



Government  
Office for

**Science**

 Foresight

# **Le futur de la transaction informatisée sur les marchés financiers**

## **Document de travail**

*Foresight, Government Office for Science*

Ce document de travail a été initié dans le cadre du projet *Foresight* du gouvernement britannique sur le futur de la transaction informatisée sur les marchés financiers.

Les opinions exprimées ici ne sont pas celles du gouvernement britannique et ne représentent pas ses politiques.

## Introduction par le Professeur Sir John Beddington

La transaction informatisée a transformé la façon dont nos marchés financiers fonctionnent. Au cours des dernières années, le volume des produits financiers négociés par transaction automatisée par l'informatique, opérant à grande vitesse et avec peu d'intervention humaine, a considérablement augmenté. Aujourd'hui, par exemple, plus du tiers des transactions en actions du Royaume-Uni est généré par la transaction automatisée par l'informatique de haute fréquence, et cette proportion est plus proche de trois quarts aux États-Unis.

Si la prédominance de la transaction informatisée n'est pas contestée, ses risques et avantages actuels ainsi que la manière dont il se développera à l'avenir, font l'objet d'appréciations diverses. Une meilleure compréhension de ces questions est essentielle, car elles affectent la santé du secteur des services financiers et les économies plus larges qu'il sert. Les changements de plus en plus rapides intervenant sur les marchés financiers y rendent la prospective essentielle si un cadre réglementaire solide doit être mis en place. Un objectif clé du projet *Foresight* (Prospective), supervisé par un groupe d'experts de premier plan, a donc été de s'appuyer sur les meilleurs éléments scientifiques et factuels du monde entier, pour adopter une vision indépendante sur ces questions.

Les trois articles présentés ici examinent les données probantes commandées directement par le projet, ainsi qu'une base plus large d'éléments factuels. D'éminents experts de plus de 20 pays ont participé à la rédaction et à l'évaluation par les pairs de ce matériau. Le premier article considère l'effet de la transaction informatisée sur la stabilité financière. Il examine les données relatives à ses effets passés et considère les éventuels risques pouvant survenir dans le futur. *A contrario*, le deuxième article envisage les avantages que la transaction informatisée présente en matière de liquidité, d'efficacité des prix et de coûts de transaction. Ensemble, ces deux documents brossent un tableau des risques et des avantages ; c'est pourquoi aucun des deux ne doit être lu de manière isolée. Quant au troisième article, il se concentre sur la technologie.

Il est important de noter que les résultats documentés ici expriment les opinions indépendantes d'universitaires. En particulier, ce document de travail ne représente pas la position du Royaume-Uni ou de tout autre gouvernement, ni ne cherche à promouvoir les intérêts d'un acteur du secteur des services financiers. Si ces articles ne sont pas présentés comme une vision définitive sur les sujets qu'ils abordent, j'espère toutefois qu'ils peuvent apporter une contribution substantielle au débat actuel. J'ai ainsi le grand plaisir de les mettre gratuitement à la disposition de tous.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'John Beddington'.

Professeur Sir John Beddington CMG, FRS  
Premier Conseiller Scientifique du gouvernement britannique  
Directeur du Government Office for Science

## **Groupe d'experts supervisant le projet Foresight**

Dame Clara Furse DBE – Directrice non exécutive, Nomura

Andy Haldane – Directeur exécutif de la Division stabilité financière, Bank of England

Professeur Charles Goodhart – Professeur de finance, London School of Economics

Professeur Dave Cliff – Professeur d'informatique, Université de Bristol

Dr Jean-Pierre Zigrand – Chargé de cours en finance, London School of Economics

Kevin Houston – Président, Rapid Addition ; Co-Président, Comité technique mondial, FIX Protocol Limited

Professeur Oliver Linton – Chaire d'économie politique, Université de Cambridge

Professeur Philip Bond – Centre d'Oxford pour les mathématiques industrielles et appliquées

## **Equipe du projet Foresight**

Sandy Thomas (Présidente)

Derek Flynn (Vice-président)

Lucas Pedace (Directeur de projet)

Luke Ryder (Chef de projet)

Chris Griffin (Chef de projet)

Piers Davenport (Membre exécutif)

Yasmin Hossain (Chargée de recherche)

Isabel Hacche (Stagiaire)

**Pour plus d'informations sur le projet, veuillez visiter le site :**

<http://www.bis.gov.uk/foresight/our-work/projects/current-projects/computer-trading>

# Table des matières

<b>Le futur de la transaction informatisée sur les marchés financiers .....</b>	<b>1</b>
Introduction par le Professeur Sir John Beddington .....	2
Groupe d'experts supervisant le projet <i>Foresight</i> .....	4
Equipe du projet <i>Foresight</i> .....	4
Pour plus d'informations sur le projet, veuillez visitez le site : .....	4
<b>Article 1 : Stabilité financière et transaction informatisée.....</b>	<b>7</b>
<b>Principaux résultats .....</b>	<b>8</b>
<b>Résumé exécutif .....</b>	<b>9</b>
1. Introduction.....	10
2. Comment la transaction informatisée a affecté la stabilité financière dans le passé ?.....	11
3. Comment la transaction informatisée est-elle supposée affecter la stabilité financière ?.....	15
3.1 Mécanismes d'instabilité.....	15
3.2 Interactions entre les mécanismes .....	22
3.3 Facteurs socio-techniques : la normalisation de la déviance .....	24
4. Comment la transaction informatisée peut affecter la stabilité financière à l'avenir ? .....	26
5. Conclusion.....	30
<b>Article 2 : L'impact de la transaction informatisée sur la liquidité, l'efficacité / la formation des prix et les coûts de transaction .....</b>	<b>31</b>
<b>Principaux résultats .....</b>	<b>32</b>
<b>Résumé exécutif .....</b>	<b>33</b>
1. Introduction.....	34
2. L'impact de la transaction informatisée sur la liquidité, les coûts de transaction et l'efficacité des prix .....	35

3. Passé : quel a été l'impact de la transaction informatisée sur la qualité du marché ces dernières années ? .....	37
3.1 Liquidité .....	37
3.2 Coûts de transaction.....	42
3.3 Efficacité des prix .....	42
4. Présent : quel est l'impact actuel de la transaction informatisée sur la qualité du marché ?.....	44
5. Futur : comment l'impact de la transaction informatisée sur la liquidité évoluera-t-il dans la prochaine décennie ?.....	46
6. Conclusions .....	48
<b>Article 3 : L'impact des développements technologiques.....</b>	<b>50</b>
<b>Principaux résultats .....</b>	<b>51</b>
<b>Résumé exécutif .....</b>	<b>52</b>
1 Introduction.....	53
2 Comment a évolué la technologie des marchés financiers ? .....	53
3. Actuellement, quels sont les développements technologiques clés ?.....	57
3.1 Analyse automatisée des informations du marché et opinion .....	59
3.2 Etudier les interactions entre les systèmes de transaction humaine et algorithmique .....	60
3.3 Du présent au futur.....	62
4. Les avancées technologiques probables des dix prochaines années.....	63
4.1 L'infonuagique ( <i>cloud computing</i> ).....	63
4.2 Personnaliser le silicium .....	64
4.3 Des algorithmes de transaction générés par ordinateur, capables de s'adapter et de tirer un enseignement.....	65
5. Conclusion.....	65
<b>Glossaire .....</b>	<b>67</b>

# **Article I : Stabilité financière et transaction informatisée**

Jean-Pierre Zigrand, London School of Economics,

Dave Cliff, Université de Bristol,

Terrence Hendershott, Université de Californie à Berkeley.

# Principaux résultats

La recherche en économie ne fournit à ce jour aucune preuve directe attestant que la transaction informatisée de haute fréquence a accru la volatilité.

Dans certaines circonstances, toutefois, un certain type de mécanisme peut avoir pour conséquence une instabilité significative des marchés financiers, lorsque des boucles de rétroaction se nouent et s'auto-renforcent sous l'effet des transactions informatisées (un petit changement revenant en boucle déclenche une modification plus grande, qui boucle à nouveau, et ainsi de suite) dans des processus de gestion et de contrôle bien intentionnés, pouvant amplifier les risques internes et conduire à des interactions et des résultats non désirés.

Les boucles de rétroaction peuvent comprendre des systèmes de gestion des risques et faire naître des changements dans l'activité ou la volatilité du marché, par des informations sur le marché et par des retards dans la distribution de données de référence.

Une seconde cause d'instabilité est sociale. Il s'agit d'un processus connu sous le nom de *normalisation de la déviance*, où des événements inattendus et risqués (par exemple, des krachs extrêmement rapides) sont progressivement considérés comme de plus en plus normaux jusqu'à ce qu'une catastrophe se produise.

# Résumé

Cet article examine les conclusions des documents issus de la « revue pilote » commandée dans le cadre du projet *Foresight* (Prospective) et d'autres publications récentes, qui explorent les effets des transactions informatisées sur la stabilité actuelle et future des marchés financiers.

Nous concentrons ici notre étude sur la stabilité comme facteur primordial affectant la confiance dans les marchés financiers, notamment le rôle qu'ils jouent comme réserve de richesse ou véhicule d'endettement. Les changements et fluctuations dans les valeurs de marché sont toujours à prévoir, mais si un changement est suffisamment important ou inattendu qu'il affaiblit fondamentalement le processus d'épargne ou d'investissement, érodant la confiance, alors, il peut être considéré comme un événement en termes de stabilité financière.

Le « krach éclair » du 6 mai 2010, par exemple, qui a vu la bourse des actions des Etats-Unis chuter de 600 points en 5 minutes, éliminant environ 800 milliards de dollars de valeur, puis recouvrer presque toutes les pertes en 30 minutes, bien qu'ayant duré moins d'un jour, a contribué à éroder la confiance dans les bourses des actions suffisamment pour être suivi par plusieurs mois de sorties de fonds communs de placement aux Etats-Unis.

Nous identifions trois mécanismes principaux pouvant conduire à l'instabilité lorsqu'une part importante des transactions sur les marchés financiers est informatisée : des sensibilités non linéaires au changement (de petits changements peuvent produire des effets très importants), des informations incomplètes (lorsque certains acteurs du marché ont davantage d'informations, ou des informations plus précises, que d'autres) et des risques internes, « endogènes », fondés sur les boucles de rétroaction au sein du système.

Les chaînes internes de cause à effet, qui jouent un rôle central dans les risques endogènes sur les marchés à systèmes de transactions informatisées, concernent des boucles de rétroaction positives pouvant amplifier et renforcer automatiquement des interactions néfastes entre les différents aspects des processus de gestion et de contrôle bien intentionnés.

Les boucles de rétroaction peuvent même être aggravées par des systèmes de gestion des risques et faire naître des changements dans l'activité ou la volatilité du marché, par des informations sur le marché et par des retards dans la distribution de données de référence.

Une quatrième cause d'instabilité est sociale. Il s'agit d'un processus connu sous le nom de *normalisation de la déviance*, où des événements inattendus et risqués sont progressivement considérés comme de plus en plus normaux jusqu'à ce qu'une catastrophe se produise.

Enfin, dans un monde caractérisé par de nombreuses places boursières destinées aux transactions et cotations, interconnectées par des systèmes de transactions informatisées, la topologie du réseau détermine la stabilité et le flux d'informations et d'opérations, et constitue donc un facteur majeur pour la détermination de la stabilité systémique d'ensemble.

Les nouveaux aspects de la dynamique des marchés comportant des proportions significatives de traders haute fréquence fondés sur l'informatique incluent les considérations suivantes : (a) les interactions se déroulent à un rythme tel qu'elles ne pourraient être empêchées par l'intervention humaine – une limite importante a été franchie en termes de rapidité ; (b) cela étant, la transaction informatisée (donc automatisée) est presque obligatoire, avec toutes les incertitudes que cela entraîne à l'échelle du système ; (c) les asymétries d'information deviennent alors plus pointues (et, en effet, de nature différente) que dans le passé ; et (d) la source de fourniture de liquidités a été modifiée, passant à une transaction informatisée et à haute fréquence, ce qui a des conséquences pour sa solidité en situation de tension.

## I. Introduction

Nous adoptons une interprétation large du concept de transaction informatisée (en anglais, *Computer Based Trading* ou *CBT*). Une taxonomie utile a été proposée dans le document DR5<sup>1</sup> qui identifie trois caractéristiques pouvant être utilisées pour classer les systèmes de transactions informatisées. En premier lieu, les systèmes de transactions informatisées peuvent acheter et vendre sur une base agence (c'est-à-dire tenter d'obtenir pour leurs clients la meilleure exécution possible des opérations) ou sur une base exclusive (c'est-à-dire acheter et vendre en utilisant leur propre capital). En deuxième lieu, les systèmes de transactions informatisées peuvent adopter des styles de transaction consommateur de liquidités (agressifs) ou fournisseur de liquidités (passifs). En troisième lieu, ils peuvent être classifiés selon qu'ils engagent dans des opérations non informées ou informées. Une grande part du débat public actuel se focalise avec inquiétude sur la classe des algorithmes prédateurs agressifs, notamment ceux qui opèrent à grande vitesse et à haute fréquence. Parce que la plupart des institutions financières qui réalisent des transactions informatisées ne peuvent être nettement rangées dans l'une seule des catégories ci-dessus, il est plus fructueux d'analyser les systèmes informatisés de transactions, les algorithmes qu'ils emploient directement et la fréquence à laquelle ils opèrent, plutôt que de penser au comportement d'une société financière ou de trading donnée, comme une banque d'investissement ou une entreprise de gestion de fonds en particulier. C'est largement pourquoi, dans la discussion à venir, nous ne nous concentrerons pas sur une catégorie d'actifs donnée (actions, change, matières premières,

---

<sup>1</sup> Dans l'ensemble de ce document, l'acronyme DR (pour *driver review* ou « revue pilote ») se réfère aux études commandées par le groupe d'experts. Ces dernières sont disponibles sur la page Web du projet : <http://bis.gov.uk/foresight/our-work/projects/current-projects/computer-trading>

obligations d'Etat) mais nous analyserons plutôt les forces qui semblent susceptibles de façonner à l'avenir les questions de stabilité provenant de la transaction informatisée. Dans ce rapport, nous résumons l'intuition présente derrière certains des facteurs de risque les plus plausibles économiquement en matière de transaction informatisée : ces « facteurs de risques » peuvent être considérés comme formant la base logique de scénarios futurs possibles concernant la stabilité des marchés financiers.

## **2. Comment la transaction informatisée a affecté la stabilité financière dans le passé ?**

La raison d'être des marchés financiers est d'agrèger une myriade de décisions individuelles et de faciliter une allocation efficace des ressources tant sur les marchés primaire que secondaire<sup>2</sup> en permettant une récolte opportune et fiable des gains mutuels des transactions, ainsi qu'une diversification des avoirs par les investisseurs. Comme pour de nombreux autres aspects de la vie moderne, les innovations technologiques et financières permettent d'automatiser de plus en plus les tâches répétitives et riches en chiffres, et de déléguer celles-ci aux ordinateurs. L'automatisation, et les gains en efficacité et en temps qui en résultent, peuvent produire des avantages mais aussi des coûts sociaux. Cet article se concentre uniquement sur les répercussions possibles des transactions informatisées sur la stabilité financière et en particulier, sur les risques d'instabilité. Ce choix ne devrait certainement pas être interprété comme signifiant que la transaction informatisée est néfaste socialement ou ne présente que des risques à la baisse et des coûts. Nous espérons qu'en comprenant mieux les facteurs de risque des transactions informatisées en matière de stabilité financière, les créateurs, utilisateurs et régulateurs des systèmes de transactions informatisées seront capables de gérer les risques et de faire apparaître les avantages des transactions informatisées, tout en réduisant les coûts sociaux.

Les résultats de cet article peuvent s'appliquer à toute structure de marché, mais nous pensons qu'ils sont particulièrement pertinents pour les ventes aux enchères en continu, telles qu'elles se déroulent sans discontinuer sur les écrans des traders dans la plupart des principaux marchés financiers du monde. En effet, même si l'activité quotidienne est importante, il pourrait en aller autrement de l'activité seconde par seconde. Par exemple, même un chiffre d'affaires quotidien moyen de plus de 4 000 milliards de dollars sur le marché des changes correspond seulement à 2,7 millions de dollars d'activité seconde par seconde pour les principales paires de devises comme euro-dollar des Etats-Unis. Même sur un marché d'une telle taille, un ordre suffisamment volumineux peut modifier temporairement les cours, en fonction du nombre des autres ordres placés sur le marché (la « profondeur » du marché) à ce moment.

---

<sup>2</sup> Le marché primaire résulte de l'action des entreprises lorsqu'elles émettent des actions pour lever des capitaux. Le marché secondaire résulte, lui, des échanges d'actions entre investisseurs et spéculateurs.

La volatilité des cours est une mesure fondamentale utile pour caractériser la stabilité financière (des cours sauvagement volatiles sont un indicateur d'instabilités sur le marché)<sup>3</sup>. Dans le document DR1, Linton et Atak observent que, depuis les turbulences de 2008-2009, la volatilité principale des bourses des actions britanniques a diminué et que les liquidités et le volume des transactions sont lentement revenus. Selon les auteurs, si la transaction haute fréquence (THF) contribue à la volatilité, on pourrait s'attendre à ce que le ratio de la volatilité intrajournalière sur la volatilité d'un jour sur l'autre augmente avec la généralisation de la THF, mais Linton et Atak ne recueillent pas de données venant étayer cette hypothèse. Ils observent que la fréquence des changements importants de cours intrajournaliers était élevée durant la période de crise, mais depuis la fin de 2009, la fréquence s'est réduite à des niveaux plus normaux.

Les transactions informatisées et à haute fréquence sont des phénomènes relativement nouveaux, c'est pourquoi les publications empiriques étudiant leur rôle sont donc encore balbutiantes. La recherche ne fournit à ce jour aucune preuve directe attestant que la THF a accru la volatilité<sup>4</sup>. L'évaluation de la THF pose des défis importants, parce que la plupart de sa croissance coïncide avec les turbulences de 2008/2009 et qu'elle est caractérisée par un manque de données la décrivant pleinement<sup>5</sup>. Des études indirectes des transactions informatisées et à haute fréquence fournissent des éléments intéressants soulignant l'importance d'une étude plus approfondie, avec de meilleures données, mais sont sujettes à diverses interprétations<sup>6</sup>.

---

<sup>3</sup> La stabilité peut différer de la volatilité en mettant davantage l'accent sur de grands changements de prix peu fréquents.

<sup>4</sup> Voir DR 12, Brogaard, J. (2011), High Frequency Trading and Its Impact on Market Quality (La transaction à haute fréquence et son impact sur la qualité du marché), <http://ssrn.com/abstract=1641387> ; Chaboud, A., Chiquoine, B., Hjalmarsson, E., & Vega, C. (2009), Rise of the Machines: Algorithmic Trading in the Foreign Exchange Market (L'ascension des machines : transaction algorithmique sur le marché des changes), <http://ssrn.com/abstract=1501135> ; & Hasbrouck, J., & Saar, G. (2011), Low-Latency Trading (Transaction à faible latence), Document de travail, *Cornell University*.

<sup>5</sup> Jovanovic, B., & Menkveld, A. (2011) Middlemen in Limit-Order Markets (Les intermédiaires sur les marchés à ordre limité), <http://ssrn.com/abstract=1501135>, comparent la volatilité des bourses hollandaises et belges avant et après l'entrée d'une société de THF sur les bourses hollandaises. Ils constatent que la volatilité relative des bourses hollandaises diminue légèrement.

<sup>6</sup> Voir par exemple, Zhang, F. (2010), High-Frequency Trading, Stock Volatility, and Price Discovery (Transaction à haute fréquence, volatilité des actions et formation des cours), <http://ssrn.com/abstract=1691679>, les procurations pour la THF, avec une mesure du volume de transactions journalier non associées à des changements dans les avoirs institutionnels trimestriels. Zhang trouve une association entre le volume de transactions mesuré et la volatilité « excédentaire ». Alors que la procuration est vraisemblablement liée à la transaction informatisée, la corrélation est difficile à interpréter lorsqu'elle provient de la transaction à haute fréquence car la relation volume/volatilité apparaît bien avant l'adoption de la THF telle qu'elle est définie actuellement. Au final, une relation plus importante entre le volume et la volatilité peut résulter d'un bien-être accru, qui accentue le partage du risque de l'investisseur. C'est pourquoi les études indirectes de la THF et de la transaction informatisée ne sont pas recommandées comme fondement pour des choix de politiques.

Le fait de dire que les transactions informatisées peuvent conduire à des événements extrêmement rares de type « cygne noir » mais d'une portée considérable et exceptionnelle lorsqu'ils se produisent, véhicule un cliché. Bien évidemment, un monde plus informatisé est plus vulnérable à certains types d'événements catastrophiques, comme des pannes d'électricité, de fortes émissions solaires, des cyber-attaques et des « pannes » de serveurs informatiques, l'un ou l'autre de ces événements pouvant en principe conduire à des défaillances de l'ensemble du système.

Cependant, en ce qui concerne la stabilité financière, les aspects les plus intéressants et significatifs concernent la *dynamique* générale *non linéaire* du système financier. Pour dire les choses simplement, la dynamique d'un système (sa façon de changer avec le temps) est non linéaire si le changement d'une variable peut conduire soit à un petit changement sur une autre variable soit à un changement important dans cette autre variable, en fonction du niveau actuel de la première variable. Les systèmes non linéaires peuvent parfois présenter des changements de comportement de très grande ampleur, suite à de très petites variations de paramètres ou variables clés, et dans certains cas, il s'agit de systèmes « complexes », pour lesquels il est impossible de prévoir le comportement sur le long terme car un observateur ne peut jamais connaître les paramètres clés avec une précision suffisante. De plus, parce que les systèmes économiques sont composés d'« agents » (particuliers, entreprises, régulateurs, etc.) qui interagissent de différentes manières, la structure particulière du réseau d'interactions peut également avoir un effet très significatif sur la dynamique du réseau<sup>7</sup>. A l'heure actuelle, la recherche scientifique sur la dynamique complexe, non linéaire, des systèmes interconnectés connaît (en comparaison avec d'autres domaines) ses premiers balbutiements en ce qui concerne les prédictions concrètes et les déclarations généralisables avec fiabilité, mais peut être mise à niveau en termes de modélisation, en intégrant les fondements des publications en économie financière : cette démarche peut fournir des bribes importantes de compréhension, et nous nous fierons à eux dans ce rapport.

Les krachs boursiers ont toujours existé : Zweig (2011<sup>8</sup>) raconte l'histoire d'un événement, semblable au krach éclair, survenu en 1962 et que la Commission américaine des opérations de Bourse analyse dans un rapport publié en 1963<sup>9</sup>. La question de la compréhension des mécanismes qui

---

<sup>7</sup> Voir DR6, DR7 & Haldane, A. & May, R. (2011), Systemic risk in banking ecosystems (Risque systémique dans les écosystèmes bancaires), *Nature* **469** : 351-355.

<sup>8</sup> Zweig, J. (2010), Back to the future: Lessons from the forgotten 'flash crash' of 1962 (Retour vers le futur : les enseignements tirés du « krach éclair » de 1962, oublié depuis longtemps). *The Wall Street Journal*, 29 mai 2010. <http://online.wsj.com/article/SB10001424052748703957604575272791511469272.html> ;

<sup>9</sup> US Securities and Exchange Commission (1963), Report of Special Study of Securities Markets (Commission américaine des opérations de Bourse (1963), Rapport d'étude spéciale sur les marchés des valeurs mobilières), Chapitre 13, disponible sur : [http://c0403731.cdn.cloudfiles.rackspacecloud.com/collection/papers/1960/1963\\_SSMkt\\_Chapter\\_13\\_1.pdf](http://c0403731.cdn.cloudfiles.rackspacecloud.com/collection/papers/1960/1963_SSMkt_Chapter_13_1.pdf).

sous-tendent les événements à l'échelle systémique dans des environnements de transactions informatisées est néanmoins plus récente. Une bonne illustration du type d'événements systémiques que le suivi d'une règle mécanique est capable de générer peut être trouvée dans le déclin en 1987 du marché porté par l'assurance de portefeuille<sup>10</sup>. Afin de couvrir leurs risques, comme les indices boursiers chutaient, les assureurs de portefeuilles ont été requis d'ajuster leur « couverture delta », des actions utilisées pour équilibrer le risque. Cependant, les valeurs des actions dans les fonds de couverture delta étaient utilisées pour calculer la valeur de l'indice. Donc, comme la couverture delta était ajustée car l'indice avait baissé, les actions furent vendues, la vente déprécia les cours et tout cela fit encore chuter l'indice, ce qui conduisit à un nouvel ajustement des fonds de couverture delta, qui déprécièrent encore l'indice. Cette boucle de rétroaction positive (un petit changement revenant en boucle qui déclenche une modification plus grande, qui boucle à nouveau, et ainsi de suite) eut un effet très néfaste, conduisant à des ventes massives de prises de participation. Le schéma 1 illustre cette boucle. Ces boucles rétroactives destructrices peuvent générer une dynamique non linéaire et opérer jusqu'à ce que les couvertures delta n'aient plus besoin d'être ajustées ou jusqu'à un arrêt du marché. L'exécution mécanique et irréfléchie de ces « transactions programmées » a conduit en 1987 à une forte pression à la vente et à une chute des cours bien en dessous des niveaux garantis par les conditions réelles de marché.



Index falls	L'indice chute
Sale of stocks in delta-hedge holding	Vente d'actions dans les fonds de couverture delta
Adjust delta-hedge	Ajustement de la couverture delta

### Schéma 1 : Boucle de rétroaction de couverture

L'écart entre les prix du marché et les valeurs réelles de titres (données par la valeur fondamentale de la société ou de la ressource) lorsque les premiers sont déprimés par des ventes forcées dans une frénésie non

<sup>10</sup> Voir DR9 ainsi que Gennotte, G. & Leland, H. (1990). Market liquidity, hedging, and crashes (Liquidité du marché, couverture et krachs). *American Economic Review*, 80:999–1021.

linéaire, auto-réalisatrice et parfois auto-entretenu, constitue une instabilité importante des marchés, qui revient à un coût social substantiel.

On pourrait faire valoir que plus les « robots » de transactions informatisées décident, plus le risque est élevé que ces boucles de rétroaction sauvages apparaissent dans un système financier. Ce « risque endogène » est le fil logique qui parcourt une grande partie de la suite de cet article. Le risque endogène d'algorithmes programmés par des humains peut différer de façon importante des boucles de rétroaction et des risques des marchés comportant une implication directe humaine plus importante.

### 3. Comment la transaction informatisée est-elle supposée affecter la stabilité financière ?

#### 3.1 Les mécanismes d'instabilité

Il semble peu probable que l'avenir des transactions informatisées sur les marchés financiers conduise simplement à un système plus rapide, et, par conséquent à des krachs et à des crises plus fréquents, pour la raison (métaphorique) que le même bon vieux film est maintenant joué en avance rapide. Il semble plus probable que malgré tous leurs avantages, les transactions informatisées peuvent conduire à un système financier qualitativement différent et plus visiblement non linéaire, dans lequel les crises et les événements critiques sont plus susceptibles de se produire en premier lieu, même en l'absence de chocs externes fondamentaux plus importants ou plus fréquents. Quelques réflexions sur les mécanismes précis éventuels sont soulignées ci-dessous.

Trois mécanismes principaux qui peuvent conduire à l'instabilité et à des pertes peuvent être résumés comme suit :

- **Sensibilité** : une instabilité systémique peut se produire si un environnement de transactions informatisées devient plus sensible aux petits changements ou perturbations. Si la dynamique financière dans un monde de transactions informatisées devient suffisamment non linéaire, de telle sorte que des résultats très différents peuvent résulter seulement de petits changements d'une ou de plusieurs variables actuelles (ce que l'on appelle « l'effet papillon » en dynamique du chaos), alors les prix et quantités observés sont sujets à cascades, contagions, instabilité et dépendance historique<sup>11</sup>. Les mécanismes de la déviation peuvent être ceux de la sensibilité à l'information et/ou les boucles de rétroaction internes, deux thèmes qui seront abordés ci-dessous. Même si les effets étaient temporaires et les variables explicatives originales devaient revenir à leur valeurs moyennes de long terme par la suite, d'autres événements irréversibles pouvaient se produire, comme des pertes financières ou même des banqueroutes, en raison de ventes forcées ou des conséquences de clauses de pénalité dans les contrats.

---

<sup>11</sup> Voir DR7 ainsi que Haldane et May (2011) *op. cit.*

- **Informations** : l'existence de sensibilités non linéaires excessives peut être due à des questions relatives à l'information. Officieusement, la préoccupation est de savoir qui sait quoi, et à quel moment. La structure d'un marché en matière d'informations a le potentiel d'exacerber ou de réduire les fluctuations du marché à travers un certain nombre d'effets subtils, et parfois contradictoires. Pour illustrer cela, les universitaires ont analysé les comportements qui sont adoptés dans des jeux de coordination à informations diffuses<sup>12</sup>. Dans ces scénarios de jeu, les informations sont diffuses et les agents se coordonnent pour créer une panique bancaire sur une institution, un titre ou une devise, si un signal donné, observé publiquement, atteint de mauvais résultats. Seules de très petites différences dans le signal, par exemple le nombre de créances irrécouvrables d'une banque, déterminent si les créanciers partent ou restent. De violentes cascades de défaillances sur tout un système de marché peuvent être déclenchées par ces petits événements.
- **Risque endogène** : ce terme, un lieu commun des publications financières<sup>13</sup>, identifie les caractéristiques *entièrement propres* aux marchés financiers, qui conduisent dans certaines situations à l'émergence soudaine de boucles de rétroaction (due aux non linéarités qui entrent en ligne de compte) positive (c.à.d. qui se renforcent mutuellement) et pernicieuses, que les intervenants du marché soient pleinement rationnels ou non<sup>14 15</sup>.

Un certain nombre de boucles de rétroaction pouvant contribuer à un risque endogène sont explorées ci-dessous.

**Boucle de rétroaction sur les risques.** Les crises financières impliquent généralement le type de risque endogène décrit ci-dessous. Supposons que certaines institutions financières soient touchées par une perte qui les oblige à réduire le risque qu'elles détiennent sur leurs comptes. Afin de réduire les risques, elles doivent vendre des titres risqués. Comme de nombreuses institutions détiennent des titres similaires, leur vente fait baisser les cours

---

<sup>12</sup> Voir par exemple : Carlsson, H. & Van Damme, E. (1993), Global Games and Equilibrium Selection. (Jeux globaux et sélection d'équilibre). *Econometrica*, **61** : 989-1018. Voir aussi : Morris, S. & Shin, H. (2002), Global Games: Theory and Applications (Jeux globaux : théorie et applications). Dans Dewatripont, L. & Turnovsky, S., (eds), *Advances in Economics and Econometrics, the Eighth World Congress (Avancées en économie et économétrie, le huitième congrès mondial)*. Cambridge Uni. Press.

<sup>13</sup> Voir : Danielsson, J. et Shin, H. (2003). *Endogenous Risk in Modern Risk Management: A History (Une histoire du risque endogène dans la gestion moderne de risques)*. Risk Books; Danielsson, J., Shin, H. S., et Zigrand, J.-P. (2010). *Balance sheet capacity and endogenous risk (Capacité de bilan et risque endogène)*. Mimeo, [www.riskresearch.org](http://www.riskresearch.org) ; et Shin, H. (2010). *Risk and Liquidity (Risque et liquidité)* : Cours Clarendon en Finance 2008. Oxford.

<sup>14</sup> Voir DR2, DR6, DR7, et DR9.

<sup>15</sup> Voir également M. O'Hara (1995), *Market Microstructure Theory (Théorie de la microstructure de marché)*. Blackwell Publishers.

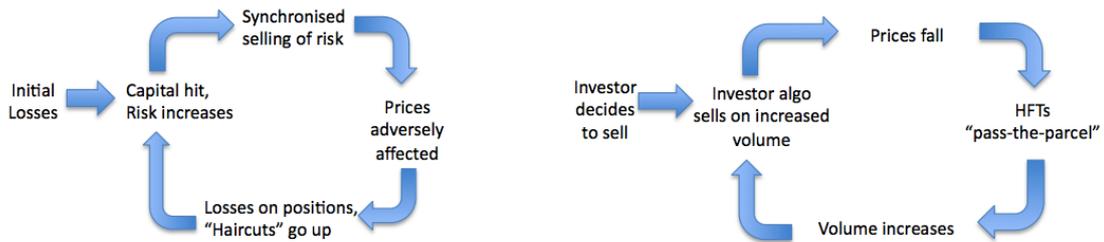
encore davantage. Lorsqu'il est demandé à ces institutions de tenir une « comptabilité au prix de marché » (où la valeur de certains fonds est basée sur le cours actuel du marché de ces titres), les nouvelles évaluations à la baisse portent un nouveau coup au capital bancaire de toutes les institutions détenant les titres concernés et conduisent à une nouvelle augmentation du risque général perçu. En retour, ces deux facteurs contraignent les institutions financières à se défaire encore davantage de leurs risques, ce qui fait encore baisser les cours, et ainsi de suite. Un petit choc initial fondamental peut conduire à des ventes forcées disproportionnées et à une destruction de valeur du fait de boucles de rétroaction qui s'amplifient, solidement ancrées dans les marchés financiers<sup>16</sup>. Des versions de cette boucle concernent les teneurs de marché de transactions à haute fréquence : étant donné la position serrée et les limites de risque dans lesquelles les transactions à haute fréquence se déroulent, des pertes et un accroissement du risque conduisent ces opérateurs à réduire leurs stocks, ce qui mène à une chute des cours, créant par là de nouvelles pertes et risques, fermant la boucle. La destruction de valeur qui survient en retour peut conduire les banques à cesser de jouer leur rôle d'intermédiation avec des retombées néfastes sur l'économie réelle.

**Bouche de rétroaction sur les volumes.** Que la version du rapport officiel de la CFTC/SEC sur les événements du « *krach éclair* » du 6 mai 2010 se révèle exacte et complète ou non (les documents DR4 et DR7 traitent de cette question), elle illustre une source potentielle de risque. Le rapport illustre un scénario possible, où certains algorithmes de transaction à haute fréquence peuvent avoir *directement* entraîné des effets retour par leur tendance à tenir des petites positions dans des courts intervalles de temps. Le 6 mai, une dynamique dite de « patate chaude » (les traders se « renvoyant la balle »), où les transactions des traders à haute fréquence ont généré une activité très importante, mais où la position nette globale n'a pratiquement pas été modifiée. Des instruments financiers circulaient rapidement dans le système et cette augmentation d'activité a produit d'autres algorithmes chargés de vendre plus agressivement dans des marchés à plus forte activité, probablement du fait qu'une activité plus élevée a pour corollaire un impact plus faible sur le marché, de vendre sur le marché en baisse, fermant la boucle<sup>17</sup>.

---

<sup>16</sup> Pour plus de détails sur ce point, voir Brunnermeier, M. & Pedersen, L. (2009), Market Liquidity and Funding Liquidity (Liquidité du marché et des fonds), *Review of Financial Studies*, **22**:2201-2238. Pour des éléments empiriques sur les effets des pertes ou remboursements, voir Joshua, C. & Stafford, E. (2007), Asset Fire Sales (and Purchases) in Equity Markets (Vente (et achat) éclair d'actifs sur les marchés actions), *Journal of Financial Economics*, **86**:479-512. Pour des éléments factuels sur la manière dont les chocs peuvent se propager dans différentes institutions financières, voir Khandani, A. & Lo, A. (2007), What Happened To the Quants in August 2007? (Qu'est-il arrivé aux quants en août 2007 ?) *Journal of Investment Management* **5**:29-78 et Khandani, A. & Lo, A. (2011), What Happened To the Quants In August 2007? Evidence from Factors and Transactions Data (Données sur les facteurs et les transactions), *Journal of Financial Markets* **14**:1-46.

<sup>17</sup> CFTC & SEC (2010). *Findings regarding the market events of May 6, 2010 (Résultats concernant les événements intervenus sur le marché le 6 mai 2010)*. Official report published September 30, 2010 by the Commodities &



Initial Losses	Pertes initiales
Capital hit, Risk increases	Choc pour les capitaux, le risque augmente
Synchronised selling of risk	Vente synchronisée des positions risquées
Losses on positions, "Haircuts" go up	Pertes sur des positions, hausse des « marges de sécurité »
Prices adversely affected	Les prix sont affectés à la baisse
Investor decides to sell	L'investisseur décide de vendre
Investor algo sells on increased volume	L'algorithme investisseur vend un grand volume de titres
Prices fall	Les cours chutent
Volume increases	L'activité augmente
HFTs "pass-the-parcel"	Les traders à haute fréquence « se

Futures Trading Commission and the Securities & Exchange Commission (Rapport officiel publié le 30 septembre 2010 par l'Organisme de tutelle des marchés à terme et la Commission des opérations de Bourse).

<sup>18</sup> Kirilenko, A., Kyle, A., Samadi, M. & Tuzun, T. (2011). The Flash Crash: The Impact of High Frequency Trading on an Electronic Market (Le krach éclair : impact de la transaction à haute fréquence sur un marché électronique), <http://ssrn.com/abstract=1686004> illustre le fait que certains intervenants marché se sont acheté et vendu des titres très rapidement, avec peu de changements dans les positions, dans des horizons temporels très courts durant le krach éclair. Bien que l'étude ne vise qu'un titre (indiciel) sur quelques jours de transaction, elle montre l'intérêt à mieux comprendre certaines stratégies de transaction informatisée et à haute fréquence, et leurs interactions entre elles et avec d'autres intervenants marché. Bien qu'ils ne soient pas capables d'identifier directement les transactions informatisées ou à haute fréquence, Easley *et al.* donnent des éléments sur la rapidité et l'ampleur d'un comportement inhabituel de transaction sur plusieurs titres durant le krach éclair : voir Easley, D., Lopez de Prado, M. & O'Hara, M. (2011). The Microstructure of the 'Flash Crash': Flow Toxicity, Liquidity Crashes and the Probability of Informed Trading (La microstructure du krach éclair : toxicité des flux, krachs de liquidité et la probabilité d'une transaction informée). *The Journal of Portfolio Management*, **37**: 118-128

	renvoient la balle »
--	----------------------

### Schéma 2 : Boucle de rétroaction sur les risques

### Schéma 3 : Boucle de rétroaction sur les volumes

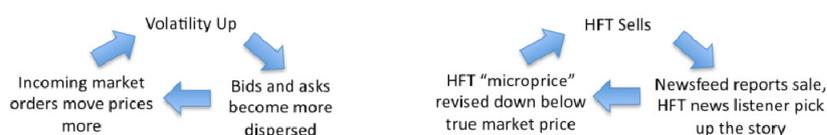
**Boucle de rétroaction en situation de dispersion.** L'éventuelle boucle de rétroaction décrite par Angel (1994)<sup>18</sup> et Zovko et Farmer (2002)<sup>19</sup> est proche de ces boucles. Supposons une augmentation initiale de la volatilité, peut-être due à la survenue d'informations. La distribution des offres et demandes dans le carnet d'ordres s'ajuste et devient plus dispersée<sup>20</sup>. Toutes choses égales par ailleurs, des *ordres de marché* entrants (c'est-à-dire des ordres d'acheter ou de vendre au meilleur prix disponible actuellement sur le marché) sont davantage capables de modifier le prix de référence du marché (fondé sur le prix de transaction le plus récent) et cette augmentation de la volatilité agit en retour sur des ordres encore plus dispersés. La boucle est bouclée.

**Boucle de rétroaction liée aux informations.** De nombreux systèmes automatisés de transaction à haute fréquence traitent principalement les informations numériques issues des sources de données du marché concernant les prix et les volumes des ordres de marché mais certains systèmes de transaction à haute fréquence comprennent une composante « veille sur l'information » (*news listener*) qui scanne les grands titres à la recherche de mots-clé et qui les traite immédiatement en diffusant le mot-clé à toutes les autres composantes du système (le document DR8 analyse plus précisément *news analytics*, l'analyse informatisée de nouvelles écrites et de discussions sur Internet visant à générer des systèmes de transactions informatisées). Les transactions à haute fréquence achètent ou vendent en prenant pour critère leur perception de la juste valeur du cours. S'il est fait état des transactions des systèmes de transaction à haute fréquence dans les fils d'actualités et que d'autres systèmes les repèrent, ces derniers peuvent réviser leur prix dans un sens qui les encourage (eux ou les autres systèmes de transaction à haute fréquence) à effectuer des transactions similaires.

---

<sup>19</sup> Angel, J. (1994). *Limit versus market orders (Ordres à cours limité vs. ordres de marché)*. Document de travail, Georgetown University.

<sup>20</sup> Zovko, I. & Farmer, D. (2002). The power of patience: a behavioral regularity in limit-order placement (La puissance de la patience : une régularité comportementale dans un placement à cours limité). *Quantitative Finance*, 2(5):387-392.



Volatility Up	Accroissement de la volatilité
Incoming market orders move prices more	Les ordres entrants sur les marchés accentuent la variation des cours
Bids and asks become more dispersed	Les offres et demandes se dispersent davantage
HFT sales	Ventes des transactions à haute fréquence
HFT "microprice" revised down below true market price	Le « microprix » de la transaction à haute fréquence est révisé à la baisse, en dessous du niveau véritable du prix du marché
Newsfeed reports sale, HFT news listener pick up the story	Les fils d'actualités évoquent la vente, la veille sur informations des transactions à haute fréquence repère l'épisode

#### Schéma 4 : Boucle de rétroaction en situation de dispersion

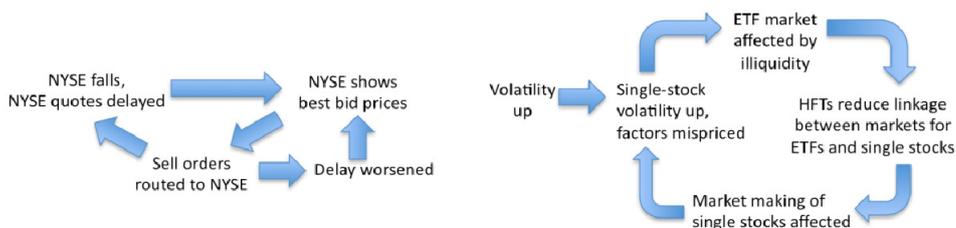
#### Schéma 5 : Boucle de rétroaction liée aux informations

**Boucle de rétroaction liée aux délais de cotation.** Eric Hunsader de Nanex Corp. évoque<sup>21</sup> le potentiel de la boucle de rétroaction très simplifiée, décrite ci-dessous, qui peut avoir été à l'œuvre durant le *krach éclair*. Considérons un marché fragmenté souffrant d'une pression globale à la vente d'un panier d'actions à capitalisation élevée (provenant par exemple de la vente de contrats à terme E-mini) et supposons que les cotations de la Bourse de New York soient un peu retardées. Comme le marché est en baisse, les soumissions de la Bourse de New York retardées apparaissent comme les plus attractives pour les vendeurs, et toutes les ventes se

<sup>21</sup> Pour un examen de ces types de changements précédant les annonces de résultats, voir Lee, C., Mucklow, B., & Ready, M., (1993). Spreads, depths, and the impact of earnings information: an intraday analysis (Ecart, profondeurs et l'impact des informations sur les résultats : une analyse intrajournalière). *Review of Financial Studies*, 6:345-374.

tourment vers la Bourse de New York, indépendamment du fait que les cours réels étaient plus bas. L'élan algorithmique des transactions à haute fréquence vend à découvert ces actions et, compte tenu de l'originalité, les transactions à haute fréquence peuvent vendre des stocks. Une deuxième boucle de rétroaction renforce alors la première : alors que des délais s'insinuent et augmentent, la rafale accrue d'activité provenant de la boucle de rétroaction précédente peut produire d'autres désalignements dans les estampilles temporelles des ventes/achats, fermant la *boucle de rétroaction* liée aux délais qui amplifie celle liée aux cours<sup>22</sup>.

**Boucle de rétroaction liée aux indices.** Le rapport final de la CFTC/SEC sur le krach éclair a estimé que la volatilité extrême des valeurs mobilières à composante individuelle a gagné les marchés des ETF (fonds indiciels négociés en bourse) et a conduit les teneurs de marché à arrêter temporairement leurs activités de tenue de marché. En retour, les prix des ETF, immobilisés et souche pour des agrégats fournissent de faux messages systématiques, renforçant en retour la formation du prix des titres et ainsi, fermant la boucle<sup>23</sup>.



NYSE falls, NYSE quotes delayed	La Bourse de New York chute, les cotations de la Bourse de New York sont retardées
Sell orders routed to NYSE	Les ordres de vente sont envoyés à la Bourse de New York
NYSE shows best bid prices	La Bourse de New York montre les meilleurs cours acheteur
Delay worsened	Le retard s'est aggravé

<sup>22</sup> Voir DR7 ainsi que Hunsader, E. (2010). *Analysis of the flash crash, date of event: 20100506, complete text (Analyse du krach éclair, date de l'événement: 06.05.2010, texte complet)*. Nanex Corp., <http://www.nanex.net/20100506/FlashCrashAnalysis CompleteText.html>.

<sup>23</sup> Constate pour les actions, qu'il existe une relation positive entre l'impact du krach éclair et les mesures de fragmentation le mois précédent : Madhavan, A. (2011), *Exchange-Traded Funds, Market Structure and the Flash Crash (Fonds indiciels négociés en bourse, structure de marché et krach éclair)*, Document de travail, BlackRock, Inc.

Volatility up	La volatilité augmente
Single-stock volatility up, factors mispriced	La volatilité des actions particulières augmente, mauvaises cotations
ETF market affected by illiquidity	La pénurie de liquidité touche les marchés des ETF
Market making of single stocks affected	La tenue de marché des actions particulières est affectée
HFTs reduce linkage between markets for EFTs and single stocks	Les transactions à haute fréquence réduisent le lien entre les marchés pour EFT et les actions particulières

**Schéma 6 : Boucle de rétroaction liée aux délais de cotation**

**Schéma 7 : Boucle de rétroaction liée aux indices**

### 3.2 Interactions entre les mécanismes

La force des boucles de rétroaction est liée aux et pilotée par différentes variables, notamment les niveaux de capitalisation et les ratios de levier des institutions financières, comme le degré de diversité des intervenants du marché. Par exemple, si la liquidité est fournie par des opérateurs de THF faiblement capitalisés, par opposition à des teneurs de marché bien capitalisés avec des stocks importants<sup>24</sup>, alors l'action de « se renvoyer la balle » comme les boucles de rétroaction résultantes sont plus marquées car la gestion de stocks avec peu de capital requiert de se séparer rapidement de positions. Dans ce sens, au moins, substituer la vitesse au capital fonctionne bien pour la cotation continue en temps ordinaires mais pourrait ne pas bien fonctionner dans des situations plus tendues où le manque de capital peut contribuer très rapidement à des boucles de rétroaction positives, au lieu de boucles négatives<sup>25</sup>. De la même manière, moins grande est la diversité des intervenants du marché, plus ceux-ci agissent de concert et plus fortes sont les boucles de rétroaction. De plus, lors d'un épisode de risque endogène, la diversité peut elle-même changer en un sens défavorable, conséquence involontaire des interactions combinées entre systèmes de gestion du risque, contraintes réglementaires, appels de

<sup>24</sup> Madhavan (2011) *op. cit.* analyse la boucle de rétroaction entre les fonds indiciels négociés en bourse et les titres se rapportant à ces fonds durant le krach éclair.

<sup>25</sup> Pour des éléments empiriques portant sur l'importance des bilans des fournisseurs de liquidités, voir Comerton-Forde, C., Hendershott, T., Jones, C., Moulton, P., & Seasholes, M. (2010) Time Variation in Liquidity: The Role of Market Maker Inventories and Revenues. (Variations temporelles dans la liquidité : le rôle des stocks et du chiffre d'affaires du teneur de marché), *Journal of Finance*, 65:295-331.

marge et exigences comptables en matière d'évaluation au prix du marché, qui peuvent conduire à la synchronisation instantanée des actions d'un groupe d'institutions, si toutes sont sujettes à des relations, des contraintes et des outils de coordination identiques. Par exemple, la CFTC et la SEC ont trouvé que, durant les minutes décisives du krach éclair, les fournisseurs de liquidités sont devenus demandeurs de liquidités et ont vendu de manière agressive et non sophistiquée sur un marché baissier, dès lors que leurs stocks atteignaient un certain niveau. Une situation où l'apport de liquidités est entre les mains d'un petit nombre d'acteurs de grande taille, mais faiblement capitalisés, peut conduire à un assèchement de liquidités, si un petit nombre de ces grands acteurs inverse leur provision de liquidité (voir aussi le document DR7 pour une estimation de la force de cet effet). En fait, les informations asymétriques (un acteur sait qu'il sait moins qu'un autre) peuvent accroître les deux autres mécanismes d'un grand nombre de façons (voir DR9 pour plus de détails). En effet, les investisseurs peuvent prendre une vente forcée temporaire pour une vente fondée sur une information interne négative, conduisant à une baisse accrue des cours.

De la même manière, dans des environnements de transaction informatisée, il apparaît beaucoup plus facile aux investisseurs pratiquant des prix d'éviction d'accumuler les positions de manière anonyme aujourd'hui qu'hier, tous les traders interagissaient physiquement dans les salles de bourse. Cela est dû en partie au fait que seules les cotations d'un carnet d'ordres à cours limité sont vérifiées (auparavant, une personne physique achetait des contrats dans une fosse centrale) et en partie à la facilité à utiliser des « plate-formes de négoce anonyme », ces bourses où les transactions ne sont rendues publiques qu'après qu'elles aient eu lieu. Si ces acteurs étaient capables de pousser à dessein les cours en cascades, ils pourraient être capables de générer des transactions rentables, leur donnant une incitation à créer de l'instabilité. Si de telles situations peuvent être conçues, il est difficile, en supposant que ces situations existent, d'accéder aux données requises pour établir combien il est facile de lancer une cascade ou en effet, combien ce style d'investisseurs pratiquant des prix d'éviction est commun.

De plus, l'information dans les environnements de transaction informatisée peut présenter de nombreux dangers subtils. Par exemple, même si tous les intervenants du marché étaient au courant qu'un certain événement ne s'était pas produit, il se pourrait que les cours et les quantités du marché ne puissent écarter l'événement, car alors que tous savent qu'il n'a pas eu lieu, il pourrait n'être pas « de notoriété commune » que l'événement n'a pas eu lieu dans le sens qu'il peut encore exister des intervenants qui ne savent pas que d'autres savent que l'événement n'a pas eu lieu. On peut faire valoir que la technologie a supprimé, dans une certaine mesure, la connaissance commune des marchés. Les marchés sont devenus des environnements informatiques distribués en réseau (et un théorème bien connu établit que les événements ne peuvent pas être de notoriété publique dans des environnements informatiques compte tenu de l'absence de centralité simultanée de l'observation, un phénomène parfois appelé le « jeu de

courrier électronique »)<sup>26</sup>. Cela a en effet introduit de vastes sommes de complexité, ne serait-ce que parce que le résultat du marché dépend maintenant d'une façon non-triviale de ce que chaque trader pense que tout autre trader pense sur les pensées de tout autre trader à propos de tout autre trader, et ainsi de suite. Le lien direct entre les résultats du marché et les événements fondamentaux qui pourraient agir comme points d'ancrage pour l'estimation a été rompu et remplacé par un réseau internet complexe de croyances répétées et imbriquées.

### 3.3 Facteurs socio-techniques : la normalisation de la déviance

Cliff et Northrop suggèrent dans DR4 que le « krach éclair » sur les marchés financiers américains du 6 mai 2010 est en réalité un exemple de ce qui est connu techniquement comme une « *défaillance normale* » et expliquent que ces défaillances ont été identifiées auparavant dans d'autres systèmes construits complexes. Ils estiment que l'on peut s'attendre à l'avenir à des défaillances systémiques majeures sur les marchés financiers, au niveau national ou mondial, sauf si des mesures appropriées sont prises.

Les « défaillances normales » (expression inventée par Charles Perrow en 1984<sup>27</sup>) dans les systèmes construits sont des défaillances importantes au niveau du système, qui deviennent presque certaines lorsque la complexité et l'interconnexion du système s'accroît. Des exemples antérieurs de défaillances normales comprennent l'accident qui a compromis la mission lunaire *Apollo 13*, les accidents nucléaires de Three Mile Island et Tchernobyl, et les pertes des deux navettes spatiales américaines *Challenger* et *Columbia*.

Comme Cliff et Northrop le mentionnent dans DR4, la sociologue américaine Diane Vaughan a produit des analyses détaillées du processus ayant entraîné les pertes de type « défaillances normales » de *Challenger* et *Columbia* et a fait valoir que le principal facteur en est la tendance humaine naturelle à s'engager dans un processus qu'elle a baptisé<sup>28</sup> « *normalisation*

---

<sup>26</sup> Pour plus de détails sur la façon dont les intermédiaires gèrent le risque et comment cette gestion affecte la dynamique des cours, voir Duffie, D. (2010), Presidential Address: Asset Price Dynamics with Slow-Moving Capital (Discours présidentiel : dynamique du prix des actifs avec un capital peu mobile), *Journal of Finance*, **65**:1237-1267. Pour des mesures empiriques de l'ampleur, voir Hendershott, T. & Menkveld, A. (2011), *Price Pressures (Pressions sur les prix)*. <http://ssrn.com/abstract=1411943>.

<sup>27</sup> Voir : Rubinstein, A. (1989). The electronic mail game: Strategic behavior under almost common knowledge (Le jeu de messagerie électronique : comportement stratégique en condition de savoir presque commun). *American Economic Review*, **79**:385–391; et Halpern, J. & Moses, Y. (1990). Knowledge and common knowledge in a distributed environment (Savoir et savoir commun dans un environnement distribué). *Communications of the ACM*, **37**(3):549–587.

<sup>28</sup> Perrow, C. (1984). *Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies (Défaillances normales : Vivre avec des technologies à haut risque)*. New York: Basic Books.

*de la déviance* » : lorsqu'un événement déviant se produit, dont on pensait auparavant qu'il était très susceptible de conduire à un échec désastreux, s'il n'est suivi d'aucun désastre, la tendance est de réviser l'opinion reçue sur le danger de l'événement déviant, et de croire qu'en réalité, il est normal : la « déviance » devient « normalisée ». Par essence, le fait qu'aucun désastre n'est intervenu est pris comme preuve qu'aucun désastre n'est probable si des circonstances identiques se reproduisent dans le futur. Cette ligne de raisonnement n'est brisée que lorsqu'un désastre se produit, confirmant l'évaluation initiale de la menace représentée par l'événement déviant.

Cliff et Northrop font valoir que le krach éclair résultait, du moins en partie, de la normalisation de la déviance. Pendant de nombreuses années, bien avant le 6 mai 2010, des inquiétudes sur les effets systémiques d'augmentations rapides de la volatilité des prix de différents instruments avaient conduit plusieurs bourses britanniques à mettre en place des règles dites « soupape de sécurité », qui nécessitaient de suspendre les transactions pour un titre pour quelque temps si le cours de ce titre était modifié de plus d'un certain pourcentage dans un laps de temps suffisamment court. Répondant au krach éclair, la SEC américaine a maintenant renforcé des mécanismes similaires sur les marchés des Etats-Unis afin de prévenir la répétition d'un tel événement. Il semble dès lors plausible de faire valoir qu'avant la survenue du krach éclair, un degré important de normalisation de la déviance était à l'œuvre : des changements à grande vitesse des cours des actions avaient été constatés, les intervenants du marché étaient bien conscients que ce phénomène pouvait conduire à un krach à grande vitesse, mais ces signaux d'alerte avaient été ignorés et l'on s'opposa à l'introduction de mesures de sécurité qui auraient pu les éviter.

En outre, on pourrait vraisemblablement faire valoir que la normalisation de la déviance s'est poursuivie sur les marchés depuis le krach éclair. Des histoires anecdotiques (résumées en DR4) rapportent que le prix des fluctuations des cours dans les limites des soupapes de sécurité semble augmenter sur certains marchés ; des données suggèrent qu'un autre krach éclair fut « évité » le 1<sup>er</sup> septembre 2010, dans une période aussi bizarre où les volumes des cotations ont même excédé celui du pic d'activité du 6 mai 2010. Pourtant, aucune enquête officielle n'a été ordonnée pour comprendre cet événement. De plus, les mécanismes de soupape de sécurité dans chacun des principaux centres de transactions mondiaux ne sont pas harmonisés, défaut qui les expose à des opportunités d'arbitrage de traders exploitant les différences. Les systèmes informatiques et de communication peuvent encore connaître une défaillance ou être sabotés par des ennemis du système, et il se peut que les effets systémiques de ces défaillances n'aient pas encore été pleinement pensés.

Bien évidemment, le prochain krach éclair ne sera pas identique au précédent. Les nouvelles soupapes de sécurité de la SEC y veilleront. Mais rien ne garantit que le futur ne connaisse pas un autre événement, tout aussi violent, sans précédent et rapide (voire plus rapide) que le krach éclair. Le processus de normalisation de la déviance peut être très ancré et

pernicieux. Après *Challenger*, la NASA a traité les causes immédiates de l'accident (défaillance d'un joint de la fusée de lancement) et a cru en la sécurité de la navette. L'équipage de *Columbia* n'en a pas été sauvé pour autant.

Les garanties des régulateurs risquent de sonner un peu creux car aussi loin que l'on regarde, on constate la défaillance presque complète des organes de régulation qui, lors de la crise des prêts hypothécaires à risque, n'ont rien dit d'utile hormis après le moment où sa sévérité était devenue évidente même aux observateurs les moins experts. La régulation à petites touches et ses conséquences pour les marchés financiers du Royaume-Uni ont été abordées dans la *Turner Review* de 2009<sup>29</sup>. En corollaire, Shin (2010) a discuté des apports des normes Bâle II aux causes de la crise des *subprimes*. La prochaine défaillance des marchés pourrait bien être due à l'échec d'une technologie risquée qui, comme le krach éclair, n'a pas de précédent net.

Cliff et Northrop font valoir en DR4 que le processus de normalisation de la déviance constitue une menace pour la stabilité des marchés financiers mondiaux reposant sur la technologie et que les dangers encourus du fait de la normalisation de la déviance et les défaillances normales sont plutôt accrus sur les marchés financiers car le réseau interconnecté globalement de traders humains et informatiques constitue ce que la publication universitaire nomme un *système de systèmes socio-techniques* (c'est-à-dire un enchevêtrement interconnecté d'hommes et de systèmes informatiques adaptatifs, qui interagissent ensemble, alors que le système global est composé d'entités constituantes qui sont elles-mêmes des systèmes entiers indépendants, sans gestion d'ensemble ou de coordination uniques). De tels systèmes sont si radicalement différents des systèmes conçus traditionnellement qu'il existe très peu de lignes directives, scientifiques ou d'ingénierie, établies qui nous permettent de comprendre comment gérer et contrôler ces super-systèmes. Cette question de la normalisation de la déviance sur les marchés financiers et son rôle dans la mise en évidence d'options réglementaires possibles ont été récemment débattus plus en détail par Haldane (2011)<sup>30</sup>.

#### **4. Comment la transaction informatisée peut affecter la stabilité financière à l'avenir ?**

L'ampleur de la transaction informatisée, laissée à son propre compte, pourrait encore s'accroître et les facteurs de risque endogènes soulignés ci-

---

<sup>29</sup> Vaughan, D. (1997), *The Challenger Launch Decision: Risky Technology, Culture and Deviance at NASA*. (La décision de lancer Challenger : technologies à risque, culture et déviance à la NASA). University of Chicago Press.

<sup>30</sup> [http://www.fsa.gov.uk/pubs/other/turner\\_review.pdf](http://www.fsa.gov.uk/pubs/other/turner_review.pdf)

dessous continuer de s'exercer. Le mélange des trois mécanismes peut cependant avoir trouvé sa répartition. Par exemple, il existe des limites naturelles à la transaction générée par la transaction à haute fréquence en matière d'arbitrage pour compte propre (« de court terme »). Tout d'abord, ces opérations réalisées par des acteurs THF de part et d'autre de la transaction ne peuvent générer des profits que pour un côté. Ensuite, le *théorème de la non-transaction (no-trade théorème)*<sup>31</sup> prédirait qu'une fois que les acteurs sauraient que les seules opérations effectuées le sont par des traders pratiquant l'arbitrage pour compte propre sur le court terme qui, fondamentalement, ne sont pas motivés pour garder longtemps les titres, les échanges cesseraient. Enfin, une grande part des profits et rentes des transactions à haute fréquence sont perdus du fait de la concurrence accrue. Des rapports récents indiquent que les profits des entreprises de THF ont été revus à la baisse<sup>32</sup> et une étude universitaire récente<sup>33</sup> a montré que l'ensemble des bénéfices pouvant être retirés par la THF pourrait être moins important que certains le pensent. L'examen des modèles de transaction semble attester que la pénétration de la THF pourrait avoir atteint un point d'équilibre sur la négociation d'actions de Londres et Euronext (voir DR5). En un mot, la transaction informatisée pourrait gagner des parts de marché car de plus en plus d'investisseurs côté achat l'utilisent, mais la transaction d'intermédiation pour compte propre est naturellement limitée à l'activité principale de transaction des opérateurs de la sphère réelle de l'économie.

Si la transaction informatisée s'impose avec la fin des bourses à la criée (où des traders humains interagissent en forte proximité) et d'autres mécanismes centralisés, les phénomènes de disparition du savoir commun et de création de réseaux complexes de croyances s'accroîtront. Sur le *Chicago Mercantile Exchange* (Bourse de commerce américaine), par exemple, certains contrats sont passés de la criée à un modèle hybride comportant un système de criée durant la journée et des marchés électroniques en dehors de ces heures. Dans les dix prochaines années, la substitution de la transaction à la criée par la cotation informatisée pourra se poursuivre, rendant toujours plus essentiels les effets décrits ci-dessus.

Les institutions financières procèdent à une optimisation qui dépend de l'environnement réglementaire, ce qui signifie que les contraintes lieront souvent les parties et pourront influencer la dynamique des marchés de façon inattendue et souvent fâcheuse. Les publications universitaires ont par

---

<sup>31</sup> Haldane, A.S. (2011). *The Race to Zero (La Course à Zéro)*.  
<http://www.bankofengland.co.uk/publications/speeches/2011/speech509.pdf>.

<sup>32</sup> Milgrom, P. et Stokey, N. (1982). Information, trade and common knowledge (Information, commerce et savoir commun). *J. Economic Theory*, **26**:17–27.

<sup>33</sup> Voir, par exemple, Cave, T. (2011): <http://www.efinancialnews.com/story/2010-10-18/high-frequency-party-over>.

exemple identifié de nombreux cas où apparaît une « erreur de composition » : le système de marché est instable, bien que chaque algorithme, pris séparément, soit stable<sup>34</sup>. Cela indique fortement que si une fonction test pour les algorithmes était introduite, la sûreté individuelle ne serait ni un critère suffisant, ni même nécessaire, de stabilité systémique. Ainsi, pour prédire le futur de la transaction informatisée et de la stabilité financière, il faut émettre des hypothèses sur les évolutions réglementaires et les autres contraintes futures des marchés et penser en détail la nouvelle dynamique. De nouvelles études approfondies pourront par exemple fournir des indications sur la manière dont les temps de repos minimum ou les échelons minimum de cotation affectent la dynamique non linéaire des marchés et la stabilité financière.

Une autre caractéristique institutionnelle intervenant dans la stabilité future réside dans la segmentation des marchés entre les différentes places boursières concurrentes. De nos jours, la transaction à haute fréquence s'occupe d'aligner les valeurs de titres particuliers, paniers de titres et produits dérivés des différentes places, une tâche utile socialement pour laquelle les transactions à haute fréquence perçoivent une rémunération. Mais la protection sociale nécessite que ce rôle soit rempli de manière permanente par des acteurs bien capitalisés. Il existe un faible risque que les transactions à haute fréquence, en situation de tension de marché, d'appels de marge ou de pression collatérale, ne soient pas capables ou désireuses d'effectuer cette tâche.

Les absences de linéarités dans la fourniture de liquidités (conduisant à des renversements rapides entre festin et famine) sont une cause fondamentale de la dynamique non linéaire de l'ensemble du système et méritent un examen plus approfondi. La plupart du temps, la transaction à haute fréquence renforce la liquidité, mais parfois (en période de tension ou de crise), il la diminue, créant des discontinuités de prix. Ces non-linéarités de liquidité sont probablement devenues plus graves dans un monde dominé par la transaction à haute fréquence en raison des effets discutés ci-dessus, qui ont rendu le « problème des teneurs de marché » à gérer le stock et les informations non seulement différent mais aussi plus difficile dans son ensemble.

Au final, en conclusion, dans un monde où existent de nombreuses places boursières et de formation des prix interconnectés par les transactions à haute fréquence, la topologie du réseau détermine la stabilité comme le flux des informations et des échanges. Avec la prolifération attendue des plateformes de négoce anonymes privées, la liquidité totale sur l'ensemble des places pourrait être plus importante que celle résultant de seuls échanges monopolisés, mais le comportement dynamique de la liquidité dépendra de

---

<sup>34</sup> Kearns, M., Kulesza, A., & Nevmyvaka, Y (2011). Empirical Limitations of High Frequency Trading Profitability (Limites empiriques de la rentabilité de la transaction à haute fréquence). *The Journal of Trading*, 5(4):50-62. <http://ssrn.com/abstract=1678758>.

plus en plus de la structure du réseau ainsi que des spécificités des transactions à haute fréquence qui relient les places boursières. Un choc de liquidité sur une place boursière, qui aurait pu passer inaperçu sur une grande banque centralisée, peut maintenant affecter les cours sur cette place. En temps normal, le prix aberrant disparaîtrait rapidement car les transactions à haute fréquence inter-places achètent à bas prix et vendent lorsque le cours est élevé. En situation de tension, cependant, le capital des transactions à haute fréquence peut être limité ou les transactions à haute fréquence elles-mêmes peuvent commencer à douter des prix (comme cela est arrivé lors du krach éclair de 2010) et stopper l'arbitrage. Les investisseurs de l'économie réelle commencent alors à perdre confiance dans les valeurs de la bourse. Les pressions qui en résultent signifient que les transactions à haute fréquence ne contribuent plus à la fourniture de liquidités, ce qui aggrave la divergence des prix sur les différentes places. Le choc se transmet alors à travers le réseau et ses effets sont renforcés par un retour positif, comme l'illustre le Schéma 8. Les négoce et les transactions se dérouleront à des prix socialement inefficaces et les évaluations au prix du marché peuvent seulement être effectuées à des cours de référence multiples et non disponibles. Comprendre comment éviter de telles situations et les contenir lorsqu'elles surviennent, constitue un sujet ultérieur de recherche.



Initial liquidity shock on one trading venue, HFT capital strained	Choc de liquidité initiale sur une place boursière, les capitaux des transactions à haute fréquence sont mis sous pression
HFTs reduce linkage among trading venues	Les transactions à haute fréquence réduisent les liens entre les places
Prices diverge across multiple market venues	Les prix divergent sur les différentes places
HFTs take a hit	Les transactions à haute fréquence encaissent le coup
Market stress, illiquidity, real money disappears	Tension sur les marchés, pénurie de liquidité, la monnaie réelle disparaît

**Schéma 8 : Boucle de rétroaction liée à une divergence systémique**

## 5. Conclusion

Les marchés comprenant des proportions importantes de traders à haute fréquence constituent un phénomène récent. Un des aspects les plus nouveaux de leur dynamique réside dans le fait que les interactions se déroulent à un rythme tel que l'homme ne pourrait les empêcher. En ce sens, une limite importante a été franchie en termes de rapidité. Les avantages des ordinateurs sur les hommes en ce qui concerne la vitesse ont rendu la transaction informatisée presque obligatoire. Cela entraîne potentiellement de nouveaux phénomènes et incertitudes dans l'ensemble du système. La question essentielle des informations asymétriques devient plus grave (et en effet, sa nature même est modifiée) que dans le passé ; et la source première des liquidités fournies a changé. Elle réside maintenant dans les systèmes de transactions informatisées et à haute fréquence, ce qui a des conséquences sur la solidité des marchés en périodes de tensions.

La recherche ne fournit à ce jour aucune preuve directe attestant que la transaction informatisée à haute fréquence a accru la volatilité. Dans des circonstances spécifiques, néanmoins, des boucles de rétroaction qui s'auto-renforcent avec des processus de contrôle et de gestion bien intentionnés peuvent amplifier les risques internes et conduire à des interactions et des résultats non désirés. Ces boucles de rétroaction peuvent inclure des systèmes de gestion du risque et être dus à des changements dans le volume ou la volatilité du marché, à des informations de marché et à des retards dans la distribution de données de référence. Une seconde cause d'instabilité des marchés est sociale : la *normalisation de la déviance*, un processus reconnu comme une menace majeure dans la conception de systèmes dont la sûreté est essentielle, comme des avions ou des navettes spatiales, peut aussi affecter l'ingénierie de systèmes de transactions informatisées.

# **Article 2 : L'impact de la transaction informatisée sur la liquidité, l'efficacité / la formation des prix et les coûts de transaction**

Oliver Linton, Université de Cambridge,

Maureen O'Hara, Université Cornell.

# Principaux résultats

Dans l'ensemble, la liquidité s'est améliorée, les coûts de transaction sont moins élevés et l'efficacité du marché n'a pas souffert de la transaction informatisée dans les conditions normales de marché.

La nature de la tenue de marché a changé, passant de fournisseurs désignés à des traders opportunistes. Les traders à haute fréquence fournissent maintenant la majeure partie de la liquidité, mais leur utilisation d'un capital limité, qui va de pair avec une vitesse ultra rapide, fait naître une immobilisation périodique potentielle.

Le rééquilibrage informatisé de portefeuilles et les algorithmes déterministes introduisent des éléments prévisibles dans le carnet d'ordres. Cela permet une plus grande efficacité du marché, mais également de nouvelles formes de manipulation du marché.

Les avancées technologiques dans l'extraction de nouvelles informations vont augmenter la demande en transaction à haute fréquence, alors qu'une participation accrue à cette transaction limitera sa rentabilité.

## Résumé exécutif

La transaction informatisée est devenue la norme sur les marchés, affectant tout, du choix du portefeuille à la passation d'ordre, à la tenue de marché, à la compensation et au règlement. De nouveaux acteurs comme les traders à haute fréquence (HFT) et de nouvelles stratégies employant la transaction algorithmique (TA) influencent le comportement et la qualité des marchés. Avec des taux de participation estimés à 30-50 % sur les bourses des actions européennes et allant jusqu'à 70 % sur les bourses des actions américaines, les transactions à haute fréquence influencent profondément les marchés actuels.

Il est alors naturel de s'inquiéter de la manière dont cette transaction informatisée affecte la qualité des marchés. Celle-ci est habituellement exprimée en termes de liquidité, de coûts de transaction et d'efficacité des prix. Notre article fournit des données relatives à ces effets sur les marchés actuels et examine les impacts futurs que la transaction informatisée aura vraisemblablement sur la qualité des marchés.

Les éléments recueillis indiquent que la transaction informatisée (sous la forme de la transaction à haute fréquence ou de la transaction algorithmique) a en général amélioré la qualité des marchés. La liquidité, mesurée par les écarts de prix vendeur et acheteur ainsi que par d'autres indicateurs, s'est améliorée dans la dernière décennie. Dans cette période, les coûts de transaction ont également chuté tant pour les traders individuels qu'institutionnels. Ces effets sur la liquidité et le coût des transactions ont été particulièrement marqués pour les bourses importantes. Des données prouvent aussi que les prix de marché sont plus efficaces, en accord avec l'hypothèse selon laquelle la transaction informatisée relie les marchés et facilite ainsi la formation des prix.

Alors que la liquidité globale s'est améliorée, il semble que le potentiel pour une immobilisation périodique se soit accru. La nature de la tenue de marché a changé, les traders à haute fréquence fournissant maintenant la majeure partie des volumes échangés, tant en contrats à terme (*futures*) qu'en actions. A la différence des spécialistes désignés traditionnellement, les traders à haute fréquence opèrent habituellement avec peu de capital, tiennent de petites positions sur le stock et n'ont pas d'obligations de fournir de la liquidité durant les périodes de tension sur les marchés. La vitesse de transaction et l'interconnexion des marchés rendues possibles par le trader à haute fréquence peuvent transmettre des perturbations presque instantanément à travers les marchés. Le krach éclair américain (*Flash Crash*), comme de plus petits événements récents d'immobilisation, illustre ce potentiel accru d'une immobilisation périodique.

La prévisibilité des flux d'ordres provenant des algorithmes de rééquilibrage des fonds communs de placement et de transaction déterministes crée des perturbations potentielles dans la qualité des marchés. De nouvelles formes de manipulation, comme les algorithmes programmés pour exploiter d'autres

algorithmes, peuvent accroître les coûts de transaction et faire diverger les cours hors des niveaux efficaces. Accroître la concurrence dans le domaine de la haute fréquence devrait limiter ces effets, comme le feraient de nouvelles dispositions réglementaires.

Alors que certaines données indiquent que la transaction à haute fréquence a diminué au début de 2011, elle a émergé de nouveau avec la volatilité récente des marchés. La transaction à haute fréquence et la transaction algorithmique continueront d'être importantes au fur et à mesure que les avancées technologiques fourniront des opportunités rentables d'échanges basés sur des techniques d'analyse informatisée des informations (*computerised news analyse* ou *NA*). De nouveaux changements dans la réglementation pourraient limiter la rentabilité de la transaction à haute fréquence dans le futur.

## I. Introduction

La technologie a transformé les marchés des actifs financiers, touchant toutes les étapes du processus de transaction, depuis le choix des actifs jusqu'à la compensation et au traitement des transactions. Les gestionnaires de portefeuilles utilisent désormais des systèmes informatisés de gestion des ordres pour suivre les positions et déterminer les transactions souhaitées, puis se tournent vers les systèmes informatisés de gestion de l'exécution pour envoyer leurs ordres aux places boursières les plus éloignées. Les algorithmes informatiques, programmés pour satisfaire les souhaits spécifiques de transaction, réalisent une analyse par permutation d'axes des ordres afin d'opérer à la fois dans le temps, le jour de la transaction, et dans l'espace, sur les divers marchés. Les traders à haute fréquence utilisent des ordinateurs ultra-rapides et des liens de marché à la fois pour fournir et prendre de la liquidité sur et entre les marchés. L'analyse des coûts de transaction, en utilisant des ordinateurs pour capter les mouvements des prix sur et entre les marchés permet ensuite aux gestionnaires d'actifs de calculer leurs coûts de transaction pour des stratégies spécifiques de transaction et de prédire leurs coûts en utilisant des stratégies alternatives.

Il est particulièrement frappant de noter que presque toutes ces innovations sont intervenues ces 10 dernières années<sup>35</sup>. Dans ce court laps de temps, l'écologie du marché a changé, les marchés passant de monopoles traditionnels fondés sur la bourse à des réseaux de places reliées par les ordinateurs<sup>36</sup>. Pourtant, alors que le processus de transaction sur les

---

<sup>35</sup> Ce point est discuté par Samuelson, P. (1947). *Foundations of Economic Analysis (Fondements de l'analyse économique)*, Harvard University Press.

<sup>36</sup> Voir dans DR5 l'examen des origines et de la croissance de la transaction informatisée.

marchés a changé, la fonction des marchés reste la même : ils fournissent la liquidité et la formation des prix, ce qui facilite l'allocation du capital et la gestion de risques. L'objectif de cet article est de mettre en évidence ce que l'on connaît et ce que l'on ne connaît pas de l'impact de la transaction informatisée sur la liquidité, les coûts de transaction et l'efficacité du marché. L'évolution vraisemblable de la transaction informatisée dans le futur est également envisagée, en ce qui concerne la qualité du marché.

## **2. L'impact de la transaction informatisée sur la liquidité, les coûts de transaction et l'efficacité des prix**

Les multiples façons dont les ordinateurs affectent le processus de transaction compliquent la détermination de l'impact de la technologie sur la qualité du marché (terme général utilisé pour qualifier la liquidité, le coût de transaction et l'efficacité des prix d'un marché). De plus, il n'existe pas encore de vision commune sur la manière de définir certaines de ces innovations technologiques. La transaction à haute fréquence en est une bonne illustration. Les transactions à haute fréquence, quasiment inconnues il y a cinq ans, réalisent pourtant 70 % ou davantage des opérations sur les bourses des actions et les marchés de contrats à terme. Le document de l'autorité américaine des marchés financiers *2010 Concept Release on Equity Market Structure* (SEC (2010)) décrit les technologies et les algorithmes employés par les traders à haute fréquence pour capitaliser sur de très courtes informations grappillées dans des données publiques, en utilisant des techniques quantitatives sophistiquées, notamment statistiques, économétriques et d'apprentissage automatique. Pourtant, même avec cette description générale, la SEC souligne la difficulté à caractériser ce que signifie exactement la transaction à haute fréquence :

*« Le terme est relativement nouveau et n'est pas encore défini clairement. Il est utilisé typiquement pour se référer à des traders professionnels réalisant des arbitrages pour compte propre, qui s'engagent dans des stratégies générant un grand nombre d'opérations par jour... D'autres caractéristiques sont souvent attribuées à ces sociétés d'arbitrage pour compte propre présentes dans la transaction à haute fréquence : (1) l'utilisation de programmes informatisés extraordinairement rapides et sophistiqués pour la genèse, le routage et l'exécution des ordres ; (2) l'utilisation de services de colocalisation et de fourniture individualisée de données offerts entre autres par les bourses pour minimiser les temps d'attente du réseau et les autres latences ; (3) de très courts délais pour établir et liquider les positions ; (4) la passation d'ordres nombreux qui sont annulés peu de temps après ; et (5) une fin de journée caractérisée par une position aussi inchangée que possible (c'est-à-dire s'efforcer à ne pas détenir de positions non couvertes importantes durant la nuit)»<sup>37</sup>.*

---

<sup>37</sup> Voir DR6 sur ce point.

Bien que la définition du sens exact de trader à haute fréquence manque de clarté, peu sont ceux qui contestent son importance sur les marchés. De nombreux traders à haute fréquence se comportent comme des teneurs de marché en plaçant des ordres passifs à cours limité sur des carnets d'ordres électroniques<sup>38</sup>. Ces ordres passifs fournissent la contrepartie pour les traders souhaitant trouver un acheteur ou vendeur sur le marché. De plus, les traders à haute fréquence se livrent souvent à l'arbitrage statistique, utilisant leur connaissance des corrélations entre et sur les marchés pour acheter une action présentant un cours bas tout en vendant une action corrélée à un prix plus élevé. Cette activité « transfère » avant tout de la liquidité entre les marchés, donnant une nouvelle dimension à la fonction de tenue de marché. Le caractère central de ce rôle signifie que les traders à haute fréquence sont fortement impliqués dans l'activité du marché. Des estimations de la participation des traders à haute fréquence au volume des transactions en actions des Etats-Unis font état d'un pourcentage allant jusqu'à 77 %, quand celles pour les bourses des actions européennes s'établissent entre 30 et 50 %. Les estimations de la participation des traders à haute fréquence dans la transaction des contrats à terme et des devises sont dans le même ordre de grandeur. Tabb Securities estime les profits des traders à haute fréquence en 2010 à 7,2 milliards de dollars, bien que Kearns, Kulesza et Nevmyvaka (2010) parviennent à un montant beaucoup moins important<sup>39</sup>.

Il existe quelques différences importantes entre cette tenue de marché à haute fréquence et sa contrepartie traditionnelle fondée sur des spécialistes. Les teneurs à haute fréquence de marché se fient à des connexions informatiques à grande vitesse (souvent obtenues en co-localisant leurs ordinateurs à la bourse) pour entrer un nombre gigantesque d'opérations afin d'empocher l'écart de prix vendeur et acheteur. Ces traders tiennent généralement des positions pour de très courtes périodes (des microsecondes, dans certains cas) et certains opèrent avec des niveaux de capitaux très peu élevés. Alors que, sur des marchés traditionnels, les spécialistes avaient l'obligation d'être prêts à acheter et à vendre, les teneurs à haute fréquence opèrent de manière opportuniste : typiquement, ils ne tiennent pas des positions de stock importantes et gèrent leurs risques en réduisant la transaction lorsque les conditions de marché sont trop défavorables<sup>40</sup>. Ce comportement fait planer le spectre d'une pénurie de liquidité périodique.

Le débat autour de la transaction à haute fréquence est devenu de plus en plus sensible, reflétant des perspectives variées sur la capacité (et

---

<sup>38</sup> Voir *Securities and Exchange Commission*, 2010, Concept Release on Equity Market Structure (La structure des marchés actions), *Release No.* 34-61458; *File No.* S7-02-10, page 45.

<sup>39</sup> Voir Brogaard (DR10) et Hendershott (DR12).

<sup>40</sup> M. Kearns, A. Kulesza, et Y. Nevmyvaka, 2010, Empirical Limitations of High Frequency Profitability (Limites empiriques de la rentabilité à haute fréquence), Document de travail, Université de Pennsylvania.

l'opportunité) des traders à haute fréquence à agir plus rapidement (et sur la base d'informations potentiellement plus nombreuses) que d'autres traders<sup>41</sup>. Paul Krugman présente une vision anticonformiste de la transaction à haute fréquence :

*« Il est difficile d'imaginer une meilleure illustration (de l'inutilité sociale) que la transaction à haute fréquence. La bourse des actions est supposée allouer des capitaux à ses usages les plus productifs, par exemple, en aidant des entreprises dotées de bonnes idées à lever de l'argent. Mais il est difficile de voir comment les traders qui placent leurs ordres un trentième de seconde plus vite que le reste des acteurs font quoi que ce soit pour améliorer cette fonction sociale... nous sommes devenus une société dans laquelle les gros sous vont aux mauvais acteurs, une société qui récompense généreusement ceux qui nous appauvrissent<sup>42</sup>. »*

Indépendamment de la rhétorique, alors que les questions autour de la transaction informatisée et de la transaction à haute fréquence en particulier sont complexes, elles sont soumises à l'analyse économique. Un bon point de départ consiste à considérer comment la qualité du marché s'améliorait alors que se développait cette nouvelle écologie du marché<sup>43</sup>.

### **3. Passé : quel a été l'impact de la transaction informatisée sur la qualité du marché ces dernières années ?**

#### **3.1 Liquidité**

La liquidité est une propriété fondamentale d'un marché caractérisé par un bon fonctionnement et un manque de liquidité est généralement au cœur de nombreuses crises et désastres financiers. Il est pourtant problématique de définir la liquidité. A son niveau le plus simple, un marché est liquide si un trader peut acheter ou vendre sans affecter considérablement le prix de

---

<sup>41</sup> On note que les spécialistes traditionnels évitaient également de tenir des positions comportant un grand nombre de titres. Dans l'intervalle, le nombre de spécialistes obligés à tenir les marchés s'est réduit avec la concurrence nouvelle. Sur la bourse londonienne (le *London Stock Exchange* ou *LES*), il existe des animateurs de marché officiels pour de nombreux titres (mais pas pour les actions des sociétés les plus grandes et faisant l'objet d'un grand nombre de transactions, qui utilise en la matière un système automatisé nommé TradElect). Certaines des sociétés membres de la LES adoptent l'obligation de toujours donner un double prix pour toutes les actions pour lesquelles elles assurent la tenue du marché. Leurs prix sont souvent ceux affichés par le système SEAQ (*Stock Exchange Automated Quotation*). En règle générale, ces sociétés travaillent avec les courtiers, qui achètent et vendent des actions pour le compte de leurs clients.

<sup>42</sup> Les traders à haute fréquence reçoivent des flux automatisés de données (*proprietary data feeds*) pour obtenir des informations sur la situation du marché aussi rapidement que possible. Aux Etats-Unis, cela signifie qu'ils reçoivent les informations avant que celle-ci ne soient présentes sur le dispositif de publication des données consolidés (*consolidated tape*), soulevant des débats sur l'équité du processus comme sur ses effets potentiellement négatifs sur le coût du capital (voir SEC [2010] (op cit) sur ce point).

<sup>43</sup> *New York Times*, 2 août 2009.

l'actif. Cette simple définition entraîne pourtant un grand nombre de questions. Le volume sur lequel un trader veut opérer est-il important ? Le temps, ou le temps d'exécution d'un ordre, n'est-il pas également important ? La liquidité ne dépendra-t-elle pas pour partie de la stratégie de transaction utilisée ? La liquidité ne signifie-t-elle pas des choses différentes pour les différents traders ?

Les universitaires et les praticiens des marchés ont développé un grand nombre d'approches pour mesurer la liquidité. Les universitaires font valoir que la liquidité est la mieux mesurée ou définie par des attributs comme l'étroitesse, la résistance et la profondeur<sup>44</sup>. L'étroitesse est la différence entre le cours à la transaction et le cours initial. La profondeur correspond au volume qui peut être échangé au cours actuel. La résistance fait référence à la vitesse à laquelle le cours revient à son niveau initial après quelques transactions (faites au hasard). En pratique, les chercheurs et les praticiens se fient à un grand nombre de mesures pour saisir la liquidité. Ces mesures incluent les écarts entre prix vendeur et acheteur (étroitesse), le nombre d'ordres sur le carnet d'ordres (profondeur) et l'impact du prix des opérations (résistance). Les modèles analytiques des coûts de transaction (en anglais, *TCA* pour *Transaction cost analytical models*) utilisent des mesures comme les écarts réalisés et les écarts effectifs pour mesurer la liquidité réelle, ainsi que les cours des transactions et la dynamique du carnet d'ordres pour prévoir la liquidité attendue.

Dans les marchés actuels, les acteurs se plaignent souvent du caractère transitoire de la liquidité, ce qui signifie que les ordres sont passés et annulés dans un très court laps de temps, donc ne sont pas accessibles à l'investisseur moyen. A rebours de cet argument, on peut dire que les algorithmes découpent des ordres très importants (l'ordre « parent ») en ordres « enfants », plus petits, qui sont exécutés en lieu et en heure. Comme l'ordre parent n'est pas visible, ces ordres enfants sont souvent cachés partiellement au marché. Ainsi, la liquidité *per se* représente un objectif fluctuant et les traders la recherchent en utilisant différentes stratégies informatiques. Un grand nombre d'algorithmes tels « Guerrilla » du Crédit Suisse, « Stealth » de Goldman Sachs ou « Dark » d'ITG sont conçus pour trouver de la liquidité sans révéler les intentions de transaction ou même l'existence du donneur d'ordres. Cette dichotomie entre des marchés transparents ou opaques ajoute une dimension au défi de trouver de la liquidité sur les marchés informatisés, et d'y accéder.

La principale question est de savoir si la transaction informatisée (soit sous la forme de transaction algorithmique ou d'activités à haute fréquence plus

---

<sup>44</sup> Le développement des innovations présentées ici a eu lieu pour une très grande partie dans la dernière décennie, une période également caractérisée par une crise financière et bancaire très importante, puis par une crise de la dette souveraine. De plus, tant l'Europe que les Etats-Unis ont connu de considérables changements réglementaires dans le cadre de la directive européenne MIF et de la réglementation américaine NMS. En conséquence, on ne peut attribuer ces changements dans le comportement du marché qu'avec prudence aux innovations technologiques.

généralement) est associée avec une diminution ou une augmentation de la liquidité en conditions normales de marchés. Une question tout aussi importante est de savoir si cette transaction exacerbe les problèmes de liquidité dans des situations de tension sur le marché.

Un grand nombre d'études ont été réalisées pour essayer d'identifier la transaction informatisée et ses conséquences sur le carnet d'ordres et les transactions. Hendershott, Jones et Menkveld (2011) utilisent l'automatisation de la dissémination des cotations de la Bourse de New York comme expérience implicite pour mesurer l'effet causal de la transaction algorithmique sur la liquidité<sup>45</sup>. En 2003, la Bourse de New York a commencé à introduire progressivement le système d'auto-cotation, donnant par là une plus grande place à la transaction informatisée. A partir de six bourses importantes et actives, le système fut généralisé en cinq mois à l'ensemble des actions de la Bourse de New York. Ce changement eut pour conséquence une réduction des écarts de prix vendeur acheteur, qui fut interprétée comme une transaction algorithmique améliorant la liquidité et réduisant la sélection défavorable. Le phénomène était encore plus net pour les bourses importantes. Chaboud *et al.* (2009) disposent également de résultats concernant la liquidité sur le marché des changes des Services de courtage électroniques (*Electronic Broking Service*)<sup>46</sup>. Bien que certains traders algorithmiques semblent restreindre leur activité dans la minute suivant la communication de données macroéconomiques, ces acteurs augmentent leur offre de liquidité dans l'heure suivant chaque communiqué.

Hasbrouck et Saar (2010) ont étudié les données du carnet d'ordres du NASDAQ dans les mois d'octobre 2007 et de juin 2008<sup>47</sup>. Examinant 500 des plus grandes sociétés, ils ont construit une mesure de l'activité de transaction à haute fréquence en identifiant des « parcours stratégiques » (*strategic runs*), c'est-à-dire les soumissions, annulations, exécutions liées, susceptibles d'entrer dans une stratégie dynamique. Ils concluent qu'une activité accrue à faible temps d'attente améliore les mesures traditionnelles de la qualité du marché, comme les écarts et la profondeur présente dans le carnet d'ordres à cours limité. Elle réduit également la volatilité de court terme.

---

<sup>45</sup> Voir Kyle, A. P., 1985, Continuous Auctions and Insider Trading (Enchères continues et *insider trading*), *Econometrica*, 53, 1315-1335, et O'Hara, M., 1995, Market Microstructure Theory (Théorie de la microstructure de marché), (Blackwell, Oxford), pour un examen de ce point.

<sup>46</sup> Hendershott, T., C. Jones et A. Menkveld, 2011, Does Algorithmic Trading Improve Liquidity ? (La transaction algorithmique améliore-t-elle la liquidité ?), *Journal of Finance*, 66, 1-33.

<sup>47</sup> Chaboud, A., B. Chiquoine, E. Hjalmarsson, et C. Vega, 2009, Rise of the Machines: Algorithmic Trading in the Foreign Exchange Market (La prolifération des machines : la transaction algorithmique sur le marché des changes), International Finance Discussion Paper No. 980, Conseil des gouverneurs du *Federal Reserve System*.

Brogaard (2010) étudie également l'effet de la transaction à haute fréquence sur la qualité du marché<sup>48</sup>. Il constate que les traders à haute fréquence participent à 77 % de l'ensemble des transactions et qu'ils ont tendance à adopter une stratégie de retournement des cours. Les données ne suggèrent pas que les traders à haute fréquence se retirent du marché dans des périodes défavorables ou commettent des délits d'initié anormaux sur d'importantes transactions qui ne sont pas des transactions à haute fréquence. Les traders à haute fréquence sont demandeurs de liquidité pour 50,4 % des transactions et fournissent la liquidité pour 51,4 % d'entre elles. Les traders à haute fréquence fournissent également les meilleures cotes environ 50 % du temps.

En ce qui concerne l'Europe, l'article de Menkveld (2011) étudie d'assez près l'entrée en activité d'un nouveau trader à haute fréquence sur les bourses hollandaises à Euronext et un nouveau marché Chi-X en 2007 et 2008. Il montre que le stock de titres du trader à haute fréquence s'achève proche de zéro à la clôture, mais varie durant la journée, un résultat conforme à la définition du trader à haute fréquence selon la SEC. Selon lui, les profits du trader à haute fréquence proviennent tous d'ordres passifs (fourniture de liquidité). Il constate également que les écarts de prix vendeur acheteur ont été réduits par un facteur proche de 30 % en un an, en comparaison avec les bourses belges sur lesquelles le trader à haute fréquence n'était pas présent.

D'autres études font état de tendances sur la liquidité, sans établir de lien spécifique avec la transaction algorithmique ou à haute fréquence. Castura *et al.* (2010) étudient les tendances dans les écarts de prix vendeur acheteur sur les actions Russel 1000 et 2000 entre 2006 et 2010<sup>49</sup>. Ils montrent que ces écarts ont diminué sur la période et que la liquidité disponible (définie comme la valeur disponible pour acheter et vendre sur la cotation interne) s'est améliorée au fil du temps. Angel, Harris et Spatt (2010) font état d'une lente diminution dans l'écart moyen des actions S&P 500 entre 2003 et 2010 (soumis à quelques fluctuations de court terme à la hausse en 2007-2008)<sup>50</sup>. Ils constatent aussi que la profondeur s'est accrue progressivement sur la période. Les données indiquent également que tant le nombre de cotes par minute que le ratio des annulations d'exécution se sont accrus, alors que la vitesse d'exécution des ordres sur le marché a considérablement augmenté. O'Hara et Ye (2011) étudient les questions de liquidité en lien avec l'impact

---

<sup>48</sup> Hasbrouck, J. et G. Saar, 2010, Low Latency Trading (Transaction à faible latence), Document de travail, Cornell University.

<sup>49</sup> Brogaard J., 2010, High Frequency Trading and Its Impact on Market Quality (Transaction à haute fréquence et son impact sur la qualité du marché), Document de travail, *Northwestern University*

<sup>50</sup> Castura, J., R. Litzenger, R. Gorelick, et Y. Dwivedi, 2010, Market Efficiency and Microstructure Evolution in U.S. Equity Markets: A High-Frequency Perspective (Efficacité du marché et évolution microstructurelle sur les bourses des actions des Etats-Unis : une perspective à haute fréquence), Document de travail, RGM Advisors, LLC.

de la fragmentation sur la qualité du marché<sup>51</sup>. Ils constatent que les actions soumises à des transactions plus fragmentées présentent des écarts prix vendeur acheteur plus bas et des temps d'exécution plus courts. Compte tenu du fait que la transaction à haute fréquence est plus répandue dans les bourses comme BATS et Chi-X, ce résultat suggère une corrélation entre la transaction à haute fréquence et des écarts de prix vendeur acheteur plus bas et des délais de traitement plus rapides.

Deux études commandées par le projet *Foresight* fournissent des données pour les marchés britanniques. Friederich et Payne (DR5) comparent le fonctionnement de la transaction à haute fréquence sur les actions et les devises. Ils constatent que la pénétration d'un flux algorithmique, dynamique (c'est-à-dire la meilleure exécution de transactions pour le compte de clients) sur des carnets d'ordres multilatéraux concernant les devises est peu important par rapport aux actions, peut-être en raison du fait que le marché des changes est moins liquide, donc que les ordres n'ont pas besoin d'être fractionnés. Les données des transactions portant sur les actions FTSE 100 échangées entre 2006 et 2011 n'indiquent pas de tendance en volume (la valeur des échanges). En revanche, les auteurs constatent que les écarts entre prix vendeur et acheteur ont diminué, parallèlement à une augmentation de la profondeur. Le nombre des transactions a par ailleurs augmenté de plus de cinq fois sur cette période, portant le volume moyen des transactions à seulement 20 % de son volume initial. Les résultats sont différents pour les petites bourses britanniques. Tout d'abord, le volume moyen des transactions n'a pas autant varié entre 2006 et 2011, ce qui laisse à penser que le trader à haute fréquence n'est pas aussi activement à l'œuvre dans les transactions. Ensuite, la liquidité des actions à faible capitalisation s'est peu améliorée.

Linton (DR1) mesure la liquidité quotidienne de l'indice FTSE-All Share en utilisant une mesure basse fréquence, le retour absolu à l'unité de volumes. Il constate que cette mesure de la liquidité a varié de manière considérable dans les dix dernières années, diminuant tout d'abord puis augmentant durant la crise financière puis chutant de nouveau. Un constat identique est effectué pour le nombre des transactions. Le processus suivi par le volume d'échanges des actions britanniques semble très constant, ce qui signifie que des chocs négatifs affectant le volume, tel celui de 2008-2009, peuvent être longs à se corriger. La principale conclusion retirée est que les « événements » dirigent la liquidité des marchés d'actions britanniques, et que la transaction à haute fréquence, si elle a un rôle à jouer dans cette tendance, est relativement réduite et insignifiante en comparaison avec la vision d'ensemble donnée par les débiteurs souverains.

En résumé, la plupart des données font état d'une amélioration dans la liquidité sur les marchés financiers due à la transaction informatisée et à la

---

<sup>51</sup> Angel, J., L. Harris, et C. Spatt, 2010, Equity Trading in the 21<sup>st</sup> Century (La transaction d'actions au 21<sup>e</sup> siècle), SSRN.

transaction à haute fréquence mais signalent l'existence de problèmes possibles dans les situations de tension sur les marchés.

### 3.2 Coûts de transaction

Effectuer des transactions avec des ordinateurs est moins coûteux qu'avec des hommes, c'est pourquoi les coûts de transaction ont diminué régulièrement dans les dernières années, du fait de l'automatisation des marchés. Jones (2002) étudie les coûts moyens relatifs d'une transaction simple acquittés pour les actions Dow Jones entre 1935 et 2000<sup>52</sup>. Il constate que le coût total des transactions a considérablement diminué sur la période 1975-2000. Angel *et al.* (2010) montrent que les commissions moyennes de détail aux Etats-Unis ont diminué entre 2003 et 2010, une période plus pertinente pour en inférer les effets de la transaction informatisée. Ils réalisent également une comparaison internationale des coûts de transaction à la fin de 2009. Selon cette étude, les frais de transactions pour les actions américaines à forte capitalisation sont les moins chères du monde, avec un coût d'environ 40 points de base. En comparaison, le Royaume-Uni obtient d'ailleurs de bien moins bons résultats, avec un coût moyen de 90 points de base, plus élevé que le reste de l'Europe et le Canada, et seulement très légèrement moins important que celui des places des économies émergentes.

Menkveld (DR16) fait valoir que l'apparition d'un nouvel entrant, accompagnant souvent la transaction à haute fréquence, a des effets profonds sur les coûts de transaction. Par exemple, le démarrage de Chi-X sur la bourse des actions indicielles hollandaises a eu un effet immédiat et substantiel sur les frais de transaction pour les investisseurs, tout d'abord par le biais des commissions moins élevées demandées par Chi-X, puis par la réduction des frais d'Euronext qui s'en suivit. L'effet le plus important a été cependant la réduction des frais de compensation. Une nouvelle chambre de compensation est entrée sur le marché, EMCF, entraînant une guerre des prix, qui a abouti à une réduction de 50 % des frais de compensation.

En résumé, les données indiquent que les coûts de transaction ont diminué dans la dernière décennie, en particulier en raison de changements intervenus dans la structure des marchés de transaction (qui entretient des liens très étroits avec le développement de la transaction à haute fréquence).

### 3.3 Efficacité des prix

Une affirmation essentielle des économistes financiers postule que des prix plus efficaces (reflétant mieux les valeurs fondamentales) sur les marchés financiers contribuent à des décisions d'investissement et de financement mieux informées, donc à une meilleure allocation des ressources dans l'économie au sens large. Habituellement, l'efficacité est mesurée par le

---

<sup>52</sup> O'Hara, M., et M. Ye, 2011, Is Market Fragmentation Harming Market Quality? (La qualité du marché souffre-t-elle de la fragmentation du marché ?), *Journal of Financial Economics*, 100, 459-474.

caractère prévisible des prix à partir de certaines informations. En pratique, les mesures largement utilisées comme les ratios de variance et les coefficients d'autocorrélation estiment la prévisibilité des prix en se fondant sur des règles linéaires.

Plusieurs études dans ce projet de recherche s'attachent à déterminer si les stratégies de la transaction à haute fréquence sont susceptibles d'améliorer ou de détériorer l'efficacité des prix. Brogaard (DR10) décrit la manière dont les traders à haute fréquence réalisent un profit et comment leurs activités peuvent influencer le processus de formation des prix, par exemple en rapprochant les prix de valeurs présentant des rendements similaires. Les bénéfices de la transaction à haute fréquence proviennent de sources variées, comprenant une activité passive de tenue de marché, des remises en liquidité fournies par les transactions en récompense de la fourniture de liquidité et la détection d'éléments statistiques utilisés dans les stratégies d'arbitrage statistique (ou *stat arb*). Une activité de tenue de marché plus importante devrait améliorer l'efficacité. Les stratégies de transaction à haute fréquence qui renforcent la loi applicable à un prix dans les actifs et sur les places boursières améliorent de façon similaire la qualité des prix face aux investisseurs<sup>53</sup>. D'après les mises en garde de Farmer (DR6), compte tenu du changement des ecologies de marché, la transition vers une plus grande efficacité peut être lente.

L'efficacité peut être touchée négativement si les traders à haute fréquence poursuivent des stratégies de manipulation du marché. Des stratégies comme le délit d'initié, le *quote stuffing* (littéralement « bourrage des carnets d'ordres », qui consiste à placer des ordres et à les annuler immédiatement) et l'empilage (utiliser des ordres cachés d'une part et visibles d'autre part) peuvent être utilisés pour manipuler les cours. Par exemple, la transaction algorithmique déterministe comme les stratégies de VWAP (*volume weighted average price* ou « moyenne des cours des titres échangés ») peut être déjoué par d'autres algorithmes programmés pour reconnaître ce type d'opérations. Les stratégies de *momentum* (impulsion) qui, *grosso modo*, incitent les algorithmes à entrer en concurrence avec d'autres algorithmes, peuvent détourner les prix des valeurs fondamentales. Il est cependant clair que les stratégies réduisant l'efficacité des prix, comme les stratégies directionnelles de manipulation, sont plus difficiles à mettre en œuvre avec efficacité si de nombreuses sociétés les pratiquent. C'est pourquoi, plus l'industrie des transactions à haute fréquence est concurrentielle, plus les marchés sur lesquels elles travaillent seront efficaces.

Un grand nombre d'éléments indiquent que l'efficacité des prix s'est généralement améliorée avec la transaction informatisée. Castura *et al.* (2010) étudient les tendances de l'efficacité du marché pour les actions

---

<sup>53</sup> Jones C., 2002, A Century of Stock Market Liquidity and Trading Costs (Un siècle de liquidités sur le marché et coûts de transaction), Document de travail, SSRN.

Russel 1000/2000 du 1<sup>er</sup> janvier 2006 au 31 décembre 2009<sup>54</sup>. En se fondant sur les ratios de la variance, ils font valoir que les marchés deviennent plus efficaces lorsque les transactions à haute fréquence y sont présentes et accroissent leur pénétration. Brogaard (2010) fournit d'autres éléments sur ce sujet. Il estime que les 26 sociétés de transaction à haute fréquence de son échantillon réalisent près de 3 milliards de dollars de profits par an. D'après l'auteur, il résulterait de la non-participation de ces acteurs au marché un coût supplémentaire de 0,13 dollar pour une transaction de 100 actions et de 0,056 dollar pour une opération concernant 1 000 titres. Il montre également que les opérations des traders à haute fréquence contribuent davantage au processus de formation des prix que les activités non réalisées par les traders à haute fréquence.

Linto (DR1) fournit des éléments fondés sur des données recueillies chaque jour pour les actions du Royaume-Uni (*FTSE All share*). En particulier, il réalise des tests de variance et des mesures de la prévisibilité linéaire pour chaque année, entre 2000 et 2010. Les mesures de prévisibilité (inefficacité) fluctuent autour de zéro, avec plus ou moins de signification statistique. Durant la crise financière, l'inefficacité était moins prononcée mais elle a diminué depuis cette date. En ce qui concerne l'efficacité, l'auteur ne repère aucune tendance, bonne ou mauvaise, sur le marché britannique.

En résumé, tout indique que la transaction à haute fréquence n'a pas mis à mal, mais peut avoir amélioré l'efficacité des prix.

#### **4. Présent : quel est l'impact actuel de la transaction informatisée sur la qualité du marché ?**

Le krach éclair sur les marchés américains a attiré l'attention sur le rôle de la pénurie de liquidité épisodique des marchés et sa relation avec la structure actuelle des marchés, fondés sur l'informatique. A l'heure actuelle, les événements du 6 mai 2010 ont été considérablement documentés dans deux rapports des autorités américaines de régulation, la CFTC (*Commodity Futures Trading Commission*) et la SEC (*Securities and Exchange Commission*). Ces documents indiquent que des interactions complexes de différentes forces ont conduit à la chute de 998 points de l'indice *Dow Jones Industrial Average*, la diminution la plus brutale enregistrée en un jour sur les marchés américains. Alors que le krach éclair a duré moins de 30 minutes, en un bref instant, plus de 1 000 milliards de dollars de capitalisation boursière ont été perdus. A la suite du krach, plus de 20 000 opérations ont été annulées. Une conséquence plus durable a été un retrait presque ininterrompu de la prise de participation en actions par les traders individuels.

---

<sup>54</sup> Hendershott (DR12) décrit la signification de l'efficacité des prix dans le contexte de marchés à grande vitesse et expose les arguments pour lesquels la transaction à haute fréquence peut améliorer l'efficacité du marché en permettant la formation du prix via la propagation des informations.

Les rapports de la CFTC-SEC soulignent le rôle joué par un volumineux algorithme de vente des contrats à terme S&P E-mini qui a coïncidé avec le début du krach. Alors qu'il s'agit déjà d'un facteur important, les rapports présentent également les rôles joués par un grand nombre de facteurs comme les règles de routage, les conventions de cotation, les internalistes (en anglais *internalises*, nom donné aux banques ou aux sociétés de courtage qui compensent le flux d'ordres en interne), les traders haute fréquence et les suspensions de la cotation. Ces documents attestent deux faits incontestables de la structure actuelle du marché : une pénurie de liquidité épisodique peut survenir, et lorsque c'est le cas, elle est rapidement transmise aux marchés corrélés. Que le krach éclair ait débuté sur des contrats à terme généralement considérés comme étant l'un des plus liquides au monde ne fait que souligner la fragilité potentielle de la structure actuelle de marché.

Certaines publications considèrent en quoi la transaction informatisée peut agir comme facteur de précipitation de la pénurie de liquidité périodique. Leland (DR9) souligne le rôle qu'une vente forcée peut jouer sur la liquidité du marché. Une telle vente peut intervenir lorsque différentes stratégies de transaction sont mises en œuvre, et ses effets sont exacerbés par l'endettement à des fins d'investissement. Leland fait valoir que les stratégies de transaction algorithmique sont appliquées en réponse aux flux automatiques d'informations, donc peuvent potentiellement avoir des conséquences sur les prix du marché, car la vente déclenche des modifications dans les prix, qui provoquent d'autres ventes. Leland indique également que le krach du 19 octobre 1987 et le krach éclair présentent des similitudes, des ventes forcées étant présentes dans les deux cas. Comme la transaction à haute fréquence moderne n'existait pas en 1987, ce résultat souligne le fait que la pénurie de liquidité du marché n'est pas un événement nouveau. Ce qui compte pour notre enquête est de savoir si les pratiques informatisées actuelles sont responsables d'un risque accru de pénurie de liquidité. Madhavan (2011) fait valoir que la fragmentation liée à la transaction à haute fréquence peut être l'une de ces causes<sup>55</sup>. Il montre que la fragmentation, mesurée par les changements de cotation, (bon indicateur, selon l'auteur, d'une activité à haute fréquence) détient un fort pouvoir explicatif des effets transversaux sur les actions lors du krach éclair.

Kirilenko *et al.* (2011) fournissent une analyse détaillée des traders à haute fréquence de contrats à terme durant le krach éclair<sup>56</sup>. Ils constatent que les traders à haute fréquence ont d'abord agi comme fournisseurs de liquidité, puis, alors que les cours chutaient, certains traders à haute fréquence se sont retirés du marché alors que d'autres devenaient demandeurs de

---

<sup>55</sup> Castura *et al.* (2010), op cit.

<sup>56</sup> Voir Madhavan, A., 2011, "Exchange-Traded Funds, Market Structure, and the Flash Crash" (« Fonds indiciels négociés en bourse, structure des marchés et le krach éclair), Document de travail, BlackRock.

liquidité. Les auteurs concluent que les traders à haute fréquence n'ont pas déclenché le krach éclair mais que leurs réponses à une pression à la vente inhabituellement forte a accru la volatilité du marché. Easley, Lopez de Prado et O'Hara (2011) font valoir qu'une toxicité des ordres atteignant des niveaux historiquement élevés a contraint les animateurs de marché à se retirer durant le krach éclair. Le flux d'ordres est considéré comme toxique s'il se tourne à tort vers les teneurs de marché qui ne sont pas conscients du fait qu'ils fournissent des liquidités à leur propre perte. Easley *et al.* (2011) développent un indicateur pour mesurer cette toxicité et font valoir que le flux d'ordre devenait de plus en plus toxique dans les heures précédant le krach éclair<sup>57</sup>.

Une multitude d'autres incidents de pénurie de liquidité, de moindre importance, sont survenus sur les marchés depuis le krach éclair. Le 8 juin 2011, par exemple, les contrats à terme sur le gaz naturel se sont effondrés de 8,1 % puis ont bondi quelques secondes plus tard. Le 2 février 2011, un algorithme erroné sur les contrats pétroliers à terme a émis 2 000 à 3 000 ordres en une seule seconde, causant une flambée de la volatilité (multipliée par 8) et faisant chuter le cours du pétrole d'un dollar, avant que l'erreur ne soit trouvée. En mars, les transactions de 10 nouveaux fonds indiciels négociés en bourse Morningstar ont été annulées suite à une chute des cours allant jusqu'à 98 %. Une erreur humaine dans l'entrée des données en était responsable.

En résumé, les données indiquent que les transactions à haute fréquence et algorithmiques peuvent contribuer à la pénurie de liquidité périodique sur les marchés actuels.

## **5. Futur : comment l'impact de la transaction informatisée sur la liquidité évoluera-t-il les dix prochaines années ?**

Le rôle futur de la transaction à haute fréquence est empreint d'une incertitude considérable. Tabb Group estime que la transaction à haute fréquence comptait pour 53 % de transaction sur les marchés américains dans la première moitié de 2011, en diminution par rapport à la part de 61 % qu'elle détenait en 2010. La volatilité extrême du marché en août 2011 vit cependant un retour de la transaction à haute fréquence. Wedbush, un des plus grands fournisseurs de services de compensation aux sociétés à haute fréquence, estime que la transaction à haute fréquence a représenté 75 % ou davantage du volume du marché américain sur la période allant du 4 au

---

<sup>57</sup> Voir Kirilenko, A., A. S. Kyle, M. Samadi et T. Tuzun, 2011, The Flash Crash: The Impact of High Frequency Trading on an Electronic Market (Le krach éclair : l'impact de la transaction à haute fréquence sur un marché électronique), SSRN.

10 août<sup>58</sup>. Il reste à voir si la transaction à haute fréquence continuera à être aussi présente lorsque la volatilité sera retombée à des niveaux normaux.

Certaines données indiquent également que la rentabilité de la transaction à haute fréquence atteindrait ses limites et pourrait subir une pression plus forte dans les dix prochaines<sup>59</sup>. Ces réductions pourraient provenir de plusieurs raisons : l'éventuelle extension de la décimalisation pourrait réduire la rentabilité de la tenue de marché. De nouveaux types d'ordres limités, sur plusieurs places boursières, peuvent être autorisés, ce qui réduira le potentiel des prix prescrits sur différentes places boursières. De nouveaux entrants dans l'industrie de la transaction à haute fréquence s'approprient les bénéfices des traders précédents. Quant à la régulation et la taxation, elles pourraient détruire totalement leur modèle économique. La diminution des coûts d'entrée qui peuvent naître des améliorations technologiques futures peut également améliorer la concurrence. Limiter la valeur de petites améliorations de la vitesse, par exemple, réduire la valeur de la priorité donnée au temps ou demander une durée minimale de la cotation, peut aussi réduire la transaction à haute fréquence, car ces pratiques réduiront les incitations à une course de vitesse où le gagnant rafle toute la mise.

Il apparaît cependant inévitable que la transaction informatisée reste une force dominante sur les marchés dans les dix prochaines années. En effet, les avancées technologiques faciliteront l'extraction automatisée, l'agrégation et le filtrage des informations<sup>60</sup>. Ces procédés d'analyse des informations (*news analytics* ou *NA*) pouvaient être utilisés dans la conception de modèles pour les traders à haute fréquence comme pour les gestionnaires de portefeuilles. Ces technologies d'analyse des informations permettent aujourd'hui le repérage (*tagging*) électronique de nouveaux événements, de fichiers d'entreprises, etc. permettant aux traders disposant de cette technologie informatique de visualiser plus d'informations plus rapidement. Lier ces informations en stratégies de transaction informatisée fournit un moyen pour les traders de capitaliser sur l'information avant que celle-ci ne se répercute dans le prix du marché. La transaction à haute fréquence permettra d'être bien positionné pour retirer un avantage de ces technologies naissantes.

Les marchés tireront profit de cette transaction, dans la mesure où elle convertit l'information en prix plus rapidement, en devenant plus efficaces.

---

<sup>58</sup> Voir Easley, D., M. Lopez de Prado et M. O'Hara, 2011, The Microstructure of the Flash Crash: Flow Toxicity, Liquidity Crashes and the Probability of Informed Trading (La microstructure du krach éclair : toxicité des flux, krachs de liquidité et la probabilité de la transaction informée), *Journal of Portfolio Management*, 37, 118-128.

<sup>59</sup> Voir Mehta, N., "High Frequency Firms Tripled Trades Amid Rout, Wedbush Says" (« Sociétés à haute fréquence. Transactions triplées selon Wedbush », Bloomberg, 12 août 2011.

<sup>60</sup> Voir Brogaard (DR10) et Hendershott (DR12).

Toutefois, ces stratégies servent également à renforcer la « course aux armements » sur les marchés en offrant de plus grandes récompenses aux traders maîtrisant le mieux les technologies. Il se pourrait ainsi que toute la transaction évolue vers une transaction informatisée, tout comme la technologie se répand à travers les populations au fil du temps.

Cela faisant, les systèmes de marché peuvent faire l'expérience d'effets négatifs non désirés<sup>61</sup>. L'un d'entre eux est déjà présent, avec les problèmes liés à la circulation des messages (*message traffic*). Ce terme caractérise les instructions informatisées qui sont données pour passer, modifier et annuler des ordres. Chaque jour d'activité, la circulation dépasse de beaucoup le volume des transactions, car plus d'ordres sont annulés ou modifiés qu'ils ne sont exécutés. Les jours de forte volatilité, la circulation des messages peut créer des suspensions temporaires de fonctionnement du marché, les serveurs et les autres composants informatiques étant incapables de gérer le flux. Ces coupures ont été nombreuses durant le krach éclair de mai 2010. Elles sont réapparues au début d'août 2011, lorsqu'une activité et une volatilité extrêmes se sont emparées des plate-formes boursières de Goldman Sachs et d'autres grandes banques opérant en bourse aux Etats-Unis. Quand de tels événements surviennent, la liquidité du marché est affectée.

Un risque systématique lié peut survenir si un sous-ensemble important d'intervenants du marché suivent les mêmes stratégies. Par exemple, si l'analyse des informations (en anglais, *News Analytics* ou *NA*) vient à jouer un rôle moteur dans la gestion de portefeuilles, les séquences de vente (ou d'achat) d'ordres peuvent arriver sur le marché, toutes attirées par la même information. Pour les animateurs du marché, ces ordres sont « toxiques », car le teneur agira en contrepartie pour des agents qui disposent d'une meilleure information. Comme le krach éclair l'a montré, lorsque la toxicité accable les teneurs de marché, leur stratégie consiste à se retirer, produisant ainsi une pénurie de liquidité. En conséquence, les nouveaux produits de gestion de risques devront évoluer pour permettre tant aux teneurs de marché, qu'aux traders et aux régulateurs de fonctionner<sup>62</sup>. Le futur de la transaction informatisée comprendra alors davantage de technologies capables de contrôler les technologies contrôlant les marchés.

## 6. Conclusions

La transaction informatisée est aujourd'hui une réalité sur les marchés financiers. La technologie a permis à de nouveaux entrants de se manifester ; elle a fait émerger de nouvelles méthodes de transaction et même se développer de nouvelles structures de marché. Nombre de ces effets sur les marchés ont été bénéfiques : la liquidité s'est accrue, les coûts

---

<sup>61</sup> Voir Mitra, di Bartolomeo, Banerjee et Yu (DR8).

<sup>62</sup> Voir Farmer et Skouras (DR6).

de transaction ont diminué et l'efficacité du marché semble s'améliorer ou du moins, ne pas empirer. Mais il reste à traiter les questions relatives aux phases de pénurie de liquidité, aux nouvelles formes de manipulation et aux éventuelles menaces pour la stabilité des marchés que créent les algorithmes erronés ou un volume de messages. Des changements réglementaires dans les pratiques et les politiques seront nécessaires pour s'adapter aux réalités nouvelles de la transaction sur les marchés des actifs. Des précautions doivent être prises pour éviter de perdre les très nombreux avantages apportés par le monde à haute fréquence. À l'avenir, la technologie continuera d'affecter ces marchés, notamment en ce qui concerne le traitement ultra-rapide des informations et leur répercussion dans le cours des actifs.

# **Article 3 : L'impact des développements technologiques**

Dave Cliff, Université de Bristol.

# Principaux résultats

Les avancées actuelles dans la sophistication des technologies de transaction automatisée par des « robots » et de réduction de leur coût se poursuivront vraisemblablement dans un avenir proche.

Les marchés d'aujourd'hui sont composés de traders humains interagissant avec un grand nombre de systèmes de transaction automatisée. La compréhension scientifique du comportement de ces marchés est pourtant peu développée.

Pour les aspects de la transaction automatisée où le temps joue un rôle décisif, des puces de silicium spéciales, facilement personnalisables offrent des vitesses accrues ; lorsque la rapidité est de moindre importance, les services informatiques à accès distant du « cloud » offrent des réductions de coûts encore plus importantes.

Les robots de transaction futurs seront capables de s'adapter et d'apprendre ; leur conception comprendra très peu d'implication humaine pour leur conception. De moins en moins de traders humains seront nécessaires dans la majorité des marchés financiers futurs.

## Résumé exécutif

La vitesse et la sophistication des technologies informatiques et des communications sur les marchés financiers, comme ailleurs, augmentent rapidement, alors que le coût réel de ces technologies est en constante diminution. Sur les marchés, certains emplois dont les travailleurs humains ont toujours été chargés peuvent aujourd'hui être effectués par des machines, accomplissant un travail identique à un coût moindre, avec moins d'erreurs et beaucoup plus vite. De plus, les systèmes de transactions informatisées actuels sont capables de réaliser des tâches qu'aucun trader humain ne pourrait faire, par exemple assimiler et intégrer de grandes quantités de données et prendre de nombreuses décisions précises en matière de transactions en une fraction de seconde. Les développements technologiques actuels fournissent également des techniques plus sophistiquées pour l'analyse des nouvelles informations. Les systèmes de transactions modernes peuvent apprendre non seulement à partir des informations mais aussi de leur propre expérience sur les marchés. La transaction à haute fréquence est largement tributaire de ces technologies.

Il est certain que tant le rythme de développement des innovations technologiques sur les marchés financiers que la vitesse de leur adoption semblent devoir se poursuivre ou s'accroître dans le futur. La puissance de calcul deviendra moins chère, les systèmes automatisés de transaction seront plus rapides et plus intelligents. La disponibilité d'une puissance de calcul « infonuagique » à coût réduit signifie que les ordinateurs peuvent facilement être utilisés pour évaluer un grand nombre de conceptions alternatives concernant les stratégies de transaction, choisissant les meilleures options et les peaufinant par la suite. Les modèles finaux peuvent être mis en œuvre non comme des programmes fonctionnant sur des ordinateurs conventionnels mais plutôt comme des puces de silicium personnalisées pour accélérer la vitesse. Il est vraisemblable que les robots de transaction conçus et optimisés par ordinateur seront de plus en plus considérés comme la norme. À terme, ils pourraient venir remplacer les algorithmes actuels conçus et peaufinés par les hommes. Les futurs services infonuagiques pourraient fournir de façon automatisée des données compilées à un matériel personnalisé de puces de silicium.

Une très grande part des transactions sur les marchés est déjà générée par les outils informatiques, pourtant les traders humains demeurent nombreux sur les marchés. Sur plusieurs marchés importants (les marchés de change, par exemple), le nombre global de traders humains gérant l'exécution sur place des ordres a diminué considérablement ces dernières années. Il semble que cette tendance se poursuivra à l'avenir. Cependant, le mélange actuel de traders humains et non humains devrait subsister encore quelque temps. Compte tenu de ce mélange d'hommes et de machines, l'étude des marchés actuels ne concerne ni totalement le domaine des sciences sociales, telles l'économie, ni celui de l'ingénierie informatique et des systèmes de communication. Les marchés actuels se présentent plutôt comme des *systèmes socio-techniques*. Les caractéristiques et la

dynamique des marchés sur lesquels évoluent un mélange d'hommes et de machines, sont loin d'être bien comprises. Ces marchés se comportent parfois de façon imprévisible et indésirable. Même des systèmes totalement automatisés de transaction, avec des « robots traders » fournis par de très nombreux acteurs, doivent être étudiés de très près. Les défis essentiels pour le futur se concentrent sur la manière de cartographier, gérer et modifier l'écosystème socio-technique dynamique, complexe des marchés financiers mondiaux pour éviter tout comportement indésirable.

Ces développements technologiques signifient que les principaux systèmes de transaction peuvent aujourd'hui exister partout. Les économies émergentes peuvent capitaliser sur les opportunités fournies par les nouvelles technologies : elles pourraient ainsi venir menacer la domination historique établie depuis longtemps des principales places européennes et américaines, devenant des centres mondiaux pour la transaction sur les marchés financiers.

## **I. Introduction**

Le mouvement actuel vers une automatisation toujours accrue des salles de marché des bourses, banques et sociétés de gestion de fonds s'apparente au changement majeur intervenu dans les économies développées lorsque l'ingénierie des procédés de fabrication s'est tournée vers la production et l'assemblage automatisés dans les années 80 et 90. Il est vraisemblable qu'il aura un effet semblable sur la répartition de l'emploi dans le secteur financier. Les ordinateurs génèrent déjà un grand nombre de transactions sur les marchés. Pourtant, les caractéristiques et la dynamique des marchés sur lesquels évolue un mélange d'hommes et de machines, sont loin d'être bien comprises, et parfois les marchés se comportent de façon imprévisible, non désirée. On connaît peu de détails sur le réseau des interactions et dépendances dans les marchés financiers fondés sur la technologie. Le besoin de cartographier le réseau financier mondial apparaît clairement, afin de comprendre la situation actuelle. Une telle cartographie permettra de développer de nouveaux outils et techniques pour gérer le réseau financier et d'explorer la façon dont il peut être modifié pour réduire ou empêcher tout comportement indésirable<sup>63</sup>. Il est certain que les nouveautés technologiques, scientifiques comme les outils et techniques d'ingénierie seront nécessaires pour contribuer à cartographier, gérer et modifier les systèmes de marché du futur.

## **2. Comment a évolué la technologie des marchés financiers ?**

Les changements technologiques intervenus dans les cinq dernières années doivent être considérés comme la continuation de tendances de plus long

---

<sup>63</sup> Voir par exemple Easley, D., M. Lopez de Prado et M. O'Hara, 2011, The Exchange of Flow Toxicity (L'échange de toxicité de flux), *Journal of Trading*, 6, 8-13.

terme. Cliff, Brown et Treleaven (DR3) racontent l'histoire de la technologie sur les marchés financiers, balayant les 18<sup>e</sup>, 19<sup>e</sup> et 20<sup>e</sup> siècles, avant d'explorer plus en détail les changements rapides et significatifs survenus dans les premières années du 21<sup>e</sup> siècle. Nous résumons ici leur propos, qui se fonde sur de nombreuses sources<sup>64</sup>.

Comme l'examen de Cliff *et al.* dans le document DR3 le montre, le calcul et la transmission ultra-rapides des données d'un lieu à un autre ont toujours constitué des priorités de premier plan pour les marchés financiers. Bien avant l'invention des ordinateurs ou des calculatrices, les traders les plus rapides en calcul mental pouvaient surpasser leurs concurrents moins agiles. Au 19<sup>e</sup> siècle, les messagers à chevaux, qui communiquaient les informations importantes pour les marchés financiers, furent remplacés par la « technologie » plus rapide des pigeons voyageurs, puis du télégraphe, enfin des téléphones. Dans le dernier quart du 20<sup>e</sup> siècle, le passage aux systèmes de transaction informatisée a signifié que les systèmes automatisés pouvaient commencer à remplir des fonctions effectuées précédemment par les seuls hommes : les ordinateurs pouvaient contrôler le prix d'un instrument financier (le cours d'une action, par exemple) et donner des ordres pour vendre ou acheter l'instrument si son cours atteignait ou dépassait un prix d'intervention spécifié. Ces systèmes très simples de « transaction programmée » (*program trading*) ont été largement mis en cause dans le krach du « lundi noir » survenu en octobre 1987, épisode dont le souvenir tempéra durant plusieurs années l'enthousiasme à laisser les ordinateurs placer des ordres de vente ou d'achat sur les marchés. Le coût réel de la puissance de calcul continua cependant à être divisé par deux environ tous les deux ans (l'effet dit « loi de Moore »). Ainsi, à la fin des années 90, il était possible d'acheter, sans entraîner de coût supplémentaire, des ordinateurs près de 100 fois plus puissants que ceux utilisés en 1987. Cette puissance de calcul additionnelle pouvait être utilisée pour mettre en œuvre un traitement bien plus sophistiqué des données afin de prendre des décisions d'investissement et d'émettre des modèles structurés d'ordres sur les marchés.

Au tournant du millénaire, alors que le coût réel du calcul informatisé continuait à baisser à un rythme soutenu, la gestion des fonds d'investissement était devenue un domaine de plus en plus technique, fortement tributaire de modèles mathématiques riches en calculs informatiques pour réduire ou compenser le risque de portefeuille, c'est-à-dire « se couvrir » du risque dans le portefeuille du fonds, donnant naissance à l'expression « fonds de couverture » (traduction littérale de *hedge fund* ou « fonds d'arbitrage »). De nombreux fonds d'arbitrage ont fondé leurs décisions d'investissement sur l'*arbitrage statistique* (*statistical arbitrage* ou « stat arb »). Une classe populaire de stratégies d'arbitrage

---

<sup>64</sup> Le besoin de cartographier, gérer et modifier le réseau financier figure au cœur d'un discours de 2009 *Repenser le réseau financier*, prononcé par A. Haldane, Directeur exécutif en charge de la stabilité financière à la *Bank of England* : voir <http://www.bankofengland.co.uk/publications/speeches/2009/speech386.pdf>.

statistique identifie des relations de long terme entre différents instruments financiers et réalise des opérations en s'appuyant sur l'hypothèse que toute déviation de ces relations de long terme est une aberration temporaire et que la relation doit retrouver sa moyenne en temps utile. La *transaction par paires* est l'une des plus simples parmi ces stratégies de « retour à la moyenne » : la relation statistique utilisée comme alerte pour la transaction est le degré de corrélation entre seulement deux titres. Identifier dans l'océan des données des marchés financiers des corrélations par paires qui soient efficaces constitue une tâche ardue en termes de calculs, mais la baisse du prix du calcul informatique a rendu possible de s'attaquer à des stratégies de *stat arb* toujours plus sophistiquées.

Presque dans le même temps, la disponibilité du calcul à bas prix a rendu possible de déployer des systèmes automatisés de transaction considérablement plus intelligents que ceux impliqués dans le krach de 1987. Dans la plupart des cas, cette intelligence était fondée sur des approches mathématiques rigoureuses, fermement ancrées dans les théories statistiques de modélisation et de probabilité. Cette nouvelle vague de systèmes automatisés se concentrait sur l'*exécution* d'une opération. L'ordinateur ne prenait pas la décision d'acheter ou de vendre un certain groupe d'actions ou volume de matières premières, ni de convertir un certain montant d'une monnaie dans une autre : ces décisions étaient toujours prises par des hommes (éventuellement en se fondant sur une analyse statistique complexe). Une fois que la transaction avait été décidée, son exécution était confiée à un système d'exécution automatisé (ou « système AES » pour *automated execution system*). A l'origine, il s'agissait de confier le soin d'exécuter des transactions à un système d'exécution automatisé pour laisser les traders humains se consacrer à des opérations plus compliquées. Avec la généralisation des systèmes d'exécution automatisés, et la confiance croissante placée en eux, différentes institutions de transaction ont commencé à expérimenter des approches plus sophistiquées de l'exécution automatisée : différentes méthodes, différents algorithmes pouvaient être déployés pour satisfaire les contraintes de différentes classes de transaction, dans des circonstances de marché variables. La notion de « transaction algorithmique » était née.

Alors que les systèmes d'exécution automatisés étaient développés pour réduire l'impact de marché, d'autres équipes de transaction perfectionnaient des techniques avancées d'arbitrage statistique visant à identifier les opportunités de transaction fondées sur des régularités statistiques complexes sous-jacentes aux données : il était possible de considérer en même temps et de comparer les données relatives aux cours et aux volumes de centaines ou milliers d'instruments, à la recherche d'opportunités similaires à la transaction par paires des années 80, mais impliquant habituellement bien plus de deux instruments financiers. Ces approches avancées d'arbitrage statistique étaient rendues possibles par des ordinateurs puissants utilisés pour effectuer les analyses statistiques, ainsi que par des développements dans l'infrastructure de transaction informatisée (les machines que les traders utilisent pour communiquer entre eux et avec les bourses). Deux développements notables concernent d'une

part, le traitement automatisé avec le *Straight-Through Processing (STP)* (littéralement « le traitement direct de bout en bout ») où tout le processus de transaction, du passage de l'ordre aux paiements et à la compensation finaux est un flux électronique continu entre des étapes de traitement des transactions, sans que des hommes n'interviennent aux stades intermédiaires, et d'autre part, l'accès direct au marché (*Direct Market Access* ou *DMA*) où un accès direct au carnet d'ordres électronique d'une bourse est donné aux investisseurs et aux fonds d'investissement, plutôt que de devoir interagir avec le marché par un intermédiaire comme une banque d'investissement ou un courtier.

La convergence d'une puissance de calcul peu onéreuse, de stratégies de transaction utilisant l'informatique de manière intensive, d'une exécution automatisée par STP et de l'accès direct au marché signifie que dans les deux ou trois dernières années, il est devenu banal que les participants du marché cherchent électroniquement des contreparties à une transaction, l'identifient et exécutent la transaction, le tout en quelques secondes.

L'ancien modèle économique « intégré verticalement » de la banque d'investissement se fragmente de plus en plus. Un effet de la directive européenne concernant les marchés d'instruments financiers (MIF) a été de créer un écosystème de petites et moyennes entreprises offrant des composants technologiques « *middleware* » qui pouvaient tous être achetés puis combinés pour atteindre une fonctionnalité autrefois chassée gardée des systèmes de transaction développés en interne par de grandes institutions. Cela a abaissé les barrières à l'entrée : s'ils disposent de suffisamment d'argent, un ou deux entrepreneurs travaillant d'un bureau loué avec une connexion Internet à haut débit peuvent mettre en place une société de transaction

et automatiser de nombreux, sinon tous les flux de tâches requis pour gérer un fonds. Dans le même temps, un nouveau style de transaction est apparu, appelé « transaction à haute fréquence » (THFou *HFT* en anglais, pour *high frequency trading*)<sup>65</sup>, où des systèmes automatisés achètent et vendent sur des places boursières électroniques, tenant parfois une position pour quelques secondes ou moins. Un système de transaction à haute fréquence peut donc « être long (jouer à la hausse) » en achetant un grand nombre d'actions (ou tout autre instrument financier comme des matières premières ou une devise), tenir la position durant deux ou trois secondes, puis la vendre à un acheteur. Si le cours de l'instrument augmente dans ces deux

---

<sup>65</sup> Pour d'autres récits de l'histoire récente des développements technologiques sur les marchés financiers, nous recommandons particulièrement trois textes : J. Angel, L. Harris, & C. Spratt (2010), *Trading in the 21<sup>st</sup> Century (Trading au 21<sup>e</sup> siècle)*. (Manuscrit non publié, disponible sur <http://www.sec.gov/comments/s7-02-10/s70210-54.pdf>) ; P. Gomber, *et al.* (2011). *High Frequency Trading (La transaction à haute fréquence)*. Rapport technique, *Goethe Universität & Deutsche Börse* ; et D. Leinweber (2009), *Nerds on Wall Street (Geeks à Wall Street)*. John Wiley Publishers. Pour un examen très récent de la transaction à haute fréquence, comprenant des entretiens avec les principaux praticiens, voir E. Perez (2011), *The Speed Traders (Les Traders ultra-rapides)*. McGraw-Hill Publishers.

ou trois secondes, tant que les coûts de transaction sont suffisamment bas, le système de transaction à haute fréquence réalise un profit sur la vente. Il est peu vraisemblable que le profit retiré pour avoir tenu une position trois secondes soit élevé, et il peut ne s'agir que de quelques centimes, mais si le système de transaction à haute fréquence est entièrement automatisé, il constitue une machine qui peut créer un flux continu de centimes par secondes, de dollars par heure, vingt-quatre heures par jour. Une étude récente de Kearns *et al.* (2011)<sup>66</sup> indique que la somme totale que l'on peut extraire des marchés par transaction à haute fréquence peut être plus modeste que certains ne l'estiment ou ne le croient, de l'ordre de quelques dizaines de milliards de dollars sur les marchés américains. Malgré cela, la faible variation de retours positifs (le « continu » dans « flux continu de centimes ») d'un système de transaction à haute fréquence bien réglé est attractive et fait de la transaction à haute fréquence un domaine d'intense intérêt sur les marchés actuels.

Alors que les marchés financiers mondiaux devenaient tributaires des ordinateurs et de leurs systèmes de transactions automatisées, communiquant entre eux par des réseaux de fibre optique, les vitesses de calcul et de communication devinrent deux moyens principaux pour gagner et maintenir un avantage compétitif. La section suivante en examine l'effet sur les marchés actuels.

### **3. Actuellement, quels sont les développements technologiques clés ?**

Des sociétés figurant au premier plan des marchés financiers, comme des banques d'investissement, des sociétés de gestion de fonds et des opérateurs de bourse sont tous extrêmement tributaires des technologies de l'information (TI ou *IT* en anglais, pour *information technology*) comme des réseaux de télécommunication, qui permettent aux ordinateurs de dialoguer entre eux. Au cours des deux dernières décennies, presque toutes ces sociétés ont utilisé leurs propres systèmes de technologies de l'information en interne, comprenant très souvent des « serveurs » puissants connectés aux ordinateurs « clients » de chaque salarié. Presque toujours, les ordinateurs clients étaient des ordinateurs personnels standards, comme ceux vendus par les distributeurs dans les centre-villes, alors que les serveurs étaient construits à partir de plusieurs ordinateurs personnels à très haute spécification, placés en un même endroit et connectés entre eux dans une même pièce, décrite comme la « salle des serveurs » de l'entreprise ou « centre de données ».

---

<sup>66</sup> *Google Trends* ([trends.google.com](https://trends.google.com)) indique que les utilisateurs de Google dans le monde entier n'ont recherché le terme « *high frequency trading* (transaction à haute fréquence) » que dans les trois dernières années et celui de « *algorithmic trading* (transaction algorithmique) » que dans les cinq dernières années.

Comme Cliff, Brown et Treleven (DR3) le décrivent plus en détail, l'industrie mondiale des technologies de l'information connaît actuellement un glissement majeur vers « l'infonuagique » (*cloud computing*), où l'utilisateur accède à distance à des centres de données de très grande dimension (de véritables entrepôts gigantesques remplis d'ordinateurs interconnectés), par Internet, comme un service, en payant des frais de location facturés à la minute ou à l'heure. Ce fonctionnement diminue grandement le coût du calcul haute performance (*high-performance computing* ou *HPC*), donc réduit les barrières à l'entrée pour les individus ou les sociétés désireuses d'utiliser le calcul haute performance à très grande échelle pour la conception et l'optimisation automatisée des systèmes de transaction : plutôt que de dépenser des millions de dollars en dépenses d'investissement pour acquérir une facilité de centre de données calcul haute performance interne, il est désormais possible d'obtenir les mêmes résultats avec quelques milliers de dollars en louant les services calcul haute performance de fournisseurs infonuagiques. Cela signifie qu'il n'est plus nécessaire de disposer des ressources financières d'un grand *hedge fund* ou de banques d'investissement pour s'engager dans le développement d'approches de transaction hautement tributaires de la technologie. L'ensemble des implications de cette évolution n'est pas encore clair.

Dans le même temps, le désir d'un traitement à ultra haute vitesse des données financières a conduit certains leaders du marché à abandonner l'utilisation d'ordinateurs à usage général, comme les ordinateurs personnels disponibles dans le commerce, et à les remplacer par des puces de silicium personnalisées à usage spécifique. Certaines de ces puces ont sur elles des centaines ou des milliers de petits ordinateurs indépendants, qui opèrent tous en parallèle, produisant une rapidité grandement accrue. Ce sujet est examiné plus en détail par Cliff *et al.* (DR3), qui évoquent les entreprises financières ayant déjà effectué ce mouvement, concluant que le passage à ce « silicium personnalisé » continuera vraisemblablement dans la prochaine décennie.

Ces deux tendances signifient qu'une puissance informatique et une vitesse supérieures deviennent plus facilement accessibles par coût à l'unité. Les ingénieurs ont donc tourné leur attention vers le développement de nouveaux systèmes innovants pour la génération automatisée de décisions de transaction et/ou l'exécution automatisée des ordres nécessaires pour traduire ces décisions.

Une des principales nouvelles technologies qui suscite actuellement l'intérêt d'importants programmes de recherche et développement est la perspective d'ordinateurs programmés pour « comprendre » non seulement l'information numérique des prix, volumes et délais de marché, mais aussi l'information non numérique, « sémantique », véhiculée dans des flux de données lisibles par l'homme, comme des actualités écrites, des données audio (appels téléphoniques, par exemple), des émissions de radio, des podcasts et des séquences vidéo. Cette question est explorée en détail par Mitra *et al.* ; la section 3.1. résume les conclusions de leur étude.

Bien que le calcul informatique, la vitesse de traitement et la sophistication des algorithmes se soient accrus, les marchés financiers actuels comptent toujours un grand nombre de traders humains. De bonnes raisons laissent à penser que le nombre d'intervenants humains du marché restera important, au moins dans la prochaine décennie. Pour la plupart des principaux marchés des Etats-Unis, du Royaume-Uni et d'Europe continentale, la proportion d'opérations générées par des ordinateurs est estimée à une proportion de 30 %, 50 % voire 75 %<sup>67</sup>. Il est alors certain que les marchés actuels comprennent un grand nombre de traders humains interagissant avec de très nombreux systèmes de transaction automatisée. Cela constitue un changement important dans la composition des marchés, qui pourrait modifier la dynamique des marchés (voir Articles 1 et 2). Les publications scientifiques explorant les interactions entre les systèmes de transaction humains et algorithmiques sont examinés dans la section 3.2.

### 3.1 Analyse automatisée des informations du marché et opinion

Au début de leur rapport, Mitra *et al.* (DR8) considèrent les classes d'actifs les plus indiquées pour la transaction automatisée par les ordinateurs. Ils soutiennent que les différents instruments financiers ont une liquidité différente et que la fréquence optimale de transaction pour un instrument peut être exprimée, parmi d'autres facteurs, comme une fonction de la liquidité de son marché. Plus la fréquence optimale de transaction est élevée, plus la transaction algorithmique est utile. Les traders d'un marché peuvent être classés en deux groupes : ceux qui visent uniquement le profit en fournissant de la liquidité (connus sous le nom de « traders de stock ») et ceux qui, au contraire, visent à retirer un profit en opérant sur la base d'informations. Les traders de stock agissent comme des « teneurs de marché » : ils détiennent une quantité suffisamment importante d'un instrument (leur stock), qu'ils sont toujours capables de répondre aux demandes d'achat ou de vente, et ils retirent des profits en fixant un prix plus haut pour la vente que pour l'achat (ce type de modèle économique est familier à tout bureau de change d'aéroport). En principe, les traders de stock peuvent avoir une activité rentable sans recourir à aucune information externe au marché où leurs instruments sont échangés. La seconde classe de traders, celles des traders « informés » ou « motivés par la valeur », utilise les informations retirées des actualités et des commentaires ou analyses qui s'y rapportent, pour se forger une idée du prix auquel un instrument devrait être échangé, soit à un moment donné, soit dans le futur. Puis, ils vendent ou achètent cet instrument si leur vision personnelle du prix diffère de la valeur de marché actuelle. Les années récentes ont vu le développement de technologies permettant aux ordinateurs d'analyser des actualités et des discussions sur sites de réseaux sociaux, et dont la sophistication augmente rapidement.

---

<sup>67</sup> M. Kearns, A. Kulesza, & Y. Nevmyvaka (2010). Empirical Limitations on High Frequency Trading Profitability. (Limites empiriques à la rentabilité de la transaction à haute fréquence). *The Journal of Trading*, 5(4):50-62. Disponible sur [http://www.cis.upenn.edu/~mkearns/papers/hft\\_arxiv.pdf](http://www.cis.upenn.edu/~mkearns/papers/hft_arxiv.pdf).

Mitra *et al.* font valoir que les classes d'actifs primaires se prêtant bien à la transaction automatisée sont les actions, en incluant les fonds indiciels négociés en bourse et les contrats à terme sur les indices, les devises et à un moindre degré, les biens et les valeurs à revenu fixe. Les fonds indiciels négociés en bourse sont des titres échangés sur les principales bourses, comme s'ils étaient des actions normales (c'est-à-dire des parts d'une société) mais ils représentent une part dans un ensemble d'actifs comme des biens, des devises ou des actions. De manière prévisible, des événements d'actualité (anticipés comme non anticipés) peuvent affecter à la fois la transaction manuelle traditionnelle de ces classes d'actifs et également d'autres activités de transaction automatisée. Les événements anticipés sont par exemple la communication d'une donnée officielle sur l'inflation par les ministères des finances ou les annonces programmées des résultats d'entreprises ; les événements non anticipés sont par exemple des informations concernant des accidents de grande ampleur, des actions terroristes ou des catastrophes naturelles. Compte tenu des conséquences possibles de ces événements sur les prix des instruments financiers, de grandes sociétés mondiales (telles Thompson Reuters, The Financial Times, The Wall Street Journal, Dow Jones Newswire ou Bloomberg) se sont constituées pour alimenter les marchés financiers en informations spécifiques. Une grande partie des contenus proviennent dans des formats qui peuvent facilement être traités par des ordinateurs. Le contenu des médias grand public comme la BBC peut également être analysé par les ordinateurs (par exemple après un reformatage automatisé ou une conversion des fichiers audio ou vidéo en transcriptions écrites).

Compte tenu de ces évolutions, les chercheurs des universités et des institutions financières ont développé des méthodes d'analyse des informations. Des avancées significatives ont été réalisées ces dernières années et les techniques gagnent encore en sophistication. En règle générale, on peut raisonnablement prédire qu'un ordinateur sera capable de réagir à une information fracassante plus rapidement qu'un homme. Cela n'est évidemment utile que si son analyse de l'événement est correcte. Certains praticiens font valoir que la transaction automatisée et les techniques d'analyse des informations donnent à la transaction manuelle (réalisée par des humains) un désavantage considérable et que cette considération s'applique tant aux investisseurs individuels qu'aux investisseurs institutionnels. Bien que ces technologies de pointe concernant l'analyse des informations ne puissent encore surpasser avec fiabilité un trader humain bien informé qui lit le même matériel et n'ont que des capacités très limitées comparé à la puissance humaine de raisonnement et de réflexion latérale, leurs compétences et leur sophistication continueront à se développer dans la décennie suivante, allant peut-être jusqu'à surpasser les performances des analystes et traders humains.

### **3.2 Etudier les interactions entre les systèmes de transaction humaine et algorithmique**

Les marchés financiers mondiaux sont aujourd'hui fréquentés par deux types d'agents économiques : les traders humains et les « agents-logiciels ». Ces derniers sont soit des systèmes algorithmiques menant à bien des

métiers qui, il y a dix ou vingt ans, auraient été de la responsabilité d'humains, ou des systèmes de transaction à haute fréquence réalisant des tâches qu'aucun humain ne peut espérer mener à bien. Pendant longtemps, les interactions entre les traders humains sur les marchés électroniques ont fait l'objet d'études dans un domaine appelé *l'économie expérimentale*. Plus récemment, les interactions entre les traders logiciels sur les marchés électroniques ont été étudiées par *l'économie informatique fondée sur l'agent*. Il est frappant de constater que ces deux champs de la recherche sont en grande partie distincts : le premier étudie les marchés peuplés entièrement de traders humains alors que le second s'attache à l'étude des marchés peuplés entièrement de traders algorithmiques considérés comme des agents-logiciels. Le manque flagrant d'études sur les interactions entre les traders humains et les systèmes de transaction algorithmiques surprend. En effet, seules de très rares publications explorent des marchés hétérogènes, peuplés à la fois par des humains et des systèmes algorithmiques. De Luca *et. al.* (DR13) ont étudié les publications étonnamment restreintes d'articles scientifiques publiés et évalués par les pairs, décrivant scientifiquement les interactions entre traders humains et algorithmiques.

La première publication de résultats dans ce domaine intervint en 2001<sup>68</sup>. Elle était réalisée par une équipe de chercheurs travaillant pour IBM, qui tentaient de montrer que leurs deux algorithmes de transaction surpassaient les traders humains. Le travail d'IBM inspira le Professeur Jens Grossklags de l'Université de Californie à Berkeley, qui utilisa des méthodes similaires pour explorer plusieurs questions dans des articles publiés entre 2003 et 2006<sup>69</sup>. Jusqu'à 2011, les expériences publiées par IBM et Grossklags ont fait l'objet de seulement trois articles scientifiques évalués par les pairs dans la littérature de ce domaine. Il s'agit là d'un « vide » saisissant dans la littérature scientifique, qui n'a commencé à être comblé que très récemment. Les articles les plus récents dans ce domaine sont les deux documents publiés par De Luca et Cliff en 2011<sup>70</sup>, qui reproduisent et étendent les expériences menées par IBM en 2001.

---

<sup>68</sup> Voir par exemple : I. Kaminska (2011), Algo trading and the Nymex (Transaction algorithmique et Nymex), *Financial Times Alphaville Blog*, <http://ftalphaville.ft.com/blog/2011/03/04/505021/algo-trading-and-the-nymex/>, et I. Kaminska (2009), HFT in Europe (Transaction à haute fréquence en Europe), *Financial Times Alphaville Blog*, <http://ftalphaville.ft.com/blog/2009/07/24/63651/high-frequency-trading-in-europe/>.

<sup>69</sup> R Das, J. Hanson, J. Kephart, & G. Tesauro (2001). Agent-human interactions in the continuous double auction (Les interactions humaines dans les double-enchères continues). Dans *Proceedings of IJCAI-01 (Compte-rendu d'IJCAI-01)*, <http://www.research.ibm.com/infoecon/paps/AgentHuman.pdf>.

<sup>70</sup> J. Grossklags & C. Schmidt (2006). Software agents and market (in)efficiency: a human trader experiment (Agents-logiciels et (in)efficacité du marché : expérience d'un trader humain). *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews) (Transactions IEEE sur systèmes, homme et cybernétique, Partie C (Applications et Revues))*, **36**(1) :56-67.

Dans DR13, De Luca *et al.* soutiennent que le manque relatif de telles études constitue une omission de la littérature. Ils détaillent la description et l'analyse des résultats de plusieurs expériences nouvelles, conduites spécialement pour la revue pilote du projet *Foresight* (DR13) et où certaines des contraintes expérimentales artificielles utilisées dans les travaux précédents ont été levées, par souci de réalisme. La pertinence des résultats pour les marchés réels se trouve ainsi accrue. De Luca *et al.* concluent notamment de leur étude que, d'après leurs nouvelles expériences, les performances supérieures des systèmes de transaction algorithmiques par rapport aux humains qui avaient été déduites précédemment résultaient probablement de la nature artificielle des conditions expérimentales dans lesquelles elles étaient évaluées, et peuvent aussi être simplement dues au fait que les ordinateurs peuvent agir et réagir plus vite que les humains. Les performances des agents-logiciels ont sensiblement diminué lorsque le flux d'ordres sur le marché est arrivé au compte-gouttes (au lieu d'affluer en une seule fois, comme la contrainte des expériences antérieures le prévoyait). Les résultats de De Luca *et al.* (DR13) fournissent un appui empirique à la notion intuitive selon laquelle le principal avantage qu'ont les algorithmes de transaction actuels fondés sur des agents-logiciels par rapport aux humains est la vitesse à laquelle ils opèrent, bien qu'une rapidité supérieure dans la transaction ne conduise pas nécessairement à une efficacité globale accrue sur le marché.

### 3.3 Du présent au futur

Certains problèmes essentiels sur les marchés actuels semblent devoir garder toute leur acuité dans le futur. La cyber-sécurité, par exemple, restera une préoccupation essentielle : les attaques électroniques sur les systèmes informatiques et les réseaux de communication des marchés financiers mondiaux sont toujours susceptibles d'attirer des criminels. De plus, le mouvement généralisé vers une plus grande confiance placée dans les technologies informatiques avancées signifie que la vitesse de la lumière constitue maintenant un facteur limitant important pour déterminer comment les systèmes de transaction interagissent mutuellement. Même les meilleures technologies imaginables ne permettent pas de transmettre les informations plus vite que la vitesse de la lumière, et même à cette vitesse, elles prennent un temps mesurable pour franchir un océan, voire un pâté de maisons. Cette contrainte ne disparaîtra jamais.

---

<sup>71</sup> Voir : M. De Luca & D. Cliff (2011a). Agent-Human Interactions in the Continuous Double Auction, Redux: Using the OpEx Lab-in-a-Box to explore ZIP and GDx (Interactions des agents humains dans le processus de doubles enchères continues. Redux : utilisation de l'OpEx Lab-in-a-Box pour explorer ZIP et GDx). Dans *Proceedings of the Third International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART-2011)*(Compte rendu de la troisième conférence internationale sur les agents et l'intelligence artificielle) ; et M. De Luca & D. Cliff (2011b). Human-Agent Auction Interactions: Adaptive-Aggressive Agents Dominate (Interactions dans les enchères entre agents humains : la domination des agents agressifs adaptatifs). *Proceedings of IJCAI-2011* (Compte rendu d'IJCAI-2011).

Des recherches universitaires récentes indiquent que les futures générations d'algorithmes de transaction seront adaptatives (elles apprendront de leur propre expérience) et résulteront d'une conception et de processus d'optimisation automatisés par ordinateur. C'est pourquoi, les performances de la future génération d'algorithmes de transaction seront peut-être très difficiles à comprendre ou expliquer, tant au niveau de l'algorithme individuel, qu'à celui du système du marché lui-même.

## **4. Les avancées technologiques probables des dix prochaines années**

Dans la course aux armements technologiques, comme dans bien d'autres interactions concurrentes, les nouvelles innovations ne confèrent un avantage concurrentiel à un innovateur qu'avant qu'elles ne soient copiées ou concurrencées par des contre-innovations : dès que tous les traders utilisent une nouvelle technologie, ils redeviennent à égalité. Pourtant, plusieurs tendances technologiques actuelles resteront vraisemblablement des facteurs importants dans les années à venir.

### **4.1 L'infonuagique (*cloud computing*)**

Avec l'infonuagique, il n'est plus nécessaire d'avoir les ressources financières d'un grand *hedge fund* ou d'une banque d'investissement pour développer des approches de la transaction fortement tributaires de la technologie. Néanmoins, certaines questions réglementaires et législatives doivent être examinées de près : par exemple, pour des raisons de juridiction, l'emplacement géographique des serveurs à distance est très important. Les fournisseurs de services infonuagiques sont bien conscients de ces inquiétudes et offrent des garanties géographiques dans leurs contrats et accords de prestations de services. De plus, l'accès à distance aux facilités de calcul, même à la vitesse de la lumière, signifie que des temps de latence interviendront dans l'accès aux systèmes à distance. Pour de très nombreuses applications, cela n'a pas d'importance, mais pour les activités de transaction, les délais inhérents à la communication avec des centres de données éloignés peuvent être prohibitifs. La latence apparaîtrait certainement comme un problème si une institution essayait de faire tourner ses algorithmes automatisés de transaction à haute fréquence « dans le *cloud* », mais il importe de garder à l'esprit que toute la transaction n'est pas à haute fréquence : d'autres modes de transaction, comme la macro-transaction à la hausse seulement (*long-only macro trading*), sont moins sensibles à la latence.

Dans la prochaine décennie, l'impact principal de l'infonuagique sur les activités des marchés financiers ne résidera pas dans la fourniture de facilités informatiques qui automatisent l'exécution, mais plutôt dans la capacité du *cloud* à fournir un calcul de haute performance (en anglais, *high-performance computing* ou *HPC*), peu coûteux, à l'élasticité évolutive. Ce calcul de haute performance peu coûteux et distant permettra le déploiement de procédures extrêmement intensives en informatique pour la conception et l'optimisation de stratégies de transaction et l'exécution d'algorithmes : ce

processus informatique n'est pas sensible à la latence. De nombreuses banques d'investissement et *hedge funds* possèdent déjà leurs centres de données privés, d'où ils opèrent, mais s'en servent pour les opérations commercialement critiques. Seule une fraction de la capacité de ces centres peut être affectée à des usages de calcul de haute performance. La possibilité soit d'étendre le calcul informatique réalisé en interne en ajoutant des ressources localisées dans le *cloud* (phénomène baptisé *cloudbursting* en anglais, littéralement « le remplissage du nuage ») soit d'externaliser simplement l'ensemble des prestations vers un fournisseur du cloud, ouvre de nouvelles possibilités à peine explorées à l'heure actuelle.

## 4.2 Personnaliser le silicium

Les ordinateurs personnels généralistes, disponibles dans le commerce disposaient auparavant d'une puce constituant l'unité centrale unique (*CPU* pour *central processing unit*), comme Intel Pentium. Dans les dernières années, ils ont évolué vers une nouvelle génération de puces CPU, qui renferment de nombreux ordinateurs indépendants (des *cores* ou « noyaux »). Dans les magasins des centres-villes, les ordinateurs personnels *dual-core* ou *quad-core* sont devenus la norme. *Grosso modo*, une puce *dual-core* peut réaliser autant de travail qu'une puce *single-core* par unité de temps, et une puce *quad-core*, quatre fois plus. On constate actuellement un tournant majeur vers le calcul *many-core* et l'exploration des vitesses fournies par plusieurs dizaines ou centaines de *cores* opérant en parallèle. Cette évolution implique souvent d'utiliser des puces spécialisées conçues à l'origine pour les ordinateurs de traitement graphique. De plus, comme nous l'avons noté ci-dessus, la volonté de gérer des données financières à très grande vitesse a conduit un grand nombre de grands acteurs du marché à abandonner l'usage d'ordinateurs généralistes, tels les ordinateurs personnels qu'on trouve dans le commerce, et à les remplacer par les puces de silicium à usage spécifique, qui peuvent être personnalisées ou programmées « sur le terrain » (c'est-à-dire que l'utilisateur final de la puce la personnalise à son gré, pour tout but qui satisfait ses besoins). Actuellement, la plus populaire de ces technologies est un type de puce connu sous le nom de puce FPGA (pour *field-programmable gate array* ou « réseau de portes programmables *in situ*). Programmer un FPGA est aujourd'hui une tâche très longue et très compliquée : le programmeur doit traduire un algorithme en chemin pour un circuit électronique, puis le décrire dans un langage spécifique au matériel. Malgré ces complexités, l'adoption des puces de silicium personnalisées continuera vraisemblablement dans la décennie à venir en raison des gains en vitesse qu'elles offrent. Sur cette période, il est probable que l'utilisation des FPGA sera supplantée par une approche nouvelle pour personnaliser la production de silicium, qui comprendront davantage de puces *multi-core* ou *many-core* facilement programmables sur le terrain. Ces puces seront programmables dans un langage de logiciel haut niveau, assez proche des langages de programmation actuellement en cours dans l'industrie. Ainsi, des programmeurs formés aux langages conventionnels peuvent écrire des algorithmes qui sont ensuite « compilés » sur le matériel qu'est la puce de silicium, sans avoir besoin d'apprendre des langages de description spécifiques au matériel FPGA. De cette façon, on pourra réduire les temps

de développement des puces personnalisées (qui se mesurent actuellement en jours ou en semaines) pour atteindre quelques minutes, entre la description d'un algorithme de transaction en langage de programmation de haut niveau et la diffusion de cet algorithme sur un vaste dispositif parallèle à haute vitesse composé de nombreuses puces de silicium indépendantes et personnalisées. Dans DR3, Cliff, Brown et Treleavan affirment que ce style de matériel informatique est susceptible d'être très répandu dans la prochaine décennie. Sa puissance de calcul serait suffisante pour permettre aux futures générations d'algorithmes de transaction, qui sont évolutives (qui apprennent de leur propre expérience) et qui n'auront pas été conçues par des ingénieurs humains, mais résulteront plutôt de processus d'optimisation et de conception informatisés et automatisés.

### **4.3 Des algorithmes de transaction générés par ordinateur, capables de s'adapter et de tirer un enseignement**

L'usage des méthodes d'optimisation automatisées pour concevoir et améliorer les algorithmes de transaction évolutifs et autonomes est déjà répandu partout dans la recherche universitaire et son usage dans le secteur de la finance semble devoir croître dans la prochaine décennie. Cette évolution est rendue possible et accélérée par la baisse graduelle du coût du calcul de haute performance offerte par les fournisseurs d'infonuagique et par les énormes augmentations de vitesses fournies par les puces de silicium personnalisées. La conception et l'affinement de ces algorithmes de transaction de nouvelle génération ne seront que peu ou pas du tout réalisés par l'homme, c'est pourquoi le comportement de chacun de ces traders automatisés pourra être extrêmement difficile à comprendre ou à expliquer, et la dynamique des marchés fréquentés par ces traders très difficile à prédire ou contrôler.

## **5. Conclusion**

On peut raisonnablement penser que le nombre de traders humains sur les marchés financiers pourrait fortement se réduire dans la prochaine décennie. Il n'est pas impossible, bien que peu probable, que ces derniers ne soient plus du tout nécessaires pour assumer certains rôles sur les marchés. Nous, humains, sommes simplement faits d'un matériel dont la bande passante est trop limitée et trop lente, qui ne nous permet pas de rivaliser avec les vagues montantes de la technologie informatique.

Tout comme les robots ont révolutionné l'ingénierie des procédés de fabrication, notamment dans la production automobile dans les dernières années du 20<sup>e</sup> siècle, conduisant à d'importantes réductions d'effectifs dans les usines, il semble que le début du 21<sup>e</sup> siècle puisse connaître une révolution similaire (avec les logiciels de robots traders) sur les marchés financiers mondiaux. Le nombre de traders *front line* employés par les grandes institutions financières est susceptible de se réduire, mais la demande en développeurs d'algorithmes pourrait s'accroître.

En se fondant sur les données examinées dans les différents documents cités par cet article, il apparaît clairement que tant le rythme de

développement des innovations technologiques sur les marchés financiers que la vitesse de leur adoption se poursuivront ou augmenteront à l'avenir. Une implication brutale des évolutions examinées ici est mise en évidence dans DR3 : aujourd'hui, les systèmes de transaction peuvent être présents partout. Les économies émergentes comme celles du Brésil, de la Russie, de l'Inde et de la Chine peuvent capitaliser sur les opportunités offertes par les nouvelles technologies et ce faisant, venir menacer, en seulement quelques décennies, la domination historique des grandes places européennes en tant que centres mondiaux des échanges financiers. Il faudra considérer ultérieurement la formulation de réponses politiques appropriées à ces menaces potentielles.

# Glossaire

**Volatilité** – amplitude de variation d'un titre sur une période donnée, souvent exprimée en pourcentage.

**Stabilité des marchés financiers** – absence de mouvements extrêmes des cours des actifs sur de courtes périodes.

**Liquidité** – capacité d'opérer une transaction (achat-vente) sur un titre sans affecter son cours de manière importante. Plus le marché sera liquide, moins sensible sera l'impact des cours.

**Tenue de marché** – action de fournir des liquidités aux vendeurs et acheteurs en jouant le rôle de partie contractante. Un teneur de marché achète aux vendeurs et vend aux acheteurs.

**Fournisseur désigné de liquidités** – terme générique pour tout intervenant du marché qui accepte de se tenir prêt pour acheter ou vendre un actif pour satisfaire à une demande du marché.

**Cahier d'ordres** – registre des ordres à cours limité de vente ou d'achat d'un actif. De nos jours, les cahiers d'ordres sont généralement électroniques et permettent aux traders de définir le cours auquel ils aimeraient vendre ou acheter une certaine quantité d'un actif.

**Flux d'ordres** – arrivée des ordres d'achat et de vente sur le marché.

**Efficacité du marché** – notion selon laquelle les prix du marché reflètent la véritable valeur sous-jacente de l'actif.

**Coûts de transaction** – coûts engagés par le trader pour acheter ou vendre un titre.

**Transparence du marché** – capacité à connaître les informations de marché. La transparence post-négociation se réfère à la capacité à voir les cours et volumes. La transparence pré-négociation se réfère à la capacité à voir les ordres.

**Efficacité des prix** – lorsque le cours d'un actif reflète la véritable valeur sous-jacente de celui-ci.

**Formation des prix** – processus de marché par lequel de nouveaux éléments d'information sont intégrés aux cours des actifs.

