



# Introduction aux SMA

Implémentation d'un simulateur boursier

Christophe  
ANDRES  
2022/2023

# SMA : système multi-agents

En informatique, un système multi-agent est un système composé d'un ensemble d'agents, situés dans un certain environnement et interagissant selon certaines relations. Un agent est une entité caractérisée par le fait qu'elle est, au moins partiellement, autonome. *Wikipédia*

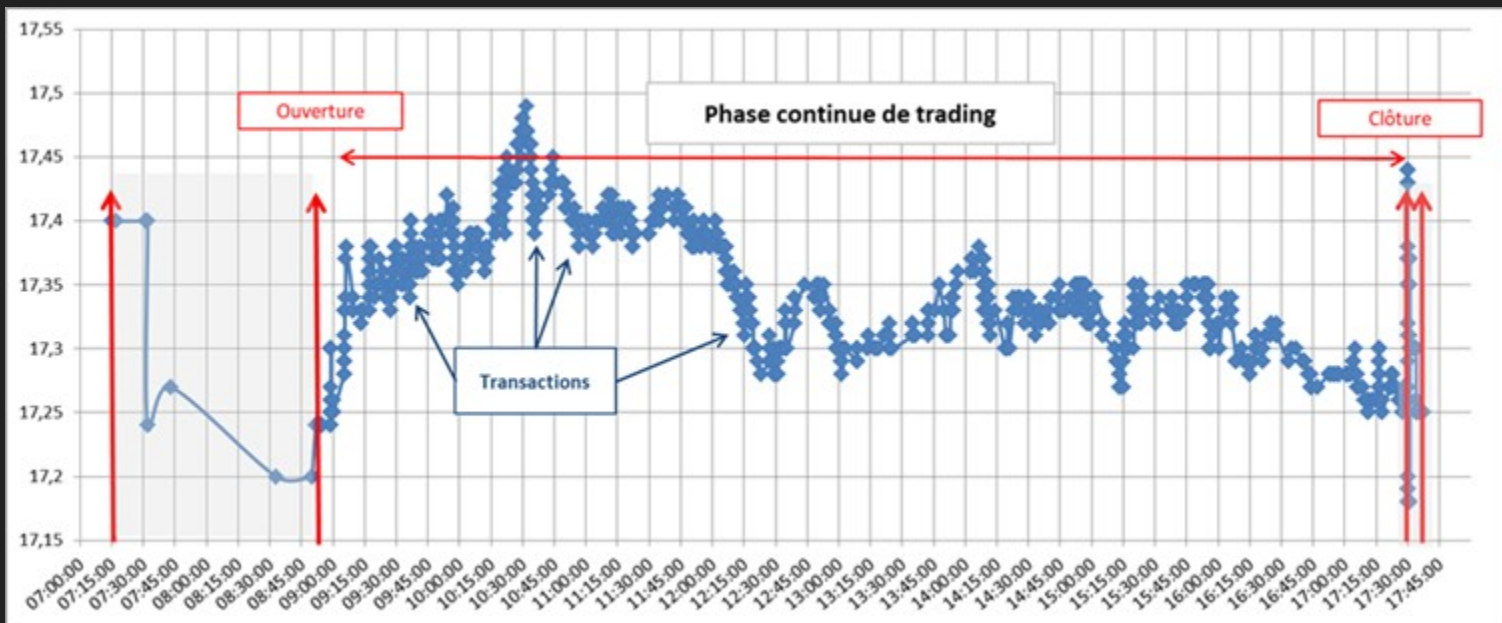
# SMA pour les marchés financiers

L'approche des systèmes multi-agents est un outil de **modélisation** qui permet de décrire des entités singulières obéissant à un certain nombre de règles définies de comportement et d'interaction à différentes échelles. C'est une approche « bottom-up » dans le sens où la dynamique globale du système repose, non pas sur une explicite description, mais sur la résultante des interactions des agents.

Dans le cas des marchés financiers, on peut au travers d'un SMA, simuler le comportement des traders et regarder ce qu'il se passe. Les SMA sont par exemple des outils pour estimer quel serait l'impact d'un changement de réglementation sur les participants de marché.

# Marché financier: introduction à un marché actions

Un jour de bourse (tel qu'il se déroule sur le marché le plus connu d'Euronext Paris) est rythmé en trois temps : l'ouverture à 9 :00, la phase de trading continue et la clôture à 17:35.



# Marché financier: introduction à un marché actions

Le diagramme ci-dessous introduit une représentation simplifiée d'un carnet d'ordres:

				Best ask			
				18,0 €	69	13	43
				15,0 €	81	52	
				13,0 €	49	110	16
				11,0 €	16	52	11
				10,0 €	33	22	
				5ème limite à la vente			
				4ème limite à la vente			
				3ème limite à la vente			
				2ème limite à la vente			
				1ère limite à la vente			
				Best bid			
1ère limite à l'achat		37	15	10	9,0 €		
2ème limite à l'achat			23	10	8,0 €		
3ème limite à l'achat	5	12	46	100	7,0 €		
4ème limite à l'achat		2	56	49	5,0 €		
5ème limite à l'achat				110	4,0 €		

## Définitions

**Meilleures limites :** L'offre la plus basse à la vente (ici 10€) est couramment appelée « première limite à la vente » ou « meilleure limite à la vente » ou encore « best ask ». De la même manière, on appellera la demande la plus haute à l'achat « première limite à l'achat » ou « meilleure limite à l'achat » ou encore « best bid ».

**Bid-ask spread** : La différence entre les deux premières limites des deux côtés du carnet, est appelée « fourchette offre-demande » ou « bid-ask spread ».

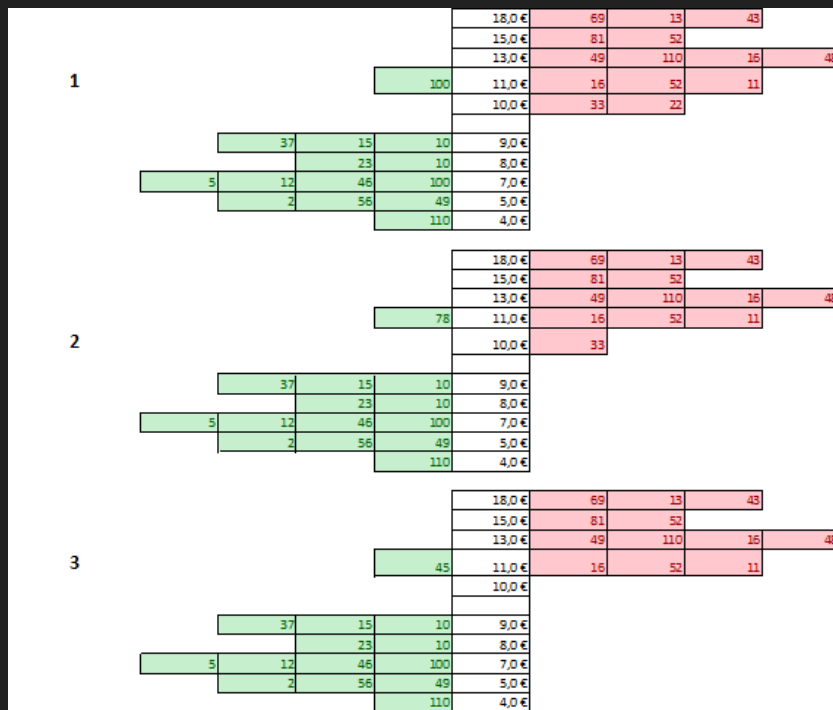
**Mid-price** : Le prix moyen entre les meilleurs limites est le « mid-price », ici il serait égal à 9,50€.

**Profondeur :** Chaque quantité cumulée sur une limite constitue la « profondeur ». Ainsi, dans la Figure 3 la profondeur à la meilleure limite à l'achat est égale à 62 titres, et la profondeur à la meilleure limite à la vente est égale à 55 actions. La notion de profondeur est également applicable sur plusieurs limites. Ainsi dans l'exemple ci-dessus, la profondeur totale à l'achat sur les 5 limites est égale à la somme de la profondeur de chaque limite soit 475 titres.

**Tick-size** : Le pas minimal de cotation, appelé « tick-size » est la différence minimale qu'on peut observer entre deux limites d'un même côté du carnet. Le tick-size n'est pas une valeur déduite du carnet mais un paramètre fixé pour chaque action par la bourse. Dans l'exemple ci-dessus, on imagine que le tick-size est égal à 1€.

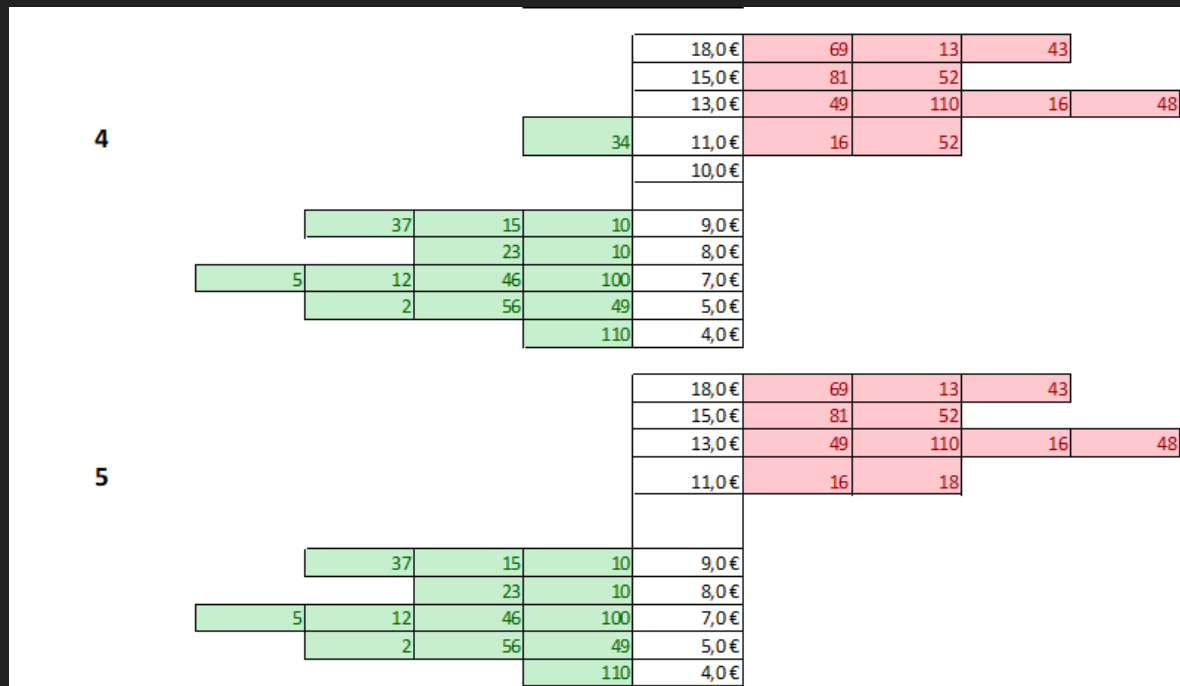
# Règle d'appariement des ordres

Le diagramme ci-dessous explicite l'exécution d'un ordre



# Règle d'appariement des ordres

Le diagramme ci-dessous explicite l'exécution d'un ordre:



# Modélisation d'un simulateur boursier simplifié

La bourse est composée de traders qui cherchent à acheter et à vendre un actif  $S$ . Pour assurer la fluidité des échanges, la bourse engage des “market makers” qui sont tenus de coter des prix à l'achat et à la vente. L'ensemble des intérêts acheteurs et vendeurs sont centralisés dans le carnet d'ordres. Deux ordres de direction opposés qui se rencontrent s'exécutent et formalise une transaction.

On suppose le modèle boursier suivant simplifié (règles de base) - 10 points:

- 1) dans la réalité le temps est en continu, mais dans le cadre du projet on considérera un temps discrétisé, modélisé par des itérations d'une boucle `for` ou `while`
- 2) a chaque itération on suit les étapes suivantes:
  - a) le market maker actualise ses prix (à l'achat et à la vente) sachant que le prix à l'achat est toujours  $<$  du prix à la vente). On suppose que le market maker est toujours prêt à acheter et à vendre, on s'affranchit donc d'afficher une quantité disponible.
  - b) les traders choisissent d'acheter ou de vendre
  - c) on actualise les comptes des traders (leur PnL)
- 3) le système compte un seul agent de type “market maker” qui est tenu de proposer des prix à l'achat et à la vente selon une modélisation de votre choix
- 4) le système compte 2 traders: un trader achète toutes les itérations paires et vend sur les itérations impaires, le second trader suit une stratégie de votre choix.
- 5) A chaque itération un trader peut soit acheter soit vendre mais pas les deux à la fois
- 6) le pnl des deux traders est initialisé à 0 et s'actualise à chaque itération (incrémenté lorsque le trader vend et décroît lorsque le trader achète)



# Modélisation d'un simulateur boursier simplifier

Comment modéliser le système ?

Quelques rappels sur la programmation orientée objet (POO)

[OpenClassRooms](#)

# Modélisation d'un simulateur boursier simplifier

**Dessiner votre diagramme UML:**

Quelles sont les classes à définir ?

Pour chacune d'entre elles quels sont leurs attributs, quelles sont leurs fonctions/méthodes?

Quelles sont les interactions?

Pour rappel, à modéliser (en plus des fonctions d'interaction):

- les prix proposés par le market maker à l'achat et à la vente
- la stratégie d'un des deux traders

# Modélisation d'un simulateur boursier simplifier

Pour les prochaines fois (5 points) :

- mettre en place un tirage de plusieurs simulations de son système
- définir les variables output du système, i.e. les variables macro/agrégée qui permettront de décrire la dynamique globale du système
- stocker les variables "output" de son système dans un fichier csv par simulation
- proposer une étude des données générées par son système (est-ce qu'il y a une stratégie qui marche mieux qu'une autre ? montrer à quoi ressemble la courbe des prix proposés par le market maker etc.)

Pour aller plus loin (5 points):

- augmenter le nombre de participants (et donc être capable de simuler plusieurs stratégies)
- rendre plus intelligents ses agents trader dans leur stratégie (maximiser leur pnl)
- rendre plus intelligent le market maker (maximiser son pnl)

(Bonus) Créer une visualisation/dashboard plus ou moins avancé qui peut aller de la représentation de l'évolution des prix proposés par le market maker d'une itération à une autre, à un dashboard complet avec le pnl de chaque acteur à chaque itération - *be creative*

(Bonus) Pour ceux qui voudrait essayer de développer une petite appli web: voir fastapi ou flask

# Références

Arthur, W. B., Holland, J. H., LeBaron, B., Palmer, R. G., & Tayler, P. (1996). Asset pricing under endogenous expectations in an artificial stock market.

Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems, *National Academy of Sciences* 99, 7280-7287.

Bartolozzi, M. (2010). A multi agent model for the limit order book dynamics. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, 78(2), 265-273.

Bouchaud, J. P. (2008). Economics needs a scientific revolution. *Nature*, 455(7217), 1181.

Macal, C., North, M. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation, *Journal of Simulation*

Cont, R., Moussa, A., Minca, A., & Basto, E. (2009). Too interconnected to fail: contagion and systemic risk in financial networks. Lecture presented at the IMF, May.

Chan, N., LeBaron, B., Lo, A., Poggio, T. (1999). Agent-based models of financial markets: A comparison with experimental markets, Unpublished Working Paper, MIT Artificial Markets Project, MIT, MA.

Tesfatsion, L., Judd, K. (2006). Agent-based computational economics, *Handbook of Computational Economics* 2.

LeBaron, B. (2001). A builder's guide to agent-based financial markets. *Quantitative Finance*, 1(2), 254-261.