réduction d'impact que ceux-ci peuvent avoir à court et long termes sur le marché (Gatheral & Schied, 2013). Gsell (2008) dans une étude antérieure analyse que des ordres volumineux ont un effet négatif sur les cours, poussant les cotations dans le sens inverse de celui de l'ordre. A l'aide d'algorithmes, il est possible de diviser ces ordres en de plus petits ordres, diminuant ainsi l'effet de leur

exécution sur le marché (Gsell, 2008). Les recherches de Chaboud et al. (2014) par rapport à l'utilisation des algorithmes sur le marché des changes montre que les algorithmes de trading parviennent à incorporer plus rapidement de nouvelles informations directement dans les cotations. Néanmoins, ils obtiennent une forte corrélation entre les différents algorithmes. Ceci pourrait avoir comme effet de faire tendre les prix exactement dans le même sens, démultipliant ainsi l'impact sur le marché. Leurs résultats ne démontrent cependant pas l'apparition de volatilité excessive pour les données analysées, ce qui aurait été le cas si les algorithmes augmentaient en même temps l'impact sur le marché (Chaboud et al., 2014).

3.1.2.5. Le risque temporel

Lorsqu'un investisseur entre un ordre, il peut se passer un certain temps avant que l'ordre ne s'exécute. Le risque temporel, qui peut être vu comme étant un coût, fait référence à l'incertitude quant à l'appréciation ou la dépréciation entourant le cours l'actif financier traité, entre le moment où l'ordre est entré et lorsqu'il est exécuté (Aldridge, 2013). Trois éléments composent ce risque : la volatilité, le paramètre représentant l'erreur d'estimation et la liquidité (Kissel, 2014). La volatilité plus ou moins grande engendrera une variation fortement prononcée ou non du prix de l'actif financier, et augmentera ainsi le coût de transaction. Le paramètre supplémentaire vise à quantifier le hasard découlant de l'impact sur le marché vu ci-dessus. Enfin, la liquidité entraîne une hausse des prix suivant qu'il y ait un nombre d'ordres d'achat ou de vente suffisant ou non pour l'actif au sein du marché financier sur lequel l'investisseur souhaite traiter (Kissel, 2014).

Comme suggéré par Johnson B. (2010), un investisseur parviendra à atténuer ce risque en diminuant le temps qui s'écoule entre l'envoi de son ordre et son exécution. Le tout est de trouver un juste milieu entre l'impact de l'ordre sur le marché et le risque temporel (Johnson B. , 2010). Grâce aux algorithmes, il est possible de gérer les différents paramètres afin de minimiser l'impact sur le marché en divisant par exemple les ordres plus larges en plusieurs ordres, tout en gardant un œil sur les repères, tel le VWAP, imposés par l'investisseur (O'Hara M. , 2014).

3.2. La liquidité

Dans un second temps, il nous paraît utile d'analyser les effets sur la liquidité liés à l'utilisation d'algorithmes de trading. En principe, une liquidité plus grande d'un marché aura un effet bénéfique pour l'investisseur car ses coûts de transactions s'en verront réduits (Stoikov & Waeber, 2016).

Le concept même du trading est le fait de pouvoir échanger de l'argent en cash contre des actifs financiers, ou inversement (Johnson B. , 2010). Le coût de cet échange peut être représenté par la liquidité de cet actif financier, correspondant à « la possibilité d'exécuter l'ordre immédiatement au meilleur prix » (Demsetz, 1968). Le prix d'un actif est donc sujet à sa liquidité. Les coûts de transaction seront plus bas pour des actifs liquides, comme nous avons vu auparavant (Pagano, 1989). Les volumes traités pour des actifs financiers liquides seront nettement plus élevés que ceux d'actifs financiers illiquides²⁹.

Selon Black (1971), trois éléments définissent la liquidité :

- La profondeur du marché, qui réfère au nombre d'ordres qui se trouvent actuellement dans le marché autour des cours affichés. Un marché est dit être profond si un investisseur a la possibilité d'acheter ou de vendre un actif financier dans un large volume sans impacter de façon significative son prix. Un marché n'ayant pas cette spécificité requerra de la part de l'investisseur un réajustement de son prix d'achat ou de vente (Black, 1971).
- L'étroitesse, qui renvoie à la différence de prix entre l'offre et la demande, c'est-à-dire le spread. Lorsque le spread est rapproché, il est plus simple d'effectuer des transactions et le coût associé à l'exécution d'un ordre sera moindre (Black, 1971).
- La robustesse d'un marché, qui est défini comme étant le fait qu'il se remette rapidement à niveau après un évènement ayant altéré le cours des actions traitées. Le changement de prix sera alors temporaire, et le marché reviendra plus ou moins vite vers le niveau qu'il avait avant la transaction (Black, 1971).

²⁹ Johnson B. (2010) donne l'exemple de la comparaison entre le marché boursier et le marché immobilier, où le volume des transactions est nettement plus élevé pour le premier.

Le lien entre ces trois éléments est le suivant : un marché ayant une profondeur plus grande aura dans la plupart des cas des écarts entre les cours à l'offre et à la demande plus rapprochés. Un investisseur fera donc face à un marché ayant des spreads plus étroits, et faisant en sorte que ce marché soit plus robuste (Johnson B. , 2010).

Parfois un dernier élément est également pris en compte. Pour Persaud (2003), un marché liquide requiert des investisseurs ayant des opinions diverses. Dans le cas contraire, tous les acteurs du marché prendraient les mêmes décisions, consommant la liquidité au même moment. Néanmoins, comme Dufour et Engle (2000) l'ont analysé, il est rare de voir ce genre d'évènements se produire, car les investisseurs ne prennent pas forcément des positions similaires. Le seul cas flagrant où les acteurs de marché tendaient vers le même objectif d'achat ou de vente a été durant les crashes boursiers que nous avons vécus, notamment celui de 1987 (Persaud, 2003) ou plus récemment en 2008.

3.2.1. Lien avec le trading algorithmique

Afin d'analyser plus en profondeur l'effet du trading algorithmique sur la liquidité, nous allons nous référer à l'analyse qui a été effectuée à ce sujet par Hendershott et al. (2011). En effet, ils se sont penchés sur la question suivante : « Est-ce que l'utilisation d'algorithmes de trading augmente la qualité du marché, et faut-il encourager cette pratique ? ».

Contrairement à ce qui avait déjà pu être écrit sur le sujet dans de précédentes analyses, les auteurs ont décidé d'étendre leur base de données. Ils y incluent non seulement tous les algorithmes utilisés par les investisseurs institutionnels³⁰, mais également ceux des autres acteurs de marché qui soumettent et annulent des ordres. Ils se concentrent essentiellement sur les algorithmes d'exécution, et non ceux censés élaborer des stratégies d'investissement pour certains investisseurs.

Ils partent du constat suivant : le trading algorithmique a évolué très rapidement depuis les années '90, et en même temps la liquidité au niveau mondial n'a cessé de s'améliorer. De ce fait, nous serions poussés à croire que le trading algorithmique est

³⁰ Une telle étude avait déjà été menée par Domowitz et Yegerman (2006), ne tenant compte que des algorithmes qui effectuaient réellement un ordre pour des investisseurs institutionnels. Ils ne se souciaient pas des ordres émis ou annulés par d'autres acteurs de marché.

responsable de cette amélioration de la liquidité. Il est néanmoins judicieux de nuancer ce propos, car d'une part les algorithmes permettent d'être utilisés afin d'injecter de la liquidité dans les marchés financiers, engendrant une compétition grandissante entre les participants et diminuant ainsi les coûts d'exécution (Hendershott et al., 2011). D'un autre côté, les algorithmes peuvent être employés pour consommer de la liquidité et ainsi parvenir à déterminer la meilleure façon d'exécuter un ordre. Les pourvoyeurs de liquidité en seront impactés de façon négative, car le fait de soumettre un ordre augmentera leurs coûts. Il faudra alors ajuster les spreads de sorte à compenser ces coûts, qui en fin de compte seront répercutés sur les consommateurs de liquidité (Hendershott et al., 2011). Ceci pourrait mener à une recherche sans fin dans l'amélioration des algorithmes de trading pour les investisseurs consommant de la liquidité et à leurs pourvoyeurs. Au final, les deux parties y perdraient, car la liquidité effective s'en verrait diminuée (O'Hara M. , 2014).

Afin d'évaluer la corrélation entre l'utilisation du trading algorithmique et l'amélioration de la liquidité, Hendershott et al. (2011) utilisent les données venant de l'envoi de messages électroniques sur le NYSE. La majorité des données récoltées ont trait à des ordres à cours limités qui apportent de la liquidité. Ces données proviennent d'acteurs de marchés financiers différents, et permettent ainsi d'obtenir une vue d'ensemble de la pratique des algorithmes utilisés pour effectuer des transactions. Nous jugeons que les données analysées sont pertinentes par rapport à la question de recherche, car elles couvrent une période de cinq ans, de 2001 à 2005.

Afin d'établir un lien de cause à effet entre l'augmentation de l'utilisation d'algorithmes de trading et l'amélioration de la liquidité, les auteurs s'appuient sur la venue d'un nouvel élément au sein des marchés financiers : le phénomène de cotation automatique (« autoquoting » en anglais). Ce nouveau système fut mis en place sur le NYSE en 2003. Il avait pour but d'ajuster de façon automatique des changements dans les cotations d'actifs financiers, qui se faisaient auparavant de façon manuelle par les spécialistes (SEC, 2003). Cette méthode affiche dès lors les meilleures cotations de l'offre et de la demande arrivant via le système Super-DOT de manière automatique (SEC, 2003). L'automatisation de ce procédé permet aux traders algorithmiques de recevoir l'information plus vite et de réagir en conséquence. Cette solution se montre nettement plus rapide pour les investisseurs

souhaitant pourvoir ou consommer de la liquidité, car ils accèdent facilement aux informations des transactions pouvant avoir lieu (Hendershott et al., 2011). Etant donné que ce changement s'est fait graduellement dans le temps pour différentes actions³¹, cela permet aux auteurs de statuer de façon plus précise sur la relation qu'ils essaient de vérifier.

Ils parviennent à calculer que le système de cotation automatique augmente l'utilisation des algorithmes de trading de près de 50% pour les actions des entreprises à forte valeur boursière. De plus, les modèles mathématiques utilisés montrent que l'augmentation d'algorithmes qui ont pour but de pourvoir de la liquidité est négativement corrélée avec celle des spreads côtés et des spreads effectifs. Ceci signifie que l'usage des algorithmes de trading parvient à diminuer les spreads des actions (Hendershott et al., 2011). Les résultats quant aux spreads sont néanmoins d'une moindre ampleur pour les entreprises ayant une petite capitalisation boursière. Ils expliquent que cela peut être dû à la corrélation inférieure existant entre le système d'autoquote et les algorithmes de trading pour ces actions-là. Ils pensent qu'une autre explication pourrait être le faible usage d'algorithmes de trading pour traiter les actions de sociétés à plus petite capitalisation boursière.

De plus, ils remarquent que l'introduction du système de cotation automatique a eu un effet négatif sur la profondeur des cotations, diminuant ainsi le nombre de cotations différentes. Ceci est principalement dû au rétrécissement des spreads (Hendershott et al., 2011). Leurs calculs démontrent par contre que l'effet négatif qui en découle est contré par les conséquences positives liées à la diminution des spreads. Cela donne au final un spread effectif plus rapproché, ce qui améliore la liquidité.

Juste après l'introduction du système d'autoquoting, les données qu'ils analysent font ressurgir des résultats contradictoires. Pour les sociétés à haute valeur boursière, le spread côté augmente, signifiant que les pourvoyeurs de liquidité accumulent davantage de revenus (Hendershott et al., 2011). Ils estiment que ces résultats sont étranges, car ces mêmes revenus auraient dû diminuer pour les personnes amenant de la liquidité. En effet, l'implémentation de la méthode d'autoquoting aurait dû augmenter la compétition entre les pourvoyeurs de

³¹ Toutes les actions n'ont pas adopté le système dès le début. En janvier 2003, seul 6 titres listés du NYSE utilisent le système d'autoquote. Les deux mois qui suivent voient se rajouter 200 autres titres et ce n'est que vers la fin mai 2003 que tous les titres du NYSE optent pour cette méthode (Hendershott et al., 2011).

liquidité, et diminuer ainsi leurs revenus. Il se trouve que l'inverse se produit, et Hendershott et al. (2011) partent du principe que ces acteurs de marché ont bénéficié temporairement d'un effet de marché en leur faveur. Leurs recherches prouvent par ailleurs que par la suite, les spreads effectifs diminuent, signifiant que suffisamment d'algorithmes de trading ont commencé à être utilisés et ainsi augmentent la compétition avec les pourvoyeurs de liquidité traditionnelle.

Enfin, ils identifient que l'utilisation d'algorithmes de trading a également un effet bénéfique sur la découverte des prix. En effet, avec le système de cotation automatisée, une plus grande partie de l'information se retrouve dans les prix sans pour autant qu'il y ait de transaction (Hendershott et al., 2011). Ceci est en adéquation avec l'étude faite plus tard par Hendershott et Riordan (2013) qui établit que les algorithmes sont capables d'assimiler de l'information plus rapidement, améliorant la découverte des prix. Ainsi, ils permettent d'ajuster les ordres à cours limités des investisseurs de façon optimale, en tenant compte des informations du marché.

En conclusion, leurs résultats démontrent que l'utilisation d'algorithmes de trading diminue les coûts de transaction et améliore la révélation d'informations relatives aux cotations. Leur recherche permet de confirmer que les algorithmes de trading sont bénéfiques à la liquidité d'un marché, en particulier pour les actions de sociétés à forte capitalisation boursière.

3.3. L'exécution

Le point d'orgue de tout investisseur est bien évidemment que son ordre s'exécute de la meilleure façon qui soit. L'utilisation d'algorithmes de trading a incontestablement changé la manière avec laquelle les acteurs des marchés financiers conçoivent leurs ordres et effectuent leurs transactions (Cartea et al., 2015). Avant d'exécuter un ordre, un algorithme devra tout d'abord choisir le marché le plus adéquat pour effectuer l'ordre (Nutti, Mirghaemi, Treleaven, & Yingsaeree, 2011). Etant donné que la plupart des actifs financiers sont listés sur divers marchés, il est important de comprendre quel marché en particulier sera favorable pour le donneur d'ordre. Il réalisera l'achat ou la vente de titres financiers suivant une stratégie prédéfinie, comme nous avons pu le voir précédemment. Le même lien peut être établi avec

les différentes possibilités d'ordres qui s'offrent à lui, que nous avons évoquées auparavant. Enfin, après l'exécution, l'algorithme procèdera à une évaluation de ses performances (Treleaven et al., 2013). Le choix de l'algorithme dépendra des objectifs poursuivis par l'investisseur. Ces objectifs peuvent être une réduction de l'impact sur le marché, une diminution des coûts de transaction ou une recherche d'opportunités (Yang & Jiu, 2006). Pour se faire, un investisseur aura le choix entre plusieurs techniques d'exécution.

3.3.1. Algorithmes d'exécution

Un algorithme de trading doit, après qu'un signal d'activation soit généré, être capable d'analyser les conditions du marché afin de prendre les décisions adéquates quant à l'exécution d'un ordre (Nutti et al., 2011). En fonction de la taille de l'ordre, des coûts, de la liquidité disponible etc., l'algorithme prendra la décision qu'il juge comme étant la meilleure, tout en tenant compte des stratégies délimitées par l'investisseur (Yang & Jiu, 2006). Néanmoins, différents algorithmes d'exécution pourront être assignés à une même stratégie. Une manière de s'adapter aux conditions changeantes de marché est de combiner plusieurs algorithmes d'exécution afin d'alterner les styles d'exécution : tantôt agressif, tantôt passif (Johnson B. , 2010).

A nouveau, ces algorithmes d'exécution peuvent être classés selon les trois catégories définies par Yang et Jiu (2006). Les techniques visant à limiter l'impact sur le marché vont diviser des ordres de grande taille en de plus petits ordres, ou cacher une partie du volume de l'ordre. Celles qui ont trait au coût vont ajuster leurs transactions en fonction du marché. Enfin, les investisseurs utilisant des techniques recherchant des opportunités vont surtout être efficaces quand le marché leur est favorable (Johnson B. , 2010). Les stratégies poursuivies par les investisseurs restent les facteurs déterminant la réaction d'un algorithme, mais les choix d'exécution vont permettre d'améliorer leurs performances (Aldridge, 2013).

Des techniques d'exécution peuvent par exemple être conçues de sorte qu'un algorithme décompose de plus gros ordres en une multitude d'ordres plus restreints (Angel et al., 2011). La réduction de la taille de l'ordre entraînera une diminution de l'impact de chaque transaction sur le marché. De plus, un ordre volumineux dévoilera de l'information aux autres acteurs de marché, ce qui est rarement le but recherché pour ces derniers (Pardo & Pascual,

2012). Cette technique peut idéalement être utilisée avec une stratégie de VWAP. Konishi (2002) étudie la meilleure façon de concevoir une stratégie VWAP, et inclut un modèle de décomposition d'ordres qui améliore le résultat précédemment obtenu.

D'autres algorithmes vont tenter de cacher tout ou une partie de l'ordre devant être exécuté (Johnson B. , 2010). Comme pour les ordres « iceberg », le but poursuivi par cette technique d'exécution est de minimiser l'information pouvant servir de signal à d'autres acteurs de marché (De Winne & D'hondt, 2007). De base, les algorithmes de trading font pratiquement tous usage d'ordres cachés (Kissel, 2014). En effet, ils ont atteint aujourd'hui un tel niveau de rapidité qu'ils peuvent se permettre de ne pas montrer l'entièreté de l'ordre à exécuter de suite, mais bien de façon graduelle. Néanmoins, il faut garder à l'esprit que si la portion cachée de l'investisseur est trop grande, cela entrainera une exécution plus lente de l'ordre. D'un autre côté, montrer une plus grande partie de ses intentions est perçu comme un signal fort par les autres investisseurs, en particulier pour les actifs financiers les moins liquides (Hendershott & Riordan, 2013). L'étude de Bessembinder, Panayides et Venkataraman (2009) confirme que les ordres qui sont cachés vont de pair avec un temps d'exécution plus long. Cependant, ils prouvent également que cette technique diminue en moyenne les coûts de transaction. De plus, d'après les résultats de Boulatov et George (2013), elle accroît la compétition qu'il peut y avoir entre les investisseurs ayant rapidement accès à l'information (c'est-à-dire les traders algorithmiques) et les autres acteurs de marché. La compétition est moins élevée lorsque les ordres sont visibles, augmentant les coûts de transactions pour les moins informés, demandant de la liquidité, et élevant les spreads en général (Boulatov & George, 2013).

D'autres techniques d'exécution vont se comporter comme les « pegged-orders » que nous avons vus auparavant. Les algorithmes vont alors modifier de façon automatique le prix des ordres à cours limité (Hasbrouck & Saar, 2013). Johnson B. (2010) porte toutefois notre attention sur le fait qu'une telle technique est assez facilement identifiable, et révèle ainsi la stratégie employée par un investisseur aux autres acteurs du marché.

De par la fragmentation des marchés, il est extrêmement utile qu'un algorithme puisse déterminer vers quel marché envoyer l'ordre, et ainsi l'exécuter de la meilleure façon possible

(Nuti et al., 2011). L'algorithme doit être capable d'analyser la quantité disponible et le prix qui y est associé, la latence, les frais ou les rabais ainsi que la probabilité d'exécution (Angel et al., 2011).

D'autres techniques d'exécution peuvent se trouver assez facilement, dans des livres spécialisés ou simplement sur internet. Ainsi, Cartea et al. (2015) donnent dans leur livre un certain nombre de modèles pouvant être utilisés. Le choix qu'ils feront concernant la technique à choisir dépendra essentiellement de deux facteurs : les conditions de marché, dépendant par exemple de la liquidité ou du spread, et la performance de l'algorithme (Cartea et al., 2015).

3.4. Les inconvénients

Jusqu'à présent, nous avons essentiellement évoqué les avantages liés à l'utilisation d'algorithmes de trading. Cela signifie-t-il que cette méthode de trading ne comporte que des éléments pouvant être jugés comme étant bénéfiques à la qualité du marché et à ses participants ? Rien n'en est moins sûr. Kissel (2014) dans son livre met en avant certains problèmes et limites survenant lors de l'utilisation d'algorithmes sur les marchés financiers :

- Il part du principe qu'un investisseur ne peut connaître tous les algorithmes qui s'offrent à lui. De ce fait, cet investisseur sera familier avec tout au plus quelques algorithmes de trading, qu'il utilisera pour exécuter ses ordres. Néanmoins, étant donné la spécificité du marché et les caractéristiques des différents ordres à réaliser, un algorithme se montrera plus ou moins performant dans les conditions avec lesquelles un acteur de marché souhaite traiter (Kissel, 2014).
- Les algorithmes de trading sont, de par leur nature, prédéfinis à exécuter la tâche pour laquelle ils ont été assignés (Thompson, 2017). Cependant, les conditions de marché peuvent changer, et les algorithmes les plus élémentaires peuvent ne pas être conçus pour répondre de façon efficace à ces changements. Ainsi, les objectifs recherchés par l'utilisation de ces méthodes d'exécution ne seront pas atteints (Kissel, 2014).
- Un investisseur doit au préalable tester l'efficacité de son algorithme. De plus, il est nécessaire qu'il évalue de manière correcte l'algorithme le plus adéquat afin

d'atteindre l'objectif qu'il recherche. Cet algorithme doit ensuite être tenu à l'œil, car il faut qu'il exécute ce pour quoi il a été programmé. De ce fait, un acteur de marché prendra du temps à rechercher et à tenir à jour les performances de son algorithme. Il tâchera également de mesurer les performances des autres algorithmes afin de trouver des solutions rapides en cas de changement de conditions de marché (Kissel, 2014).

D'autres éléments viennent s'ajouter aux arguments évoqués ci-dessus. Nous avons notamment parlé de la latence qui pouvait générer un coût potentiel pour les investisseurs (Harris, 2015). Néanmoins, pour arriver à minimiser ces délais, les investissements en infrastructure et systèmes de traitements de données peuvent être considérables (O'Hara, 2015). Laughlin, Aguirre et Grundfest (2014) analysent le temps que prend l'information pour parvenir au marché boursier situé dans le New Jersey en venant de celui de Chicago.

En 2010, la technologie la plus rapide utilisée était celle de la fibre optique, permettant aux cotations de s'ajuster sur les deux marchés distincts endéans les 8 millisecondes (Laughlin et al., 2014). La même année, ce système fut amélioré par la mise en place d'une nouvelle liaison fonctionnant via fibre optique, réduisant la latence à un peu plus de 6 millisecondes. En 2011, ce système fut une nouvelle fois perfectionné par la pose d'un circuit reposant sur des micro-ondes. Le gain en temps découlant de ce procédé est d'à-peu-près 2 millisecondes (Laughlin et al., 2014). Les données qu'ils ont récoltées indiquent un temps de latence se situant entre 4.2 et 5.2 millisecondes. Ils sont d'avis que, en choisissant de manière encore plus adéquate le chemin à prendre, la technologie permettrait de se rapprocher au plus près de la latence propre à la vitesse de la lumière³². Leur conclusion rapporte un fait plutôt interpellant : alors que le gain de temps n'est au final que de quelques millisecondes, le coût en infrastructure afin de parvenir à de telles vitesses se situe au-dessus de \$500 millions.

De plus, outre les avancées technologiques en matière de hard- et softwares dont nous avons parlé, de nouveaux réseaux de communication ont vu le jour durant les dernières années (Laughlin et al., 2014). Les investisseurs utilisent dorénavant également les réseaux sociaux, tels que Facebook ou Twitter, pour obtenir de l'information sur les marchés financiers

³² La latence attribuée à la vitesse de la lumière est de 3.93 millisecondes (Laughlin et al., 2014).

(Bollen, Mao, & Zeng, 2011). Ces réseaux peuvent être bénéfiques, car considérés comme une source d'information supplémentaire. Néanmoins, certains événements ont démontré de façon claire que ces systèmes possèdent de réelles lacunes (Moore & Roberts, 2013). Ainsi, en avril 2013 le compte Twitter du groupe américain « Associated Press », une agence de presse reconnue qui est présente au niveau mondial, fut la cible d'un hacking (Matthews, 2013). Le mardi 23 avril, en début d'après-midi heure américaine, l'agence de presse poste le tweet suivant : « Deux explosions à la Maison Blanche et Barack Obama est blessé » (Fisher, 2013). Le tweet est rapidement décelé comme étant faux, ce qui sera confirmé par le porte-parole du président Jay Carney : « Le président se porte bien. Je viens de le voir » (Fisher, 2013).

Bien que cet épisode ne dure que quelques minutes³³, les conséquences se sont fait ressentir instantanément. Le S&P 500 a par exemple perdu près de 1% de sa valeur endéans la minute qui a suivi le tweet (Matthews, 2013). Cela équivaut à plus ou moins \$130 milliards qui se sont évaporés en l'espace de quelques secondes. Dès l'annonce d'éléments démentant l'attaque sur la Maison Blanche, le marché retrouve son état normal. Ceci démontre néanmoins l'effet de spéculation entourant les marchés financiers, et le lien qui peut exister entre les réseaux sociaux et les marchés financiers (Moore & Roberts, 2013). De plus, la sécurité des réseaux sociaux peut être mise en cause, car le compte fut piraté par une équipe de hackers syriens³⁴ (Fisher, 2013).

Bien que cette cyberattaque soit à la base de source humaine, la raison de la propagation extrêmement rapide de l'information sur les marchés financiers est imputable aux algorithmes de trading (Matthews, 2013). Aldridge (2013) est d'avis que le trading haute fréquence en est en particulier la cause. Elle explique que les sociétés de trading haute fréquence élaborent parfois des algorithmes capables d'assimiler et de lire l'information publiée sur les sites financiers spécialisés, mais également les réseaux sociaux, de manière presque immédiate. Ces sociétés ciblent surtout des mots pouvant mener à de possibles réactions de la part du marché, comme « faillite » ou « résultats » (Aldridge, 2013). En fonction du mot auquel est associé l'algorithme, il réagira et achètera ou liquidera des

³³ Le faux tweet fut écrit à 13:07, et à 13:13 le marché retrouvait son cours normal (Fisher, 2013).

³⁴ Bien que cela n'ait jamais pu être officiellement prouvé, une équipe se disant favorable au régime de Bashar al-Assad, en Syrie, a revendiqué cette attaque informatique (Fisher, 2013).

positions. De ce fait, Aldridge (2013) pense que le marché a connu de tels ajustements à cause des mots « Barack Obama » ou « explosions » qui devaient vraisemblablement aller de pair avec de ordres de ventes. Car venant d'une source aussi fiable que « Associated Press », l'information a dû être jugée comme étant plausible par les systèmes informatiques (Aldridge, 2013). Le fait que l'information ait de suite été retweetée un grand nombre de fois a probablement davantage incité les algorithmes à prendre cette information en compte (Matthews, 2013). Même si, au final, l'incident n'a eu qu'un effet temporaire sur le marché, il est important d'en tirer les conclusions nécessaires de sorte que ce genre de désagréments ne puisse plus se reproduire (Moore & Roberts, 2013).

3.4.1. Flash Crash

Lorsque nous évoquons les ratés qui peuvent survenir à la suite de l'utilisation d'algorithmes de trading, nous pensons nécessairement aux « flash crash ». Kirilenko, Kyle, Samadi et Tuzun (2011) définissent ce terme comme étant « une brève période de volatilité extrême sur un marché ». L'évènement le plus marquant en matière de flash crash ces dernières années est sans doute celui du 6 mai 2010 qui est survenu sur le marché américain (Madhavan, 2012).

En effet, ce jour-là le Dow Jones Industrial Average, l'indice américain regroupant les 30 plus importantes sociétés cotées en bourse, a connu sa plus grosse perte journalière en l'espace de quelques minutes avant de retrouver son cours initial (Kirilenko & Lo, 2013). Il en va de même pour d'autres indices tels que le S&P 500 ou le Nasdaq 100³⁵. Les répercussions se sont également fait ressentir sur certaines actions³⁶, et les marchés internationaux ont aussi été impactés (Menkveld & Yueshen, 2017).

Les recherches qui ont été menées à la suite de cet incident ont révélé les causes qui ont conduit à la chute de différents marchés ce jour-là. En particulier, la SEC a relevé un ordre qui a été de façon fort probable à l'origine de ce crash (Madhavan, 2012). Vers 14:32 ce 6 mai 2010, un acteur de marché entre un ordre de vente de 75.000 contrats sur le E-Mini S&P, un indice dépendant du S&P 500 (Kirilenko & Lo, 2013). Ce contrat représente à peu près \$4.1

³⁵ L'annexe 6 montre graphiquement les changements qui ont eu lieu sur le DJIA, le Nasdaq ainsi que le S&P durant cette journée particulière (Balch, 2012).

³⁶ A titre d'exemple, l'action d'Accenture traitait temporairement à \$0.01 tandis que l'action d'Apple affichait un cours à \$100.000 (Kirilenko & Lo, 2013).

milliards. Cette somme peut sembler être considérable, mais cela n'a rien d'étonnant pour ce genre de marché. Néanmoins, un tel ordre ne s'exécute jamais d'un coup, car l'impact sur le marché serait trop important (Kirilenko et al., 2011). L'acteur de marché a bien entré son ordre, en ce sens qu'il ne s'agissait pas d'une erreur, mais n'a pas précisé dans son algorithme le prix auquel l'ordre devait être exécuté ni la période de temps durant laquelle il souhaitait réaliser sa vente (Madhavan, 2012).

Kirilenko et al. (2011) analysent qu'au départ, les contreparties se positionnant du côté acheteur ont absorbé une portion de cet ordre. Cependant, une grande partie de cette liquidité est prise en charge par des sociétés de trading haute fréquence, dont le but n'est pas de garder ces positions sur le long terme, mais bien d'engranger des bénéfices en quelques (milli)secondes (Menkveld & Yueshen, 2017). Les données récupérées par Kirilenko et al. (2011) montrent que les THF ont, quelques minutes après avoir acquis une partie du contrat de vente, massivement renvoyé des ordres à la vente. Ceci signifie qu'au lieu de réduire l'impact causé par cet ordre sur le marché, ils l'augmentent car ces traders vont dans le même sens que l'algorithme confectionné par l'acteur de marché. Ainsi, ils ne sont plus des pourvoyeurs de liquidité, mais des consommateurs (SEC, 2010).

A la suite de cela, le E-Mini S&P a perdu plusieurs pourcents en quelques minutes (Madhavan, 2012). De par le manque de liquidité à ce moment-là sur le marché, les THF ont commencé à s'acheter et se vendre des contrats de façon très rapide entre eux (SEC, 2010). Ce phénomène a été appelé « hot-potato trading », faisant référence au fait qu'ils se transmettent les contrats sans pour autant améliorer la liquidité, et ainsi combler l'ordre de 75.000 contrats émis par l'algorithme (Menkveld & Yueshen, 2017). A titre d'exemple, entre 14:45:13 et 14:45:27 les THF traitent 27.000 contrats, mais seulement 200 d'entre eux concernent l'achat de l'ordre provenant du vendeur utilisant l'algorithme de trading (SEC, 2010). Le manque de liquidité fait plonger d'autant plus le E-Mini S&P, entraînant dans sa chute d'autres indices dont il dépend.

Heureusement, à 14:45:28, soit treize minutes après le début de la baisse sans précédent qu'a connu l'indice, le marché est arrêté durant quelques secondes (Kirilenko et al., 2011). Cette fonction est mise en place afin d'éviter une chute incessante des cours. En

seulement cinq secondes de temps, l'intérêt des acheteurs refait surface et dès la reprise du marché les cours se stabilisent, avant de repartir à la hausse (SEC, 2010). Un effet similaire peut être perçu sur les autres marchés ayant été affectés par cet événement³⁷.

De par l'incertitude créée sur ce marché, d'autres marchés sont affectés également. Et leurs pourvoyeurs de liquidité estiment que le risque actuel est trop élevé que pour effectuer des transactions (SEC, 2010). De ce fait, d'autres marchés que le E-Mini S&P et le S&P 500 plongent également, à cause de l'inquiétude éprouvée par les acteurs de marché financiers par rapport aux conditions de marchés présentes. Ils décident de retirer massivement leurs ordres, laissant place à des prix aberrants pour certaines actions (Kirilenko & Lo, 2013).

Cependant, une fois les investisseurs ayant pu vérifier que leurs systèmes fonctionnent correctement, et qu'il s'agit d'une « erreur », les cotations sont revenues à leurs cours d'avant (SEC, 2010). Vers 15:00, tous les marchés reprennent normalement. Les transactions ayant été effectuées à des prix déraisonnables³⁸ sont annulées par les organismes en charge des marchés financiers (SEC, 2010).

Ce cas de flash crash est particulièrement intéressant car il a touché en quelques minutes aussi bien le E-Mini S&P, le S&P 500, des actions et d'autres classes d'actifs financiers (Kirilenko & Lo, 2013). Il est le résultat d'une série d'évènements sans précédent, ayant généré « une tempête financière parfaite : un algorithme d'exécution mis sur pilote-automatique, des THF se passant « la patate chaude » et des transactions inter-marchés non fructueuses » (Kirilenko & Lo, 2013).

Bien évidemment, ce n'est certainement pas un cas isolé. Les données récoltées par la société « Nanex »³⁹ par exemple permettent de se rendre compte du nombre impressionnant de flash crash qui surviennent sur les marchés financiers (Borch, 2016). Nous pouvons ainsi observer qu'à une échelle beaucoup plus réduite des « mini flash crash » ont lieu bien plus régulièrement qu'imaginé.

³⁷ Voir annexe 6 pour une représentation graphique de ce phénomène (Balch, 2012).

³⁸ La SEC a après coup dénombré plus de 20.000 transactions ayant eu lieu à des prix distants de 60% par rapport à leur cours de 14:40 durant l'intervalle de temps allant de 14:40 à 15:00. Ceci équivaut à la période de chute sur d'autres marchés à la suite du crash du E-Mini S&P et du S&P 500 (SEC, 2010).

³⁹ Nanex est une société spécialisée dans la recherche de données financières (Borch, 2016).

IV. Conclusion

La conclusion de ce mémoire a pour but de revenir sur un certain nombre de points importants que nous avons eu l'occasion d'analyser de manière consciencieuse. Nous traiterons en premier lieu des limites du travail. Nous synthétiserons ensuite les résultats découlant des recherches que nous avons effectuées. En qualité d'étudiant, nous critiquerons ces résultats et exprimerons notre avis sur les sujets abordés. Enfin, nous clôturerons ce chapitre et ce mémoire en formulant des possibles voies pour de futures recherches dans ce domaine.

1.1. Limites de la recherche

Les recherches que nous avons réalisées se sont essentiellement basées sur des analyses scientifiques effectuées sur les marchés boursiers américains. En effet, ces marchés ont pour particularité d'avoir intégré dans une plus grande proportion que les autres centres financiers mondiaux les algorithmes de trading dans l'exécution de transactions (Kissel, 2014). De plus, en termes de pourcentages, les marchés des actions utilisent plus aisément les algorithmes de trading que d'autres classes d'actifs financiers⁴⁰ (Aïte Group, 2012). Même si nous nous référons à plusieurs recherches qui ont trait à diverses classes d'actifs, comme par exemple l'étude de Chaboud et al. (2014) par rapport aux marchés de change, nous invitons le lecteur à garder un regard critique sur les résultats définis.

De plus, les résultats s'appuient sur l'étude de recherches financières écrites et entreprises par des chercheurs reconnus dans leur domaine. Il est possible, mais néanmoins peu probable, que des recherches similaires effectuées sur d'autres marchés ou durant des périodes de temps différentes de celles analysées viennent contredire ou mettre en doute les résultats obtenus. Nous en assumons l'entière responsabilité. Cependant, nous insistons sur le fait que de telles contradictions nous paraissent invraisemblables de par la qualité et les méthodologies des sources que nous avons utilisées.

⁴⁰ Voir annexe 7 pour une représentation graphique de ces faits.

1.2. Les résultats

Les résultats de l'analyse que nous avons menée se décomposent en deux parties. Tout d'abord, nous avons cherché la réponse à la première de nos deux sous-questions, à savoir en quoi la venue des algorithmes de trading peut être vue comme une nécessité. Ensuite, nous avons abordé le second angle de notre mémoire en essayant de voir pourquoi nous pouvons parler de (r)évolution en matière de trading.

Afin de comprendre les éléments qui ont mené à la nécessaire utilisation des algorithmes de trading au sein des salles de marchés, nous nous sommes penchés sur l'évolution qu'ont connue les marchés boursiers américains. Le NYSE, par exemple, a commencé à utiliser l'électronique à partir des années '70, avec des systèmes tels le DOT, et sa version améliorée le Super-DOT (Markham & Harty, 2008). Ces avancées ont permis de transmettre davantage d'ordres à une vitesse beaucoup plus rapide qu'auparavant (Schizer, 1992). L'électronique a engendré de nombreux changements, notamment en matière d'accès à l'information. Certaines firmes spécialisées ont développé des interfaces permettant aux investisseurs de prendre en compte les événements ayant un impact sur les marchés de façon plus efficace (Markham & Harty, 2008).

D'autres marchés financiers, tels que le Nasdaq, ont développé leurs propres systèmes de trading automatisés dès les années '80 (Stoll, 2006). Cela constituait une réelle alternative aux façons traditionnelles d'effectuer des transactions. Cependant, certains scandales par rapport aux régisseurs de marchés viennent ternir l'image des marchés les plus reconnus. La question se pose quant à la mise en place d'un éventail plus large de marchés pour effectuer des transactions. Ceci favorise grandement la prolifération des ECN dès les années '90. Ces ECN fonctionnent comme des marchés traditionnels, mais ont l'avantage de diminuer les coûts, le temps de transaction, offrent une plus grande part d'anonymat et améliorent l'accès aux informations des livres d'ordres (Hendershott T. , 2003).

De plus, une nouvelle vague de changements se produit dès l'année 2001. La SEC instaure alors le principe de décimalisation afin de réduire le pas entre les prix d'une action (Bessembinder, 2003). Ceci diminue les coûts de transactions, mais également la liquidité, ce qui constitue un élément négatif (Harris, 1994). En analysant de plus près les volumes traités

sur le S&P 500, nous constatons que ces volumes augmentent, mais que la taille de chaque ordre est plus restreinte (Crédit Suisse, 2011). Ceci signifie qu'il faut un nombre plus important de transactions pour passer un même ordre.

Les organisations censées réguler les marchés, comme la SEC, ont développé de nombreuses règles au fil des années afin d'encadrer la pratique du trading par voie électronique (SEC., 1998, 2003, 2005a, 2005b). Ces règles ont eu pour but de permettre l'accès à un plus grand nombre de participants, tout en limitant les pratiques discriminatoires.

La problématique peut alors être résumée en quelques points : diminuer les coûts de transactions, ainsi qu'améliorer la liquidité et l'exécution d'ordres. Ce sont principalement ces problèmes-là que nous avons analysés lors de la seconde partie de notre recherche, et plus précisément les liens qui pouvaient exister avec l'émergence des algorithmes de trading. Ces derniers se sont développés grâce à trois facteurs distincts : les marchés financiers devenant de plus en plus complexes, les avancées dans le domaine de la modélisation quantitative et enfin le développement en termes de performance des ordinateurs (Kirilenko & Lo, 2013).

Nous avons vu que les coûts pouvaient être divisés en coûts explicites, connus à l'avance, et les coûts implicites, qui ne sont pas perceptibles avant d'avoir effectué la transaction et qui doivent ainsi être estimés (Rath, 2004).

Au niveau des coûts explicites, les algorithmes de trading permettent dans certains cas de profiter du système de rabais instauré par les marchés. En traitant de façon très rapide, ils parviennent à générer du profit car ils créent de la liquidité et jouissent ainsi de la prime de rabais (Arnuk & Saluzzi, 2008). La taxe sur les transactions boursières que certains pays ont mise en place peut aisément être contournée grâce à l'utilisation d'algorithmes (Aït-Sahalia & Saglam, 2014). Ceux-ci se chargeront de rediriger les ordres vers d'autres marchés, des « dark pools » ou d'autres produits financiers. Enfin, les algorithmes de trading ont permis à leurs utilisateurs de réduire les frais de commissions devant être payés aux brokers. Les investisseurs les plus importants élaborent eux-mêmes leurs algorithmes d'exécution, rendant le travail des brokers superflu (Wile, 2014).

Les coûts implicites ont quant à eux été fortement restreints notamment grâce à la diminution des temps de latence découlant de l'utilisation d'algorithmes de trading (Stoikov & Waeber,

2016). Ces délais sont aujourd'hui réduits à quelques millisecondes (Harris, 2015). Angel et al. (2011) démontrent que la compétition entre les algorithmes et les dealers, ainsi que les algorithmes entre eux, a contribué à minimiser les spreads. En utilisant des algorithmes de trading, il est également possible de réduire le coût d'opportunité, résultant de la non-exécution d'un ordre (Scholtus et al., 2014). Les systèmes les plus rapides permettront d'ajuster les positions des investisseurs à la suite de nouvelles informations, et de ce fait d'éviter des pertes de profits futurs. De même, il est possible de concevoir des algorithmes diminuant l'impact des transactions sur le marché (Gatheral & Schied, 2013). L'impact sur le marché étant un coût pour l'investisseur, les algorithmes de trading permettent de réguler ce dernier. Enfin, ces méthodes permettent de réduire les temps s'écoulant entre l'envoi d'un ordre et son exécution en tenant compte de trois facteurs : la volatilité, le paramètre représentant l'erreur d'estimation et la liquidité (Kissel, 2014).

L'étude de l'amélioration de la liquidité se fait suivant les recherches effectuées par Hendershott et al. (2011) à ce sujet. Ils utilisent comme données l'envoi de messages électroniques sur le NYSE, provenant d'acteurs financiers utilisant des algorithmes de trading. Lors de la période étudiée, l'augmentation de l'utilisation d'algorithmes de trading va de pair avec l'amélioration de la liquidité. Ils parviennent à justifier que les algorithmes sont effectivement responsables de cette amélioration, qui est d'autant plus prononcée pour les sociétés à forte capitalisation boursière.

Par ailleurs, les algorithmes de trading permettent une meilleure exécution des ordres. En analysant les conditions du marché, ces systèmes parviendront à prendre les décisions adéquates suivant les stratégies délimitées par l'investisseur (Yang & Jiu, 2006). Ils peuvent décider de diminuer l'impact sur le marché en divisant un grand ordre en de plus petites transactions. Ils permettent également de cacher tout ou une partie de l'ordre. Les ordres peuvent être rattachés à d'autres, et les algorithmes s'occuperont de modifier automatiquement les positions. Enfin, un algorithme de trading est capable de déterminer le marché adéquat vers lequel envoyer un ordre.

Les inconvénients liés aux algorithmes de trading ne doivent cependant pas être mis de côté. Ainsi, nous avons constaté qu'un investisseur aura tendance à se référer aux algorithmes qu'il

connaît, laissant pour compte d'autres algorithmes qui auraient été plus adéquats. Etant donné qu'ils sont conçus uniquement pour ce que l'utilisateur leur demande de faire, en cas de changements de conditions de marché il se peut qu'un algorithme ne soit plus efficace. Enfin, cela demande un certain temps de rechercher et de tenir à jour les performances de ses algorithmes (Kissel, 2014).

En outre, les coûts liés à la réduction du temps de latence sont prohibitifs. La volonté de certains acteurs de marché à rechercher en permanence une vitesse d'exécution plus rapide peut mener à des conséquences non désirées. Nous avons analysé pour cela deux événements découlant de mauvaises gestions de la part d'algorithmes de trading : l'erreur liée au faux tweet du groupe « Associated Press » le 23 avril 2013 et le flash crash du 6 mai 2010. Dans les deux cas, les algorithmes ont engendré une période de volatilité extrême sur les marchés, nuisant à la qualité et à l'efficacité de ceux-ci (Kirilenko et al., 2011).

1.3. Critique

En qualité d'étudiant à la Louvain School of Management, université ayant pour crédo « Excellence & Ethics in Business », nous nous devons de porter un regard critique sur les résultats évoqués ci-dessus.

D'une part, le trading algorithmique améliore la qualité et l'efficacité des marchés financiers en réduisant les coûts de transactions, en augmentant la liquidité et en exécutant les ordres de la meilleure façon possible. D'un autre côté, ils permettent à des acteurs de marchés de profiter du système. Nous pensons notamment aux méthodes pour contourner les taxes ou les stratégies de THF qui, d'un point de vue éthique, sont discutables. Ce besoin toujours plus fort d'effectuer les transactions de façon extrêmement rapide peut mener à des conséquences non désirées. Si nous pensons à certains chefs d'états utilisant les réseaux sociaux et les conséquences désastreuses que cela pourrait avoir sur les marchés financiers, nous pouvons mettre en doute les pratiques visant à diminuer sans cesse la vitesse d'exécution. Il nous paraît primordial que le trading algorithmique, et en particulier le THF, soit régulé par les organismes qui en ont le pouvoir.

Même si des lois au niveau mondial ne sont pour le moment pas envisagées, la SEC a récemment voté un texte ayant pour but d'encadrer plus sévèrement les dérives liées aux algorithmes de trading (McCracken, 2016). De plus, l'entrée en vigueur en janvier 2018 de MiFID II et MiFIR en Europe améliorera la transparence par rapport aux pratiques douteuses, essentiellement en matière de THF (Papaevangelou, Vezmar, & Salabert, 2016). Enfin, de récentes études démontrent que les revenus générés par le THF sont en déclin, dû à la compétition incessante entre les acteurs ainsi que les coûts d'implémentation des systèmes censés gagner quelques millisecondes (Kaya, 2016).

Grâce aux avancées en matière de régulation et à la volonté des états de mettre en avant la transparence au sein des marchés financiers, nous pensons que l'utilisation du trading algorithmique continuera à contribuer positivement à la qualité et à l'efficacité des marchés. Il doit ainsi être encouragé.

1.4. Recherches futures

Ce mémoire a permis de poser de bonnes bases pour toute personne souhaitant effectuer des recherches plus approfondies à propos du trading algorithmique. Les algorithmes se sont révélés être une évolution logique à la suite de l'arrivée de l'électronique au sein de marchés financiers. Mais nous pensons néanmoins que les changements ne vont pas s'arrêter là. Récemment, le Financial Times a publié un article à propos du développement des systèmes d'intelligence artificielle au sein des salles de marchés (Noonan, 2017).

La banque d'investissements JP Morgan a ainsi mis au point une intelligence artificielle, baptisée LOXM, afin d'exécuter les ordres sur les marchés d'actions. L'intérêt de ce nouveau système provient du fait qu'il puisse ajuster sa façon de traiter en apprenant des milliards de transactions ayant eu lieu. Alors que de telles prouesses nécessitaient l'intervention humaine auparavant, l'intelligence artificielle permet d'opérer sur une base de données beaucoup plus grande et agit de façon plus efficace. JP Morgan affirme que cette méthode permet de mieux exécuter les transactions et de réduire les coûts. Il est également possible de configurer le système afin qu'il procède selon les comportements de son utilisateur (Noonan, 2017).

Nous ne serions donc pas étonnés que dans les prochaines années, un mémorant choisisse pour titre : « L'intelligence artificielle dans le domaine du trading, une nécessaire (r)évolution ? ».

Bibliographie

- Aïte Group. (2012). *Resources: Institutional Securities and Investment*. Récupéré sur Aïte Group : <http://aitegroup.com/resources/industry-snapshots>
- Aït-Sahalia, Y., & Saglam, M. (2014). *High frequency traders: Taking advantage of speed*. National Bureau of Economic Research: Working Paper.
- Aldridge, I. (2013). *High Frequency Trading: A practical guide to algorithmic strategies and trading systems*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Allen, F., & Karjalainen, R. (1999). Using genetic algorithms to find technical trading rules. *Journal of financial Economics*, 51(2), pp. 245-271.
- Angel, J., Harris, L., & Spatt, C. S. (2011). Equity trading in the 21st century. *The Quarterly Journal of Finance*, 1(1), pp. 1-53.
- Arnuk, S. L., & Saluzzi, J. (2008). *Toxic equity trading order flow on wall street*. Récupéré sur Themis Trading LLC: http://www.trader-inside.de/files/toxic_equity_trading_on_wall_street_12_17_08_843.pdf
- Atkins, A. B., & Dyl, E. A. (1997). Market structure and reported trading volume: NASDAQ versus the NYSE. *The Journal of Financial Research*, 20(3), pp. 291-304.
- Back, K., & Baruch, S. (2007). Working Orders in Limit Order Markets and Floor Exchanges. *The Journal of Finance*, 62(4), pp. 1589-1621.
- Balch, T. (2012). *The High Frequency Trading Arms Race is a Problem But Taxing isn't the Solution*. Récupéré sur The Augmented Trader: <https://augmentedtrader.com/2012/08/11/discrete-time-markets-one-way-to-derail-the-high-frequency-trading-arms-race/>
- Bansal, V. K., & Somani, A. (2002). Exchange Traded Funds: Challenge to traditional mutual funds. *Review of Business*, 23(3), pp. 40-43.
- Barclay, M. J., Christie, W. G., Harris, J. H., Kandel, E., & Schultz, P. H. (1999). Effects of market reform on the trading costs and depths of Nasdaq stocks. *The Journal of Finance*, 54(1), pp. 1-34.
- Barclay, M. J., Hendershott, T., & McCormick, D. T. (2003). Competition among trading venues: Information and trading on electronic communications networks. *The Journal of Finance*, 58(6), pp. 2637-2665.
- Berkman, H. (1993). The market spread, limit orders, and options. *Journal of Financial Services Research*, 6(4), pp. 399-415.
- Berkowitz, S., Logue, D., & Noser, E. (1988). The total cost of transactions on the NYSE. *The Journal of Finance*, 43(1), pp. 97-112.
- Bessembinder, H. (2003). Trade Execution Costs and Market Quality after Decimalization. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 38(4), pp. 747-777.
- Bessembinder, H., Hao, J., & Zheng, K. (2015). Market making contracts, firm value, and the IPO decision. *Journal of finance*, 70(5), pp. 1997-2028.

- Bessembinder, H., Panayides, M., & Venkataraman, K. (2009). Hidden liquidity: an analysis of order exposure strategies in electronic stock markets. *Journal of Financial Economics*, 94(3), pp. 361-383.
- Bialkowski, J., Darolles, S., & Le Fol, G. (2008). Improving VWAP strategies: A dynamic volume approach. *Journal of Banking & Finance*, 32(9), pp. 1709-1722.
- Black, F. (1971). Toward a fully automated stock exchange, part I. *Financial Analysts Journal*, 27(4), pp. 28-35.
- Bodie, Z., Kane, A., & Marcus, A. (2013). *Investments*. New-York: McGraw-Hill Education.
- Bogle, J. C. (2016). David and Goliath: Who Wins the Quantitative Battle? *Journal of Portfolio Management*, 43(1), pp. 127-137.
- Bollen, J., Mao, H., & Zeng, X. (2011). Twitter mood predicts the stock market. *Journal of computational science*, 2(1), pp. 1-8.
- Borch, C. (2016). High-frequency trading, algorithmic finance and the Flash Crash: reflections on eventalization. *Economy and Society*, 45(4), pp. 350-378.
- Boulatov, A., & George, T. J. (2013). Hidden and displayed liquidity in securities markets with informed liquidity providers. *The Review of Financial Studies*, 26(8), pp. 2096-2137.
- Brav, A., Jiang, W., & Kim, H. (2015). The Real Effects of Hedge Fund Activism: Productivity, Asset Allocation, and Labor Outcomes. *The Review of Financial Studies*, 28(10), pp. 2723-2769.
- Brogaard, J. (2010). *High frequency trading and its impact on market quality*. Northwestern University Kellogg School of Management : Working Paper.
- Brown, D. P. (1996). Why do we need stock brokers? *Financial Analysts Journal*, 52(2), pp. 21-30.
- Brunnermeier, M. K., & Pedersen, L. H. (2005). Predatory trading. *The Journal of Finance*, 60(4), pp. 1825-1863.
- Budish, E., Cramton, P., & Shim, J. (2014). Implementation details for frequent batch auctions: Slowing down markets to the blink of an eye. *The American Economic Review*, 104(5), pp. 418-424.
- Byrnes, N. (2017). *As Goldman Embraces Automation, Even the Masters of the Universe Are Threatened*. Récupéré sur MIT Technology Review: https://www.technologyreview.com/s/603431/as-goldman-embraces-automation-even-the-masters-of-the-universe-are-threatened/?set=603585&mc_cid=e96bfbd943&mc_eid=6cd726ff88
- Campbell, J. Y., & Froot, K. A. (1994). International experiences with securities transaction taxes. Dans J. A. Frankel, *The Internationalization of Equity Markets* (pp. 277-308). Chicago: University of Chicago Press.
- Capelle-Blancard, G., & Havrylchuk, O. (2016). The impact of the French securities transaction tax on market liquidity and volatility. *International Review of Financial Analysis*, 47, pp. 166-178.

- Cappelletti, G., Guazzarotti, G., & Tommasino, P. (2017). *The stock market effects of a securities transaction tax: quasi-experimental evidence from Italy*. ECB working paper No. 1949.
- Cappon, A. (2014). *The Brokerage World Is Changing, Who Will Survive?* Récupéré sur Forbes: <https://www.forbes.com/sites/advisor/2014/04/16/the-brokerage-world-is-changing-who-will-survive/#4c0ef73168a7>
- Carlson, B. (2017). *Think Global to Avoid Shrinking U.S. Stock Market*. Récupéré sur Bloomberg View: <https://www.bloomberg.com/view/articles/2017-03-17/think-global-to-avoid-shrinking-u-s-stock-market>
- Cartea, A., & Jaimungal, S. (2015). Optimal execution with limit and market orders. *Quantitative Finance*, 15(8), pp. 1279-1291.
- Cartea, A., Jaimungal, S., & Penalva, J. (2015). *Algorithmic and High-Frequency Trading*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Chaboud, A. P., Chiquoine, B., Hjalmarsson, E., & Vega, C. (2014). Rise of the machines: Algorithmic trading in the foreign exchange market. *The Journal of Finance*, 69(5), pp. 2045-2084.
- Chakravarty, S., Jain, P., Upson, J., & Wood, R. (2012). Clean sweep: Informed trading through intermarket sweep orders. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 47(2), pp. 415-435.
- Chang, M. T. (2005). Floor versus screen trading: distinctions for practitioners. *Corporate Finance Review*, 9(6), pp. 5-18.
- Chang, M. T. (2009). There is something about pairs trading. *Corporate Finance Review*, 13(5), pp. 27-35.
- Chin, W. M., Chong, S. L., & Walkowicz, T. (2016). *Trading Commissions: Rising Above the "Race to Zero"*. Accenture Research.
- Chordia, T., Roll, R., & Subrahmanyam, A. (2001). Market liquidity and trading activity. *The Journal of Finance*, 56(2), pp. 501-530.
- Christie, W. G., & Schultz, P. H. (1994). Why do NASDAQ Market Makers Avoid Odd-Eighth Quotes? *The Journal of Finance*, 49(5), pp. 1813-1840.
- Chung, K. H., & Chuwonganant, C. (2009). Transparency and market quality: Evidence from SuperMontage. *Journal of Financial Intermediation*, 18(1), pp. 93-111.
- Chung, K. H., & Van Ness, R. A. (2001). Order handling rules, tick size, and the intraday pattern of bid-ask spreads for Nasdaq stocks. *Journal of Financial Markets*, 4(2), pp. 143-161.
- Chung, K. H., Chuwonganant, C., & McCormick, D. T. (2004). Order preferencing and market quality on NASDAQ before and after decimalization. *Journal of Financial Economics*, 71(3), pp. 581-612.
- Colliard, J.-E., & Foucault, T. (2012). Trading fees and efficiency in limit order markets. *Review of financial studies*, pp. 3389-3421.
- Comerton-Forde, C., & Putnins, T. J. (2015). Dark trading and price discovery. *Journal of Financial Economics*, 118(1), pp. 70-92.

- Cornell, B., & Hsu, J. (2016). The self-fulfilling prophecy of popular asset-pricing models. *Journal Of Investment Management*, 14(1), pp. 65-74.
- Crédit Suisse. (2011). *Global Equity Markets Handbook: Crédit Suisse Advanced Execution Services Analysis*. Zurich: Crédit Suisse.
- De Winne, R., & D'hondt, C. (2007). Hide-and-Seek in the Market: Placing and Detecting Hidden Orders. *Review of Finance*, 11(4), pp. 663-692.
- Demsetz, H. (1968). The cost of transacting. *The quarterly journal of economics*, 82(1), pp. 33-53.
- Desjardins, J. (2016). *All of the World's Stock Exchanges by Size*. Récupéré sur Visual Capitalist: <http://money.visualcapitalist.com/all-of-the-worlds-stock-exchanges-by-size/>
- Desjardins, J. (2017). *What is the Difference Between the NYSE and Nasdaq?* Récupéré sur Visual Capitalist: <http://www.visualcapitalist.com/difference-nyse-nasdaq/>
- Dimson, E., Marsh, P., & Staunton, M. (2017). *Credit Suisse Global Investment Returns Yearbook 2017*. Zurich: Credit Suisse Research Institute.
- Domowitz, I., & Lee, R. (2001). On the road to reg ATS: A critical history of the regulation of automated trading systems. *International Finance*, 4(2), pp. 279-302.
- Domowitz, I., & Steil, B. (1999). Automation, trading costs, and the structure of the securities trading industry. *Brookings-Wharton papers on financial services*, 2, pp. 33-92.
- Domowitz, I., & Yegerman, H. (2006). The Cost of Algorithmic Trading: A First Look at Comparative Performance. *The Journal of Trading*, 1(1), pp. 33-42.
- Dufour, A., & Engle, R. F. (2000). Time and the price impact of a trade. *The Journal of Finance*, 55(6), pp. 2467-2498.
- Escobar, M., Mahlstedt, M., Panz, S., & Zagst, R. (2017). Vulnerable Exotic Derivatives. *Journal of Derivatives*, 24(3), pp. 84-102.
- Euronext. (2017). *Trading fee guide for cash market members*. Récupéré sur Euronext: <https://www.euronext.com/fr/trading-fees-charges>
- European Commission. (2017). *Taxation of the financial sector*. Récupéré sur European Commission: Taxation and Custom Unions: http://ec.europa.eu/taxation_customs/taxation-financial-sector_en
- Fisher, M. (2013). *Syrian hackers claim AP hack that tipped stock market by \$136 billion. Is it terrorism?* Récupéré sur The Washington Post: https://www.washingtonpost.com/news/worldviews/wp/2013/04/23/syrian-hackers-claim-ap-hack-that-tipped-stock-market-by-136-billion-is-it-terrorism/?utm_term=.9aefebf2e90d
- Frei, C., & Westray, N. (2015). Optimal execution of a VWAP order: a stochastic control approach. *Mathematical Finance*, 25(3), pp. 612-639.
- Garvey, R., Huang, T., & Wu, F. (2016). Why do traders choose dark markets? *Journal of Banking & Finance*, pp. 12-28.

- Gatheral, J., & Schied, A. (2013). Dynamical models of market impact and algorithms for order execution. Dans J.-P. Fouque, & J. A. Langsam, *Handbook on Systemic Risk* (pp. 579-599). Cambridge: Cambridge University Press.
- Goldstein, M. A., Irvine, P., Kandel, E., & Wiener, Z. (2009). Brokerage Commissions and Institutional Trading Patterns. *The Review of Financial Studies*, 22(12), pp. 5175-5212.
- Goldstein, M. A., Kumar, P., & Graves, F. C. (2014). Computerized and High-Frequency Trading. *Financial Review*, 49(2), pp. 177-202.
- Goldstein, M. A., Shkilko, A. V., Van Ness, B. F., & Van Ness, R. A. (2008). Competition in the market for NASDAQ securities. *Journal of Financial Markets*, 11(2), pp. 113-143.
- Gould, M. D., Porter, M. A., Williams, S., McDonald, M., Fenn, D. J., & Howison, S. D. (2013). Limit order books. *Quantitative Finance*, 13(11), pp. 1709-1751.
- Goya, C. (2017). *Goldman Sachs a remplacé 600 traders par 200 ingénieurs en 16 ans*. Récupéré sur Business Insider France: <http://www.businessinsider.fr/goldman-sachs-a-remplace-600-traders-par-200-ingenieurs-en-16-ans/>
- Gregoriou, G. N. (2010). *The Handbook of Trading: Strategies for navigating and profiting from currency, bond and stock markets*. New York: McGraw-Hill.
- Gsell, M. (2008). *Assessing the Impact of Algorithmic Trading on Markets: A Simulation Approach*. Social Science Research Network: Working Paper.
- Habermeier, K., & Kirilenko, A. A. (2003). Securities transaction taxes and financial markets. *IMF Staff Papers*, 50(1), pp. 165-180.
- Handa, P., & Schwartz, R. A. (1996). Limit order trading. *The Journal of Finance*, 51(5), pp. 1835-1861.
- Harris, L. (1994). Minimum Price Variations, Discrete Bid-Ask Spreads, and Quotation Sizes. *Review of Financial Studies*, 7, pp. 149-178.
- Harris, L. (2002). *Trading and exchanges: Market microstructure for practitioners*. New York: Oxford University Press.
- Harris, L. (2015). *Trading and Electronic Markets: What Investment Professionals Need To Know*. Charlottesville: CFA Institute Research Foundation.
- Harvey, C. R. (2017). *Nasdaq Investing Glossary*. Récupéré sur Nasdaq: <http://www.nasdaq.com/investing/glossary/d/dealer>
- Hasbrouck, J., & Saar, G. (2002). *Limit orders and volatility in a hybrid market: The Island ECN*. New York University: Working Paper.
- Hasbrouck, J., & Saar, G. (2013). Low-latency trading. *Journal of Financial Markets*, 16(4), pp. 646-679.
- Hasbrouck, J., Sofianos, G., & Sosebee, D. (1993). New York Stock Exchange systems and trading procedures. *Director*, 212(998), pp. 91-101.
- Hazen, T. (2017). *Broker-Dealer regulation in a nutshell*. St. Paul: West Academic.

- Hendershott, T. (2003). Electronic trading in financial markets. *IT Professional Magazine*, 5(4), pp. 10-14.
- Hendershott, T., & Riordan, R. (2013). Algorithmic trading and the market for liquidity. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 48(4), pp. 1001-1024.
- Hendershott, T., Jones, C. M., & Menkveld, A. J. (2011). Does algorithmic trading improve liquidity? *The Journal of Finance*, 66(1), pp. 1-33.
- Huang, R., & Stoll, H. (1996). Dealer versus auction markets: A paired comparison of execution costs on NASDAQ and the NYSE. *Journal of Financial Economics*, 43(3), pp. 313-357.
- Johnson, B. (2010). *Algorithmic Trading & DMA: An introduction to direct access trading strategies*. London: 4Myeloma Press.
- Johnson, R. (2017). *New rules are going to fundamentally change the business models of brokers*. Récupéré sur Business Insider: <http://www.businessinsider.com/looming-regulations-will-change-business-models-of-financial-managers-2017-4>
- Jones, C. (2013). *What do we know about high-frequency trading?* Columbia University: Working Paper.
- Jones, C., & Lipson, M. (2001). Sixteenths: Direct Evidence on Institutional Trading Costs. *Journal of Financial Economics*, 59, pp. 253-278.
- Kacperczyk, M., Sialm, C., & Zheng, L. (2005). On the industry concentration of actively managed equity mutual funds. *Journal of finance*, 60(4), pp. 1983-2011.
- Kandel, E., & Marx, L. M. (1997). Nasdaq market structure and spread patterns. *Journal of Financial Economics*, 45(1), pp. 61-89.
- Karmel, R. S. (2001). Turning Seats into Shares: Causes and Implications of Demutualization of Stock and Futures Exchanges. *Hastings Law Journal*, 53(2), pp. 367-430.
- Kaya, O. (2016). *High-frequency trading reaching the limits*. Récupéré sur Deutsche Bank: Research Briefing Global financial markets: https://www.dbresearch.com/PROD/DBR_INTERNET_EN-PROD/PROD000000000406105/High-frequency_trading%3A_Reaching_the_limits.pdf
- Keynes, J. M. (1930). *Treatise on Money*. London: Macmillan.
- Kim, K. (2010). *Electronic and Algorithmic Trading Technology: The Complete Guide*. London: Academic Press.
- Kirilenko, A. A., & Lo, A. W. (2013). Moore's law versus murphy's law: Algorithmic trading and its discontents. *The Journal of Economic Perspectives*, 27(2), pp. 51-72.
- Kirilenko, A. A., Kyle, A. S., Samadi, M., & Tuzun, T. (2011). *The flash crash: The impact of high frequency trading on an electronic market*. CFTC and University of Maryland: Working Paper.
- Kissel, R. (2014). *The Science of Algorithmic Trading and Portfolio Management*. Oxford: Academic Press.
- Konishi, H. (2002). Optimal slice of a VWAP trade. *Journal of Financial Markets*, 5(2), pp. 197-221.

- Kritzman, M., Myrgren, S., & Page, S. (2006). Implementation Shortfall. *Journal of Portfolio Management*, 33(1), pp. 25-30.
- Kumiega, A., & Van Vliet, B. E. (2012). Automated finance: The assumptions and behavioral aspects of algorithmic trading. *Journal of Behavioral Finance*, 13(1), pp. 51-55.
- Kyle, A. S. (1985). Continuous auctions and insider trading. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 53(6), pp. 1315-1335.
- Larousse. (2017a). *Dictionnaire de français: Algorithme*. Récupéré sur Larousse: <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/algorithme/2238?q=algorithme>
- Larousse. (2017b). *Dictionnaire de français: Taxe*. Récupéré sur Larousse: <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/taxe/76882>
- Laughlin, G., Aguirre, A., & Grundfest, J. (2014). Information transmission between financial markets in Chicago and New York. *Financial Review*, 49(2), pp. 283-312.
- Les Echos. (2017). *Lexique Financier: SEC*. Récupéré sur Les Echos: https://www.lesechos.fr/finance-marches/vernimmen/definition_sec.html
- Lhuillery, S. (2014). Marketing and persistent innovation success. *Economics of innovation and new technology*, 23(5), pp. 517-543.
- Lindsey, R., Byrne, J. A., & Schwartz, R. A. (2016). The SEC's Order Handling Rules of 1997 and Beyond: Perspective and Outcomes of the Landmark Regulation. *The Journal of Portfolio Management*, 42(3), pp. 56-64.
- Mack, C. A. (2011). Fifty years of Moore's law. *IEEE Transactions on semiconductor manufacturing*, 24(2), pp. 202-207.
- Madhavan, A. (2012). Exchange-traded funds, market structure, and the flash crash. *Financial Analysts Journal*, 68(4), pp. 20-35.
- Madura, J. (2010). *Financial Markets and Institutions*. Mason: South-Western.
- Markham, J. W., & Harty, D. J. (2008). For Whom the Bell Tolls: The Demise of Exchange Trading Floors and the Growth of ECNs. *Journal of Corporation Law*, 33(4), pp. 865-939.
- Matthews, C. (2013). *How Does One Fake Tweet Cause a Stock Market Crash?* Récupéré sur Time: <http://business.time.com/2013/04/24/how-does-one-fake-tweet-cause-a-stock-market-crash/>
- Mayers, D. (1998). Why firms issue convertible bonds: the matching of financial and real investment options. *Journal of Financial Economics*, 47(1), pp. 83-102.
- McAndrews, J., & Stefanadis, C. (2000). The emergence of Electronic Communications Networks in the US equity markets. *Current Issues in Economics and Finance*, 6(12), pp. 1-6.
- McCracken, K. W. (2016). *SEC approves FINRA rule requiring registration of algorithmic trading developers*. Récupéré sur Bloomberg: <https://www.bloomberg.com/professional/blog/sec-approves-finra-rule-requiring-registration-of-algorithmic-trading-developers/>

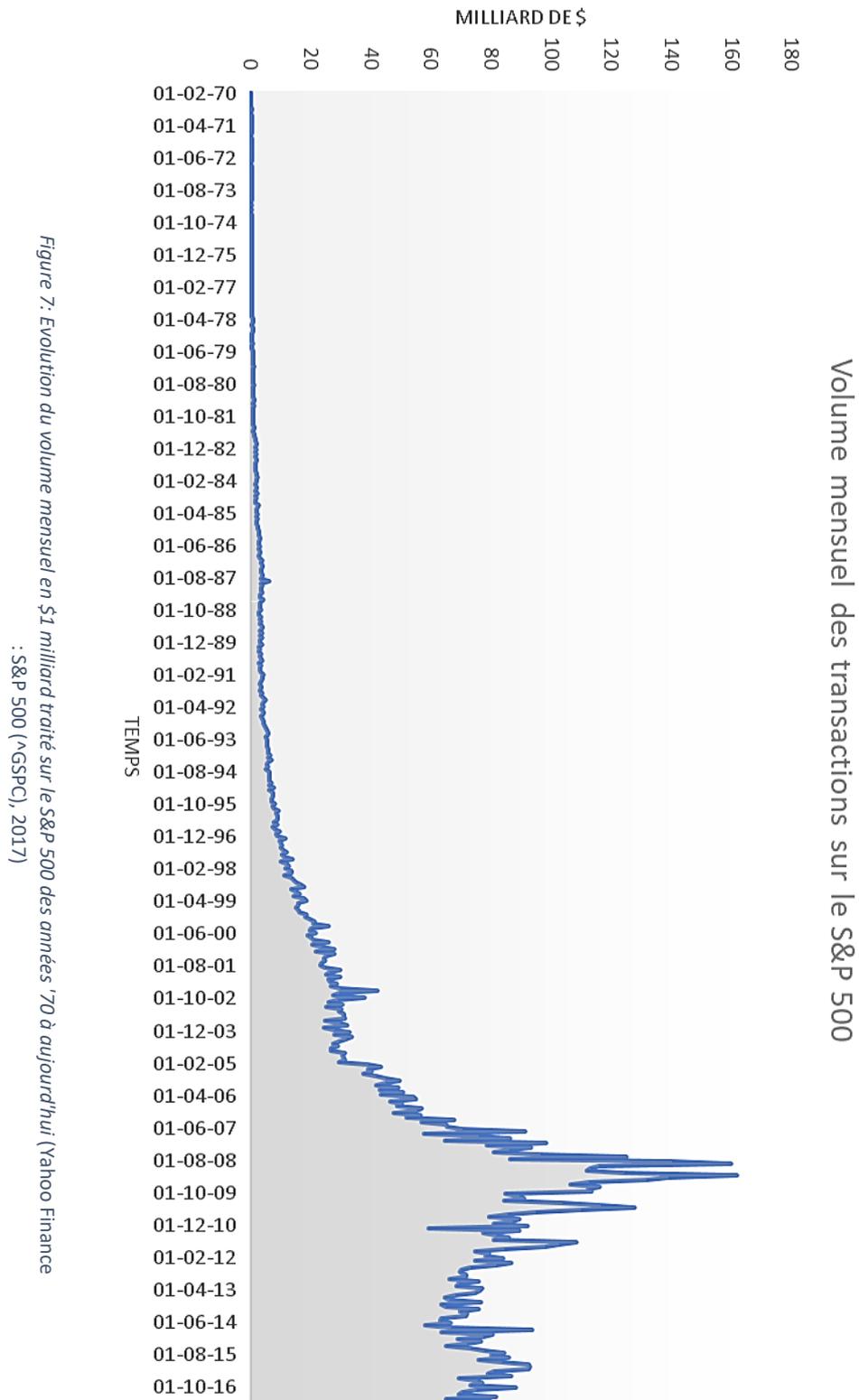
- Menkveld, A. J., & Yueshen, B. Z. (2017). *The flash crash: A cautionary tale about highly fragmented markets*. Working Paper.
- Michayluk, D., & Prather, L. (2008). A Liquidity Motivated Algorithm for Discerning Trade Direction. *Multinational Finance Journal*, 12(2), pp. 45-66.
- Moore, H., & Roberts, D. (2013). *AP Twitter hack causes panic on Wall Street and sends Dow plunging*. Récupéré sur The Guardian: <https://www.theguardian.com/business/2013/apr/23/ap-tweet-hack-wall-street-freefall>
- Nasdaq. (2017). *Price List - Trading Connectivity: Add and Remove Rates*. Récupéré sur NasdaqTrader: <https://www.nasdaqtrader.com/Trader.aspx?id=PriceListTrading2>
- Noonan, L. (2017). *JPMorgan develops robot to execute trades*. Récupéré sur Financial Times: https://www.ft.com/content/16b8ffb6-7161-11e7-aca6-c6bd07df1a3c?lipi=urn%3Ali%3Apage%3Ad_flagship3_feed%3BvG3RSDKcSi2bbEPaMoPvUA%3D%3D
- Nuti, G., Mirghaemi, M., Treleaven, P., & Yingsaeree, C. (2011). Algorithmic trading. *Computer*, 44(11), pp. 61-69.
- O'Hara, M. (2015). High frequency market microstructure. *Journal of Financial Economics*, 116(2), pp. 257-270.
- O'Hara, M. (2014). High-Frequency Trading and Its Impact on Markets. *Financial Analysts Journal*, 70(3), pp. 18-27.
- O'Hara, M., & Ye, M. (2011). Is market fragmentation harming market quality? *Journal of Financial Economics*, 100(3), pp. 459-474.
- Othman, A., Pennock, D. M., Reeves, D. M., & Sandholm, T. (2013). A Practical Liquidity-Sensitive Automated Market Maker. *ACM Transactions on Economics and Computation*, 1(3), pp. 1-25.
- Pagano, M. (1989). Trading volume and asset liquidity. *The Quarterly Journal of Economics*, 104(2), pp. 255-274.
- Papaevangelou, V., Vezmar, A., & Salabert, S. (2016). *MiFID II: un défi majeur pour les banques*. Récupéré sur KPMG: <https://home.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2016/07/fr-kpmg-advisory-bank-MIFID-II.pdf>
- Pardo, A., & Pascual, R. (2012). On the hidden side of liquidity. *The European Journal of Finance*, 18(10), pp. 949-967.
- Persaud, A. (2003). Liquidity black hole. Dans A. Persaud, *Liquidity Black Holes: Understanding, Quantifying and Managing Financial Liquidity Risk, Vol. 1*. (pp. 85-104). Londres: Haymarket House.
- Preece, R., & Rosov, S. (2014). Dark Trading and Equity Market Quality. *Financial Analysts Journal*, 70(6), pp. 33-48.
- Rinaldo, A. (2004). Order aggressiveness in limit order book markets. *Journal of Financial Markets*, 7(1), pp. 53-74.

- Rath, S. (2004). The hidden costs of trade execution. *JASSA*, 4, pp. 35-37.
- Rose, C. (2010). Dark Pools And Flash Orders: The Secret World Of Automated High-Frequency Trading. *Journal of Business & Economics Research*, 8(8), pp. 11-16.
- Rosenbloom, C. (2011). *The Complete Trading Course: Price Patterns, Strategies, Setups, and Execution Tactics*. Hoboken: John Wileys & Sons.
- Schizer, D. M. (1992). Benign Restraint: The SEC's Regulation of Execution Systems. *The Yale Law Journal*, 101(7), pp. 1551-1575.
- Scholtus, M., Dijk, D. v., & Frijns, B. (2014). Speed, algorithmic trading, and market quality around macroeconomic news announcements. *ournal of Banking & Finance*, 38, pp. 89-105.
- Scott, R. H. (1997). Pegged exchange rate systems in Macau and Hong Kong. *Multinational Finance Journal*, 1(2), pp. 153-168.
- SEC. (1998). *Regulation of Exchanges and Alternative Trading Systems*. SEC Release No. 34-39884.
- SEC. (2003). *Self-Regulatory Organizations; Order Approving a Proposed Rule Change and Amendment Nos. 1 and 2 Thereto by the New York Stock Exchange, Inc. Regarding the Dissemination of Liquidity Quotations*. Récupéré sur U.S. Securities and Exchange Commission: <https://www.sec.gov/rules/sro/34-47614.htm>
- SEC. (2005a). *Regulation NMS*. Récupéré sur U.S. Securities and Exchange Commission: <https://www.sec.gov/rules/final/34-51808.pdf>
- SEC. (2005b). *ECNs/Alternative Trading Systems*. Récupéré sur U.S. Securities and Exchange Commission: <https://www.sec.gov/divisions/marketreg/mrecn.shtml>
- SEC. (2010). *Findings regarding the market events of may 6, 2010*. Récupéré sur U.S. Securities and Exchange Commission: <https://www.sec.gov/news/studies/2010/marketevents-report.pdf>
- Sethi, R., & Vaughan, J. W. (2016). Belief Aggregation with Automated Market Makers. *Computational economics*, 48(1), pp. 155-178.
- Shelton, A. (2017). The value of stop-loss, stop-gain strategies in dynamic asset allocation. *Journal of Asset Management*, 18(2), pp. 124-143.
- Simaan, Y., Weaver, D. G., & Whitcomb, D. K. (2003). Market maker quotation behavior and pretrade transparency. *The Journal of Finance*, 58(3), pp. 1247-1267.
- Song, F., & Thakor, A. V. (2010). Financial system architecture and the co-evolution of banks and capital markets. *Economic journal*, 120(547), pp. 1021-1055.
- Stoikov, S., & Waeber, R. (2016). Reducing transaction costs with low-latency trading algorithms. *Quantitative Finance*, 16(9), pp. 1445-1451.
- Stoll, H. R. (2006). Electronic Trading in Stock Markets. *The Journal of Economic Perspectives*, 20(1), pp. 153-174.
- Tanase, A.-E., & Calota, T.-O. (2014). Types of Shares. *Romanian Economic and Business Review*, 9(1), pp. 7-20.

- Thompson, G. F. (2017). Time, trading and algorithms in financial sector security. *New Political Economy*, 22(1), pp. 1-11.
- Toke, I. M. (2015). The order book as a queueing system: average depth and influence of the size of limit orders. *Quantitative Finance*, 15(5), pp. 795-808.
- Treleaven, P., Galas, M., & Lalchand, V. (2013). Algorithmic trading review. *Communications of the ACM*, 56(11), pp. 76-85.
- Wile, R. (2014). *Back In The Day, Brokers Got Away With Murder In Trading Commissions*. Récupéré sur Business Insider: <http://www.businessinsider.com/historical-trading-commissions-2014-3>
- Yahoo Finance. (2017). *Yahoo Finance : S&P 500 (^GSPC)*. Récupéré sur Yahoo Finance: <https://finance.yahoo.com/quote/%5EGSPC/history?period1=169200&period2=1493589600&interval=1mo&filter=history&frequency=1mo>
- Yang, J., & Jiu, B. (2006). Algorithm selection: a quantitative approach. *Trading*, 2006(1), pp. 26-34.
- Ye, G. L. (2009). Exotic options: Boundary analyses. *Journal of Derivatives & Hedge Funds*, 15(2), pp. 149-157.

Annexes

Annexe 1 : Evolution du volume mensuel des transactions sur le S&P500



Annexe 2 : Marchés boursiers les plus importants

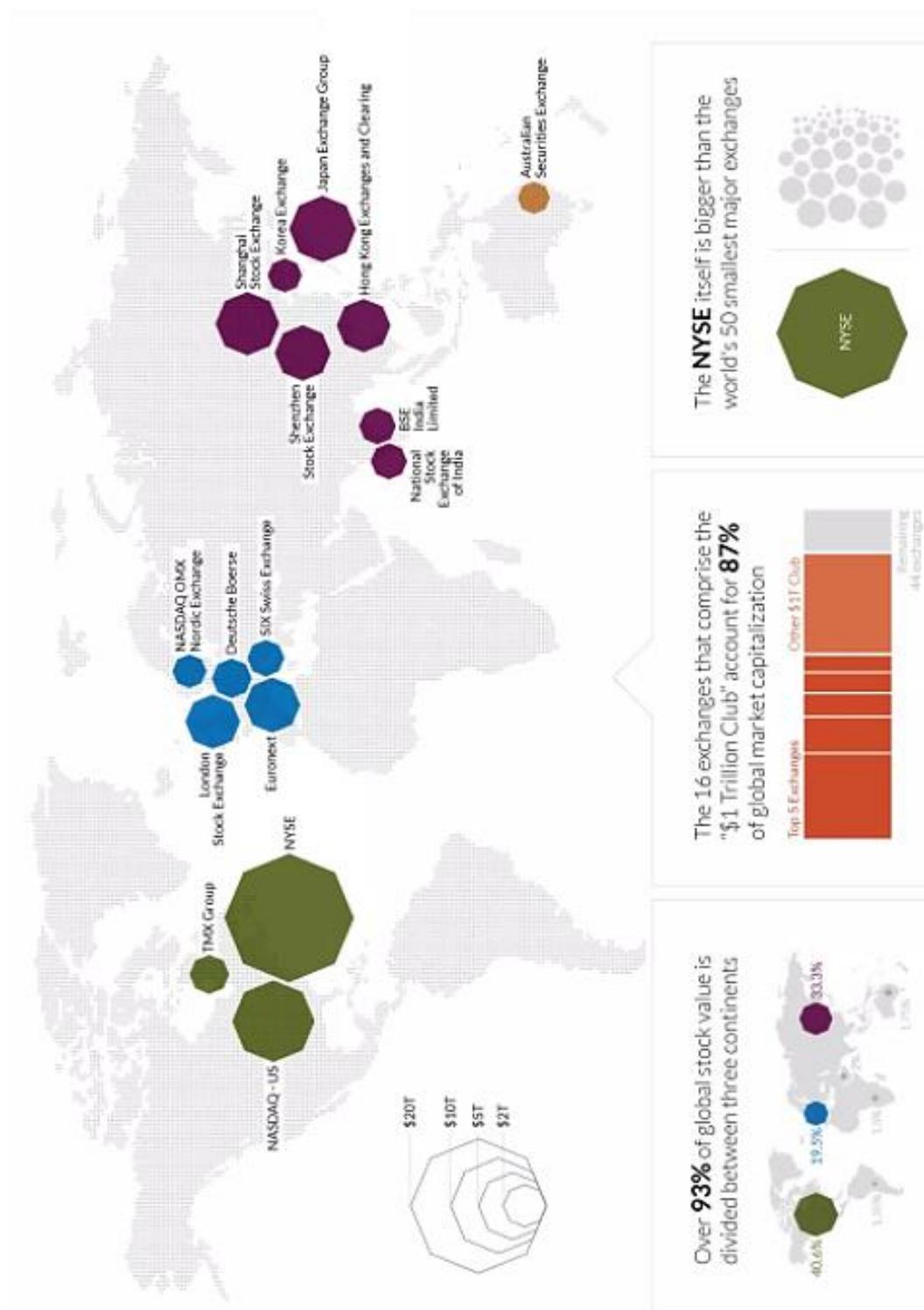


Figure 8: Marchés boursiers par taille, en \$1 trillion (Desjardins, 2016)

Annexe 3 : Taille des marchés boursiers par pays fin 2016

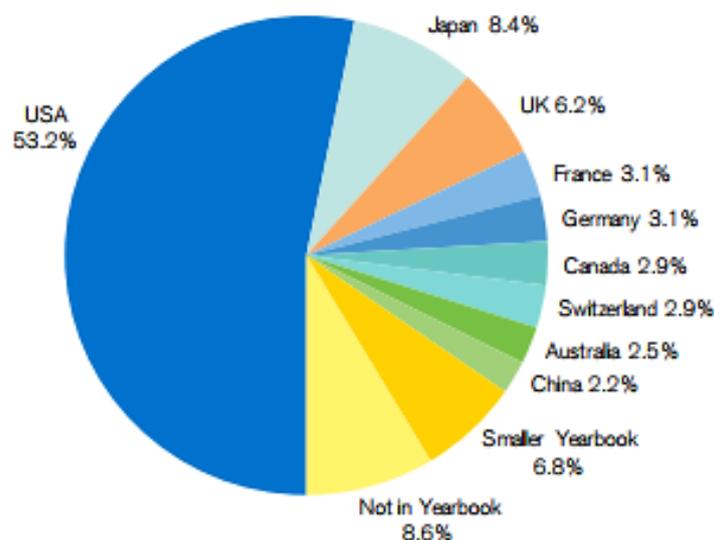


Figure 9: Taille relative des marchés boursiers mondiaux (Dimson et al., 2017)

*Les 9 pays comptant pour plus de 1% sont représentés. Les 6.8% correspondant au « Smaller Yearbook » sont formés par 14 plus petits marchés. La dernière part, « Not in Yearbook », reprend les pays pour lesquels les données sont incertaines, essentiellement des pays émergents (Dimson et al., 2017).

Annexe 4 : Frais sur l'Euronext pour des transactions sur actions

Charge per executed order	€0.15
First €0.7bn executed (\leq €0.7bn)	0.95 bps
Next €1.3bn executed (€0.7bn - €2.0bn)	0.70 bps
Next €1.5bn executed (€2.0bn - €3.5bn)	0.63 bps
Next €24.5bn executed (€3.5bn - €28.0bn)	0.55 bps
All subsequent volumes (>€28.0bn)	0.45 bps

Figure 10: Frais en vigueur à partir de juin 2017 pour les actions traitées sur l'Euronext (Euronext, 2017)

*Les frais de €0.15 ne s'appliquent qu'une fois par ordre, même si cet ordre est divisé en plusieurs morceaux avant d'être exécuté. Les frais en fonction du volume doivent être additionnés au frais d'exécution de l'ordre. Ils sont exprimés en bps (Basis Points), sachant que 1 bps équivaut à 0.01%.

Annexe 5 : Evolution des frais de commission payés pour l'exécution de transactions.

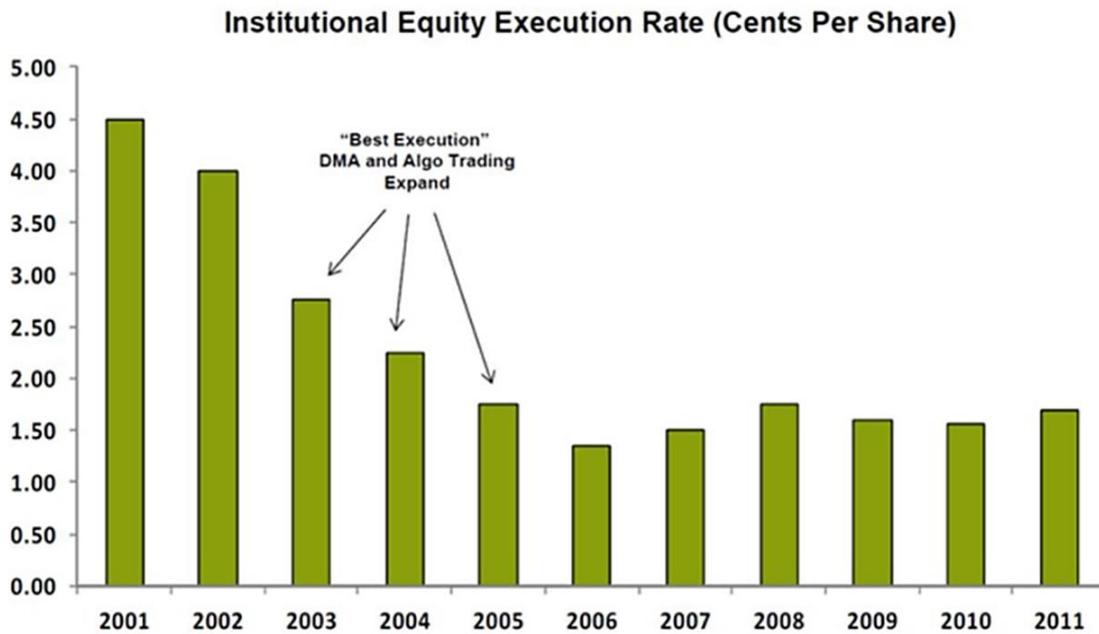


Figure 11: Frais de commission payés par des investisseurs institutionnels pour l'exécution d'ordres (Cappon, 2014).

*Au début des années 2000, ces frais s'élevaient à près de \$0.05 par action. En 2011, les frais se sont stabilisés à \$0.015 par action, soit une chute de près de 70%.

Annexe 6 : Flash Crash du 6 mai 2010

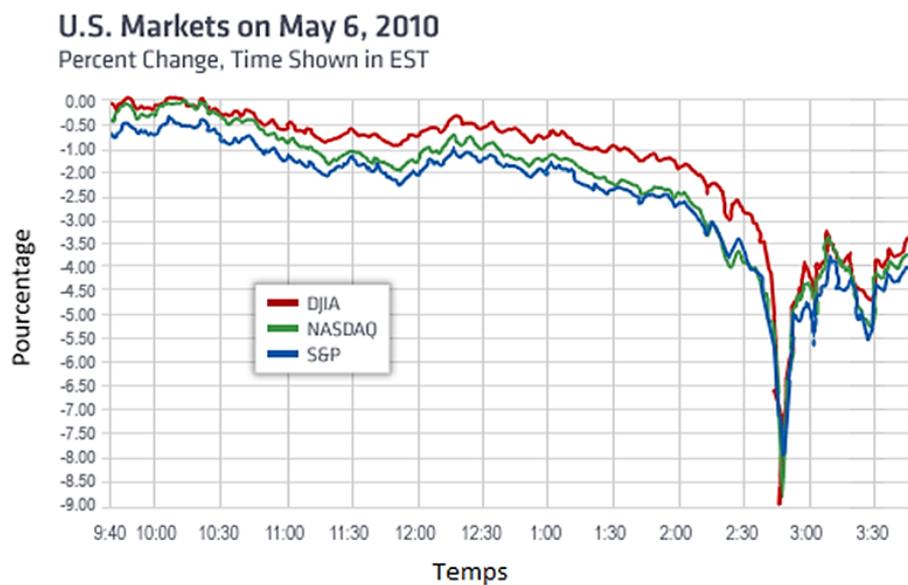


Figure 12: L'effet du "Flash Crash" sur les marchés américains (Balch, 2012)

* DJIA : Dow Jones Industrial Average

Annexe 7 : Le trading algorithmique par classes d'actifs et par régions

Rise of the machines

Algorithmic trading, % of total trading

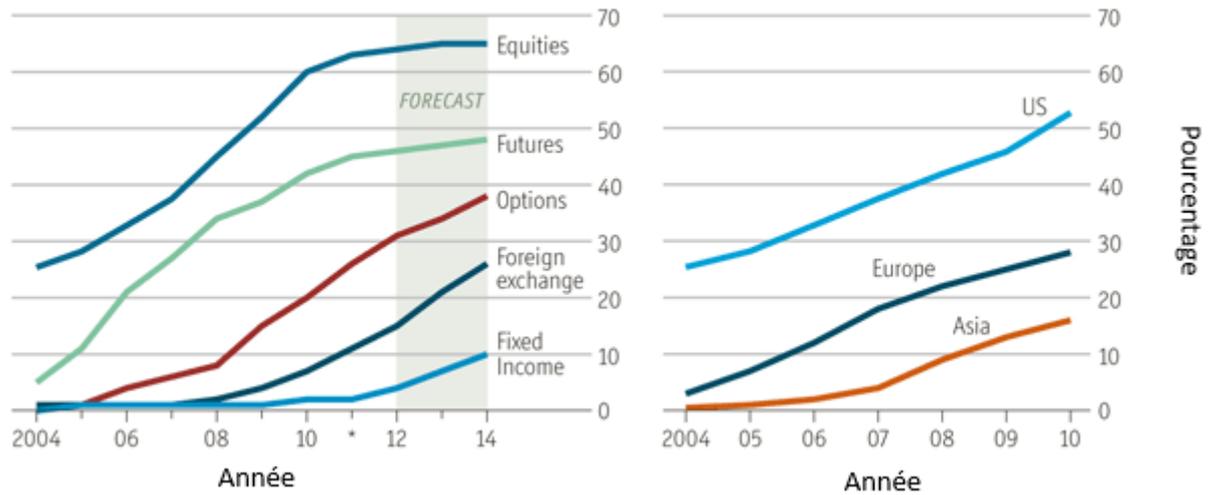


Figure 13: Evolution de l'utilisation d'algorithmes de trading dans différentes classes d'actifs et régions (Aite Group, 2012)

*Une nette préférence d'utilisation est assignée à l'utilisation d'algorithmes de trading pour les marchés d'actions ainsi que ceux traitant des futurs. De même, les Etats-Unis adoptent plus rapidement et dans une plus grande proportion ces méthodes de trading.

