

Le modèle de ségrégation de Schelling

C. CAMBIER, P. FOURNIER, A. GUILLON, J.-D. KANT, N. MAUDET, S. STINCKWICH

En Décembre 2016 disparaissait Thomas C. Schelling. Economiste, récipiendaire du Prix de la Banque de Suède en sciences économiques en mémoire d'Alfred Nobel (communément appelé –et considéré– comme le prix Nobel d'Economie), il a travaillé sur de nombreux sujets, en particulier l'analyse des conflits.

Une de ses contributions a permis de mieux comprendre les phénomènes de ségrégation. Plus précisément, le propos de Schelling fut d'étudier la dynamique par laquelle des phénomènes de ségrégation extrêmes peuvent survenir, en dépit de préférences qui peuvent sembler faiblement discriminantes individuellement. Ainsi, même si chaque individu se déclare prêt à accepter une certaine proportion d'individus « différents » dans son voisinage, le résultat final peut être que la population se regroupe en régions très homogènes.

Cette étude peut être menée à l'aide de modèles connus sous le nom d'*automates cellulaires*. Un des automates les plus célèbres est le *jeu de la vie*, proposé par John Conway en 1970. Il existe de nombreux autres automates cellulaires dont le comportement est relativement bien étudié, et la littérature est riche à ce sujet. Nous recommandons la lecture de l'article [2] de Jean-Paul Delahaye.

Nous nous basons ici sur l'article original de Schelling [1] pour présenter un modèle abstrait permettant d'étudier les phénomènes de ségrégation.

FIGURE 1 – Thomas Schelling.



I. Modèle linéaire

Pour illustrer le modèle, prenons un monde *linéaire* (c'est en fait le premier modèle étudié par Schelling dans son article, à quelques détails près). Le modèle se compose des éléments suivants :

- les individus sont de deux *types* (« 0 » et « 1 »), disposés spatialement sur une ligne.
- le *voisinage* sont les quatre voisins d'une cellule, de chaque côté. Il faut noter que le nombre de voisins peut varier selon la localisation (pour les individus en bout de ligne).
- le *seuil de satisfaction* : un individu est satisfait si une majorité (faible) de ses voisins est de la même couleur que lui (*i.e.* il veut au moins autant de voisins de même type que lui que de voisins différents)
- le *mode de déplacement* : un individu non satisfait va chercher à se déplacer pour trouver un emplacement qui le satisfasse. La règle dans ce cas là est qu'un individu se déplace vers l'emplacement le plus proche qui le satisfait.
- la *dynamique* des déplacements est simplement de considérer les individus, de gauche à droite. Chaque individu non satisfait se déplace (vers la gauche ou vers la droite) vers la l'emplacement le plus proche qui le satisfait. Il s'insère alors à la localisation visée. Un *tour* est terminé lorsque tous les agents ont été considérés.

Partant d'un état initial, le processus est répété jusqu'à équilibre, c'est-à-dire jusqu'à ce que plus aucun individu insatisfait ne puisse se déplacer, ou qu'une situation de blocage soit détectée. Cela peut nécessiter plusieurs tours.

Pour illustrer le propos, considérons la situation initiale suivante :

0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Les individus non satisfaits sont indiqués en gris dans la table. Le premier individu à se déplacer sera donc le deuxième en partant de la gauche. En effet, son voisinage ne comprend qu'un autre individu 1 (sur 5). Pour trouver une place satisfaisante, il va devoir se déplacer de 6 cases vers la droite. Le nouvel état sera alors (l'individu s'étant déplacé est en gras) :

0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

L'impact de plusieurs paramètres du modèle peut être étudié : (i) le voisinage, (ii) les préférences des individus (le seuil de voisins de leur couleur qui les satisfait), (iii) le ratio entre les deux types d'individus, (iv) la configuration initiale, et (v) les règles de mouvement.

Les métriques qu'il peut être intéressant d'étudier sont, par exemple, (i) le nombre d'individus satisfaits à l'équilibre, (ii) la taille (moyenne) des regroupements homogènes observés et leur nombre, (iii) la moyenne sur tous les individus de voisins du même type qu'eux, ou encore (iv) le nombre de tours nécessaires pour arriver à un état stable.

II. Modèle spatial

L'extension à un modèle spatial n'est pas complètement triviale. En effet, si toutes les localisations sont occupées, il n'est pas si évident de définir les règles de déplacements (où se déplacent les individus « chassés » de leur localisation ?). Il est alors plus aisé d'introduire alors des localisations *non occupées*. Dans ce cas, les individus se déplacent vers la localisation inoccupée la plus proche (selon la distance de Manhattan, par exemple), qui satisfait leur seuil de préférence. Une autre solution serait de les faire se déplacer simplement au hasard vers une localisation inoccupée qui les satisfait.

III. Travail demandé

Dans le cadre de cet ARE, il vous est demandé :

1. en vous appuyant sur le code qui vous est fourni, de comprendre et d'étudier le modèle linéaire Schelling, et d'essayer de reproduire le plus fidèlement possible les résultats originaux [1];
2. d'analyser le comportement de ce modèle en faisant varier certains paramètres. Pour cela, vous devrez compléter le code afin de pouvoir lancer des simulations (permettant de faire varier automatiquement certaines valeurs de paramètres), et d'afficher des courbes pour visualiser les résultats moyennés sur un nombre suffisant de simulations ;
3. de proposer une version *animée* du modèle spatial. Vous pourrez vous contenter d'un modèle simple de déplacement aléatoire.

RÉFÉRENCES

- [1] Thomas C. Schelling, *Dynamic Models of Segregation*, Journal of Mathematical Sociology (1971) 143-186
- [2] J.-P. Delahaye, *Le royaume du jeu de la vie*, Pour la Science (2009) 378