

FEUILLE DE ROUTE — MODÈLE DE VISCEK

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. 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 émergent 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.

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 déplacent 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 dans la norme et la direction de la vitesse. Nous allons alors observer la création d'un mouvement de groupe dû 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 :

$$\Theta_i(t + dt) = \Theta_{j|r_i - r_j| < r} + \eta_i(t)$$

$$r_i(t + dt) = r_i(t) + v_i \Delta t$$

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 comportements de certains animaux en biologie ou encore l'étude des foules. Ce modèle peut même être utile à la construction de bâtiment. Le comportement des foules peut être intéressant dans la conception d'entrées et 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 également retrouver le modèle de Vicsek dans la robotique. C'est un précieux outils 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 de manière informatique le modèle de Viscek.

2 Travail effectué et 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'agent selon le modèle de Viscek. 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.

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'amélioration à apporter à notre programme. Nous aimerions, par exemple, rajouter des obstacles pour voir les conséquences sur l'effet de groupe. Mais cette idée paraît assez difficile à programmer. 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. Dans la même idée, étudier plus en détail les agents répulsifs pourrait être intéressant.

