

FEUILLE DE ROUTE — MODÈLE DE VICSEK

Antoine Royer et Alexis Peyroutet

mercredi 8 février 2023

1 Contextualisation du sujet

Notre sujet est intitulé « Modèle de Vicsek ». Le but de ce projet numérique est de reproduire de manière numérique le modèle de Vicsek.

Le modèle de Vicsek a été créé par le scientifique Tamás Vicsek [1]. Il s'agit d'un physicien hongrois connu pour ses contributions à la physique statistique, à la biologie et à la dynamique des systèmes. Il est né le 10 mai 1948 (74 ans) à Budapest. Il est aujourd'hui professeur à l'Université Eötvös Loránd de Budapest. Ce brillant physicien est d'ailleurs un des membres de l'Académie hongroise des sciences et a reçu de nombreux prix pour ses contributions à la physique, notamment le prix Széchenyi (1999) ou encore le prix Lars Onsager (2020).

Mais Tamás Vicsek est surtout connu pour son travail sur les systèmes auto-organisés, qui étudient les mouvements collectifs. Il a ainsi travaillé sur le comportement d'agents individuels qui interagissent avec d'autres agents aux alentours, ses observations montrent que des motifs de mouvements collectifs apparaissent d'eux-même. Le groupe se déplace alors de manière coordonnée sans qu'il n'y ait de leader comme on peut l'observer notamment dans la migration des grues. Nous pouvons citer comme exemples : les bancs de poissons, les regroupements de certains oiseaux, les essaims d'insectes, ou encore le mouvement de foules [2, 3].

Le premier modèle de Vicsek voit ainsi le jour en 1995.

Pour être plus précis, le modèle de Vicsek va étudier un groupe d'agents qui se déplace dans un espace. Chacun des agents a une vitesse donnée (en norme et en direction). Chaque agent va interagir avec ses voisins, ce qui concrètement se traduit par des changements concernant la norme et la direction de la vitesse. Nous allons alors observer la création d'un mouvement de groupe du aux interactions entre les agents. Cependant, les agents observables dans la vie réelle ne suivent pas toujours le groupe à la perfection, et il peut arriver qu'un agent s'écarte, de manière aléatoire, des autres. C'est pour cela que Vicsek a introduit une notion de bruit dans son modèle. En effet, à chaque pas de temps, chaque agent va prendre la direction moyenne des agents autour de lui et à cette direction va venir se superposer un bruit qui le fera peut-être dévier dans une autre direction. En augmentant significativement le bruit, le groupe perd son mouvement collectif et les agents prennent alors des directions aléatoires.

Le modèle de Vicsek s'implémente très simplement puisqu'il se réduit à deux équations que nous avons retrouvé dans le papier écrit par Vicsek lui-même ainsi que la page Wikipédia du modèle [2, 3] :

$$\begin{aligned}\Theta_i(t + dt) &= \Theta_{j|r_i - r_j| < r} + \eta_i(t) \\ r_i(t + dt) &= r_i(t) + v_i \Delta t\end{aligned}$$

dans lesquelles r_i la position de chaque individu donnée par un vecteur de position, nous prendrons i comme indice de l'agent en question et t le temps. Nous noterons également η le bruit et Θ pour l'angle définissant la direction de sa vitesse. Ici, $\Theta_{j|r_i-r_j|<r}$ nous indiquera la direction moyenne des vitesses des agents dans un cercle de rayon r . L'indice j représentera alors l'ensemble des voisins de i compris dans ce cercle.

Ce qui est intéressant, c'est que nous pouvons, en modifiant certains paramètres du système étudié, observer un mouvement de foule plus fort ou plus faible. Nous pourrions alors jouer sur la surface et les dimensions du plan étudié, le nombre d'agent et donc par conséquent la densité de population et même le bruit.

Le modèle de Vicsek est important pour étudier le comportement de certains animaux en biologie ou encore l'étude des foules. Ce modèle peut même être utile à la construction de bâtiment. En effet, le comportement des foules peut être intéressant dans la conception d'entrées et de sorties d'un espace fermé, notamment dans un moment de panique. La foule va s'éloigner du danger est emprunter les sorties. Il est alors crucial de prévoir le comportement des agents pour placer les sorties de manière à ce que le débit d'agent sortant soit le plus important possible. Nous pouvons pas parler de foule sans citer le sociologue français Mehdi Moussaoui et son livre « Fouloscopie » qui étudie et explique au grand public ses recherches et découvertes sur la psychologie des foules (sur sa chaîne Youtube « Fouloscopie » [4]). Ce domaine étant étroitement lié au modèle de Vicsek dans plusieurs aspects, nous devions en dire un mot.

Nous pouvons également retrouver le modèle de Vicsek dans la robotique. C'est un précieux outil pour la technologie du monde moderne. Il peut être utiliser dans des programmes informatiques qui gèrent le déplacement de systèmes de robots (comme les drones).

C'est avec tout cela que nous essayerons, à travers ce projet, de reproduire numériquement des mouvements collectifs et ainsi étudier le modèle de Vicsek.

2 Travail effectué et travail prévu

2.1 Présentation du travail effectué

Pour ce projet, la programmation orientée objet s'est naturellement imposée. Nous utilisons ainsi deux classes principales appelées **Agent** et **Group** qui fixent respectivement les paramètres de l'agent et du groupe. Assez simplement, la classe **Group** contient une liste d'instances de la classe **Agent** et permet de les représenter dans l'espace et le temps. La classe **Agent** permet d'encapsuler toutes les données de chaque agent : position, vitesse et direction.

Depuis le début du projet, nous avons déjà bien avancé. En effet, notre programme est maintenant capable de générer une animation qui montre l'évolution du groupe d'agents selon le modèle de Vicsek. Nous pouvons choisir un certain nombre de paramètres, en particulier :

- le nombre d'agents ;
- la longueur caractéristique de l'espace ;
- les bornes utilisées pour générer les positions aléatoires (lors de la création des agents) ;
- les bornes pour la vitesse (en norme et en direction) ;
- le bruit.

La programmation orientée objet permet une manipulation extrêmement agréable du modèle. Nous avons par exemple pu redéfinir la soustraction pour les agents qui nous retourne la distance

qui sépare ces deux agents. La syntaxe avec les méthodes permet également beaucoup de choses en restant une solution élégante : `mon_group.run()` permet ainsi de générer une animation, nous pouvons alors régler le nombre d'images, l'intervalle entre chaque image, le nom du fichier de sortie, la prise de compte de l'angle de vue et son affichage.

Nous avons par ailleurs accès à la densité d'agent dans l'espace considéré, ainsi qu'à tous les paramètres du modèle (vitesse et position de chacun des agents, nombre d'agents dans un cercle de rayon et de centre donnés).

2.2 Expériences menées à partir du modèle

Nous avons dans un premier fixé la taille de l'espace étudié, et pris des valeurs de bruits aléatoires afin de voir son impact sur l'organisation du groupe.

Nous avons ensuite rajouté à chaque agent un angle de vue. En effet, la majorité des cas réels dans lesquels ce modèle s'applique, les agents ne voient pas à 360°, nous avons ainsi voulu rendre compte de cette réalité. L'angle de vue est fixé et identique pour tous les individus du groupe, mais les distances de visions ne sont pas uniforme sur l'ensemble des agents. Ces cônes de vue peuvent être tracés pour mettre en lumière quels agents sont vus. Pour cela nous avons du recourir à des fonctions du module `matplotlib` [5] ainsi qu'à des cours en ligne pour approfondir nos connaissances en python et trouver des fonctions adaptées à nos besoins [6].

Dans la même optique et afin de préparer nos futures simulations, nous avons fait en sorte que chaque agent ait une couleur qui dépend de son orientation. Cela nous permettra, lorsque nous nous intéresserons aux groupes de hautes densités d'avoir un aperçu rapide des mouvements en présence.

Nous avons assez peu fouillé encore cette fonctionnalité, mais nous pouvons rajouter des agents répulsifs. Pour l'instant immobiles, ces agents symbolisent un danger ou un prédateur, et les autres agents vont tenter de s'en éloigner au plus vite. Dès qu'un agent répulsif entre dans le champ de vision d'un agent normal, l'agent normal fait demi-tour. Les agents répulsifs sont détectés à 360°, sans prise en compte de l'angle de vue. Nous avons alors observé des mouvements chaotiques et désorganisés. Il est toutefois intéressant de noter que grâce aux règles générales, un agent qui n'a pas vu l'agent répulsif peut prendre la fuite aussi s'il se met à suivre un agent qui, lui, l'a vu et est en train de fuir.

2.3 Travail prévu

Nous avons encore quelques idées d'améliorations à apporter à notre programme. Nous aimerions, par exemple, rajouter des obstacles pour voir les conséquences sur l'effet de groupe. Bien que cette idée paraît assez difficile à programmer, elle représente des situations de la vie réelle, comme la présence d'un rocher pour un banc de poisson par exemple. Nous nous attendons alors à voir une intelligence collective à ce sujet afin d'éviter l'obstacle et de continuer à avoir un mouvement de groupe.

Dans la même idée, étudier plus en détail les agents répulsifs pourrait être intéressant. L'ajout d'agents répulsifs avec la mise en place d'une prédation (i.e. les agents les plus proches sont mangés par le prédateurs) est une idée assez simple en soit, mais il serait intéressant, sur un grand nombre d'essais de faire des statistiques sur les paramètres des agents qui ont survécus et des morts et ainsi tenter de reproduire une forme de sélection naturelle. Nous pourrions pour cela nous servir de base de données par exemple ce qui rendrait plus complet notre approche.

Il serait aussi intéressant de rajouter une interface graphique à notre script python pour plus de confort quant à l'utilisation de notre programme. L'utilisateur pourrait alors plus facilement choisir les paramètres qu'il souhaite appliquer au modèle.

Nous avons également pensé à aller à l'encontre du modèle en établissant un agent leader qui influence tout le groupe. Nous pourrions alors observer un mouvement collectif totalement différent. Tout comme l'a étudié le sociologue français Mehdi Moussaoui dans une expérience avec la foule [4], nous pourrions sans doute voir une hiérarchie se créer au sein du groupe. Le leader va guider quelques agents qui vont à leur tour en guider un plus grand nombre et ainsi de suite. Une hiérarchie en forme de pyramide serait alors visible lors du déplacement de nos agents. Cette idée permet d'aller au delà du modèle de Vicsek et étudier en particulier l'intelligence collective et l'adaptation du groupe face à certaines situations. Cette psychologie et intelligence de groupe, peut être très intéressante pour évaluer également l'organisation et même la cohésion d'un groupe.

Cette dernière idée ouvre naturellement la voie à plusieurs questions bien plus générales que le modèle de Vicsek, et dans des domaines très différents, de la sociologie à la politique. Un groupe d'individus peut-il s'auto-organiser sans leader ? Faut-il nécessairement une hiérarchie pour que tout se passe bien dans notre société ?

Références

- [1] Tamás vicsek. https://en.wikipedia.org/wiki/Tamas_Vicsek.
- [2] Tamás Vicsek, Andras Czirok, Eshel Ben-Jacob, Inon Cohen, and Shochet. Novel type of phase transition in a system of self-driven particles.
- [3] Modèle de vicsek. https://en.wikipedia.org/wiki/Vicsek_model.
- [4] Mehdi Moussaoui. Fouloscopie. <https://youtube.com/@Fouloscopie>.
- [5] Matplotlib. <https://matplotlib.org>.
- [6] Cours python. <https://courspython.com/index.html>.