Université d'Evry val d'Essonne

RAPPORT DE PROJET

Modèles et méthodes pour les systèmes multi-agents

Modèle de propagation d'une idée

Réalisé par

Mohammed Yacine BRAHMIA **M1 SA**

Nabil DJELLOUDI **M1 SA**

Supervisé par Dr. DELAPLACE

Dr. HUTZLER

2023/2024

Table des matières

Introduction

Ce rapport explore la propagation d'idées dans un espace structuré, utilisant les principes des automates cellulaires et de la théorie des jeux spatialisée

1 Compréhension générale du Projet

1.1 Automate cellulaire

Un automate cellulaire est un modèle mathématique ou un système informatique composé d'un ensemble de cellules sur une grille. Chaque cellule peut se trouver dans l'un des nombreux états possibles, souvent déterminés par des règles simples. L'état de chaque cellule évolue au fil du temps, en fonction de l'état de ses cellules voisines, selon un ensemble de règles défini.

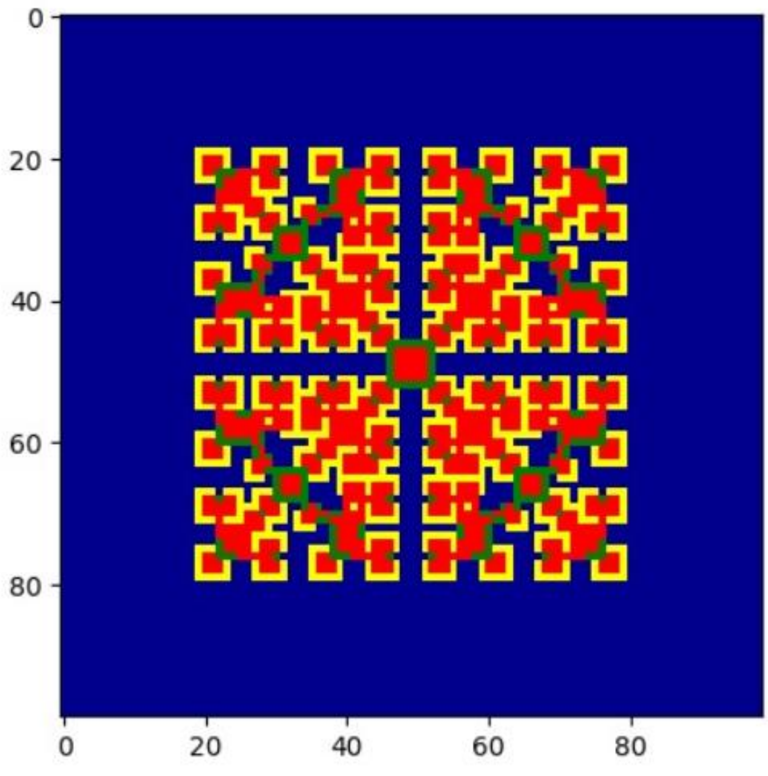

Figure 1: Exemple d'automate cellulaire

1.2 Un Système multi-Agents

Un système multi-agents est une structure composée de multiples agents autonomes qui interagissent dans un environnement commun. Ces systèmes sont utilisés pour modéliser des situations complexes dans lesquelles de nombreux acteurs ou entités prennent des décisions et interagissent de manière indépendante.

Dans un système multi-agents, chaque agent possède une autonomie lui permettant de fonctionner indépendamment, une capacité à percevoir et s'adapter à son environnement, y compris aux autres agents. Ces agents ont des objectifs spécifiques et suivent des règles de comportement, prennent des décisions basées sur leurs perceptions et connaissances, et interagissent avec les autres agents et l'environnement, pouvant impliquer communication, coopération ou compétition. Certains agents peuvent également apprendre de leurs expériences et s'adapter aux changements de leur environnement.

1.3 Théorie des Jeux

La théorie des jeux est une discipline mathématique qui étudie les stratégies optimales dans les situations de décision impliquant plusieurs acteurs, ou "joueurs", dont les résultats dépendent non seulement de leurs propres actions, mais aussi de celles des autres. Elle explore des concepts tels que les équilibres stratégiques, les jeux coopératifs et non coopératifs, et les jeux à somme nulle et à somme non nulle. Utilisée dans divers domaines comme l'économie, la science politique, la biologie et l'informatique, la théorie des jeux aide à comprendre comment et pourquoi les individus et les groupes prennent des décisions spécifiques dans des contextes interactifs et interdépendants.

1.4 Théorie des Jeux Spatialisés

La théorie des jeux spatialisés est une extension de la théorie des jeux classique, qui prend en compte la dimension spatiale dans les interactions entre les joueurs. Dans les jeux spatialisés, chaque joueur, souvent représenté par une cellule dans un réseau ou une grille, interagit uniquement avec ses voisins immédiats, ce qui donne une structure locale à ces interactions. Cette approche est particulièrement pertinente pour modéliser des phénomènes biologiques, sociaux ou économiques où les effets de proximité jouent un rôle important.

2 Modèle de propagation d’idée

Un modèle de propagation d'idée spatial, inspiré par la théorie des jeux spatialisés, est un cadre conceptuel utilisé pour étudier comment une idée, une croyance ou une innovation se répand à travers un espace structuré, tel qu'un réseau ou une grille. Ce modèle intègre la dimension spatiale dans les interactions entre les individus, faisant de la position et de la proximité des acteurs des éléments clés dans la dynamique de propagation.

2.1 Fondement théorique

Martin A. Nowak est un chercheur de premier plan dans le domaine de la biologie mathématique et théorique. Ses travaux sur la théorie des jeux spatialisée ont considérablement influencé la compréhension de la coopération et de la compétition dans des systèmes biologiques et sociaux. Dans ses études, Nowak a démontré comment la structure spatiale affecte l'évolution de la coopération, révélant que la proximité spatiale des agents peut favoriser l'émergence et la stabilité de comportements coopératifs.

2.2 Prisoners' Dilemma

Le Dilemme du Prisonnier est un jeu classique en théorie des jeux où chaque type de joueur de la grille représente un joueur adoptant une stratégie différente, deux types de joueurs sont considérés : ceux qui coopèrent toujours (C) et ceux qui trahissent toujours (D). Ils jouent le Dilemme du Prisonnier avec leurs voisins immédiats à chaque tour, et ceci sous les règles suivantes, qui se caractérisent par étant simples mais révélatrices d'interactions complexes :

- **Choix des Stratégies :** Chaque joueur a deux options stratégiques : Coopérer (C) ou Trahir (Défier, D).
  Ces choix sont faits simultanément et en secret par les deux joueurs impliqués.

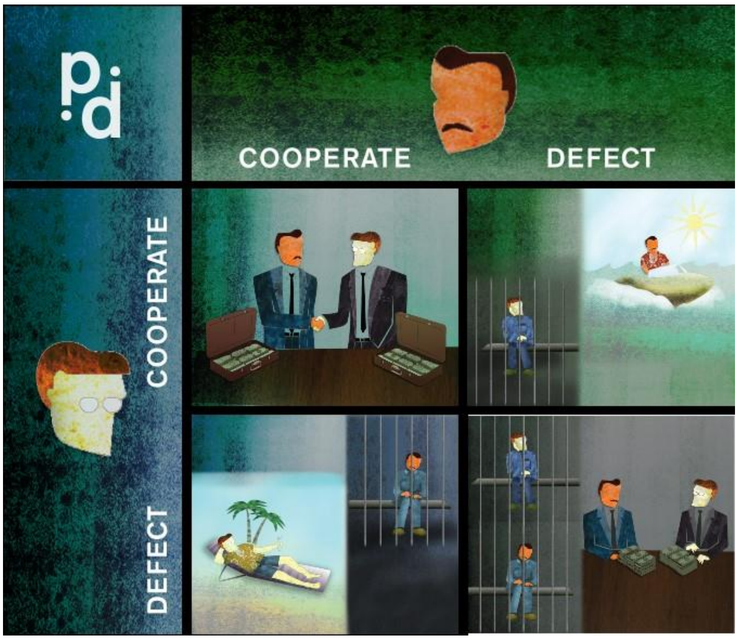

Figure 2: Prisoners dilemma

- **Structure des Gains :** Si les deux joueurs coopèrent (C, C), chacun reçoit un gain modéré (R pour Récompense).
  Si un joueur coopère (C) tandis que l'autre trahit (D), le coopérateur reçoit le plus faible gain (S pour Sucker's Payoff) tandis que le traître reçoit le gain le plus élevé (T pour Temptation).
  Si les deux joueurs trahissent (D, D), ils reçoivent un gain faible mais meilleur que la pire issue (P pour Punishment).

- **Règles du Dilemme du Prisonnier Spatialisé :** Les joueurs sont représentés sur une grille où chaque joueur interagit uniquement avec ses voisins immédiats.
  À chaque tour, chaque joueur joue une partie du Dilemme du Prisonnier avec chacun de ses voisins.
  Les scores sont calculés en fonction des interactions avec tous les voisins.
  Après chaque tour, chaque joueur peut changer sa stratégie. Dans le modèle de Nowak et May, la stratégie adoptée pour le tour suivant est celle du voisin (y compris soi-même) ayant obtenu le meilleur score total dans le voisinage immédiat.

- **Dynamique du Jeu :** Le jeu se déroule sur plusieurs générations ou tours, avec des joueurs potentiellement changeant de stratégie à chaque tour.
  Des modèles dynamiques émergent, montrant comment les stratégies de coopération et de trahison se propagent et influencent les comportements des joueurs voisins.

3 Notre implémentation

Initialement, notre étude a commencé par expérimenter avec Mathematica, un outil puissant pour le calcul mathématique et la modélisation, offrant un large éventail de fonctionnalités pour la recherche scientifique, l'ingénierie, l'analyse de données, et l'éducation. Il intègre un langage de programmation puissant, le Wolfram Language, et permet des calculs complexes, la modélisation de systèmes, ainsi que la visualisation graphique de données. Cependant, au fur et à mesure de l'avancement de notre projet, nous avons exploré l'utilisation de Python.

De plus, étant déjà familiers avec Python, cela nous a permis de nous concentrer davantage sur l'aspect de la modélisation et l'analyse de nos simulations d'automates cellulaires.

Figure 4: Wolfram Mathématica

Figure 3: Python

3.1 Fonctions clés

- **Fonction *'calcuate_score'* :** La fonction commence par identifier les voisins de la cellule donnée en utilisant soit la méthode Moore ou la méthode von Neumann, le score est calculé en fonction de la stratégie de la cellule **(C ou D)** et des stratégies de ses voisins.
  - Si la cellule est un coopérateur **(C)**, elle gagne 1 point pour chaque voisin coopérateur, y compris elle-même (self-interaction), et ne gagne rien avec un voisin **D**.
  - Si la cellule est un défecteur **(D)**, elle gagne **b** points pour chaque voisin coopérateur. Le paramètre **b** représente l'avantage obtenu par les défecteurs lorsqu'ils exploitent des coopérateurs et ne gagne rien avec un autre **D**.

- **Fonction *'best_neighbor_type'* :** Pour chaque voisin, si le score du voisin est supérieur au score le plus élevé trouvé jusqu'à présent, ce score est enregistré comme le nouveau maximum, et l'identité du voisin (C ou D) est notée.
  - Si le score maximal parmi les voisins est supérieur au score de la cellule actuelle, la cellule

adopte la stratégie du voisin ayant ce score maximal.
- Si le score de la cellule actuelle est égal ou supérieur au score maximal des voisins, elle conserve sa stratégie actuelle.

3.2 Résultats

- En nous appuyant sur le travail pionnier de Martin A. Nowak et Robert M. May sur les jeux évolutionnaires et le chaos spatial, nous avons réussi à reproduire leur modèle d'automates cellulaires appliquant le Dilemme du Prisonnier en deux dimensions, nous avons aussi réussi à répliquer avec précision les résultats rapportés dans leur étude, validant ainsi non seulement notre approche méthodique mais aussi la persistance des conclusions de Nowak et May en ce qui concerne les stratégies de coopération et de défection dans des environnements spatiaux structurés.

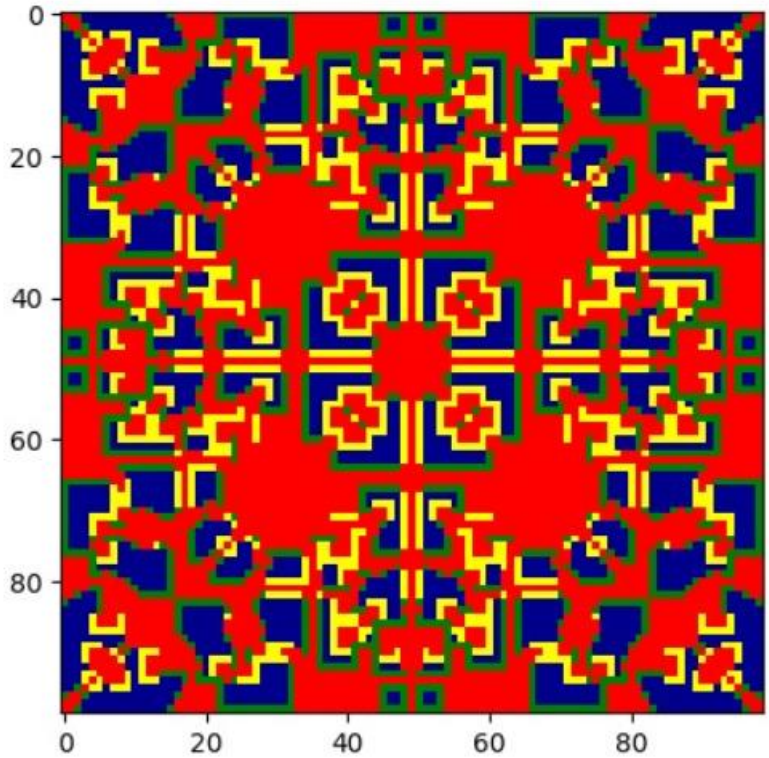

Figure 5: Résultat de simulation avec b=1.85, 1 seule 'D' a milieu d'une grille 99x99 de 'C', identique au travail de Nowak et May

- Les simulations ont révélé l'émergence de motifs dynamiques complexes, où les coopérateurs (C) et les défecteurs (D) coexistent indéfiniment, malgré des proportions fluctuantes. Ces motifs sont décrits comme étant chaotiques et peuvent prendre des formes extrêmement variées et visuellement captivantes. (photo).

- Les comportements dynamiques du système dépendent fortement du paramètre 'b', qui caractérise l'avantage des défecteurs contre les coopérateurs. Des transitions de comportement ont été observées à différentes valeurs de 'b'. Par exemple, pour un 'b' inférieur à 1.8, de grands clusters de défecteurs tendent à rétrécir, tandis que pour un 'b' supérieur à 2, les clusters de coopérateurs ne se développent pas.

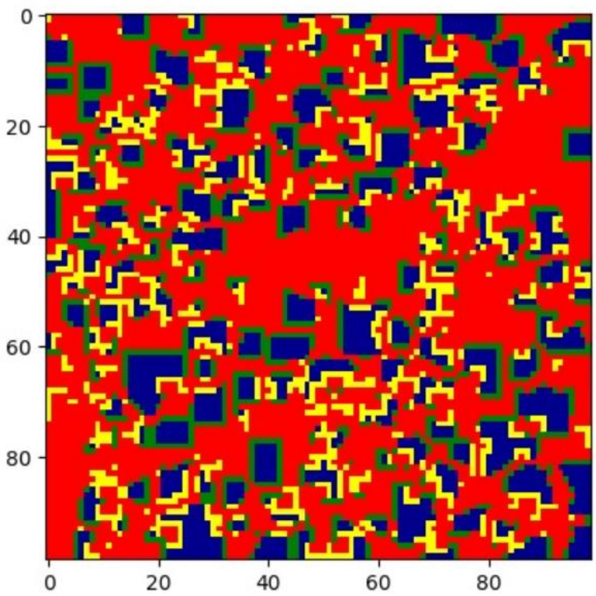

Figure 7: Simulation avec b=1.85, 30 itérations, 'D'=1000, 'C'=8800

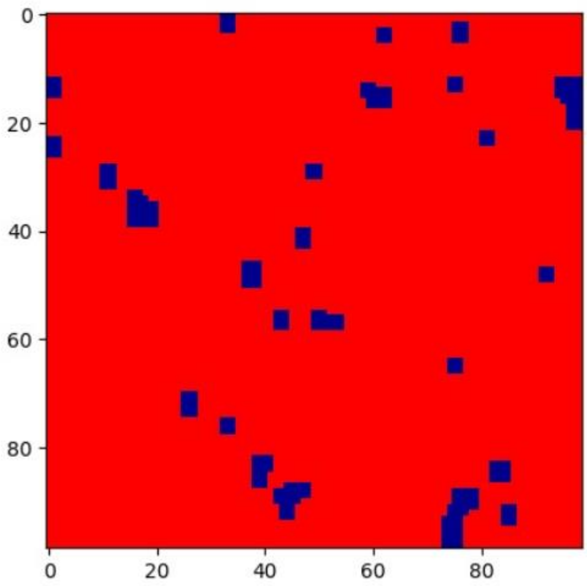

Figure 6: Simulation avec b=2.1, 30 itérations, 'D'=1000, 'C'=8800

- Nous avons pu coupler notre simulation avec une courbe qui reflète le changement du nombre de 'C' et de 'D' à travers les générations.

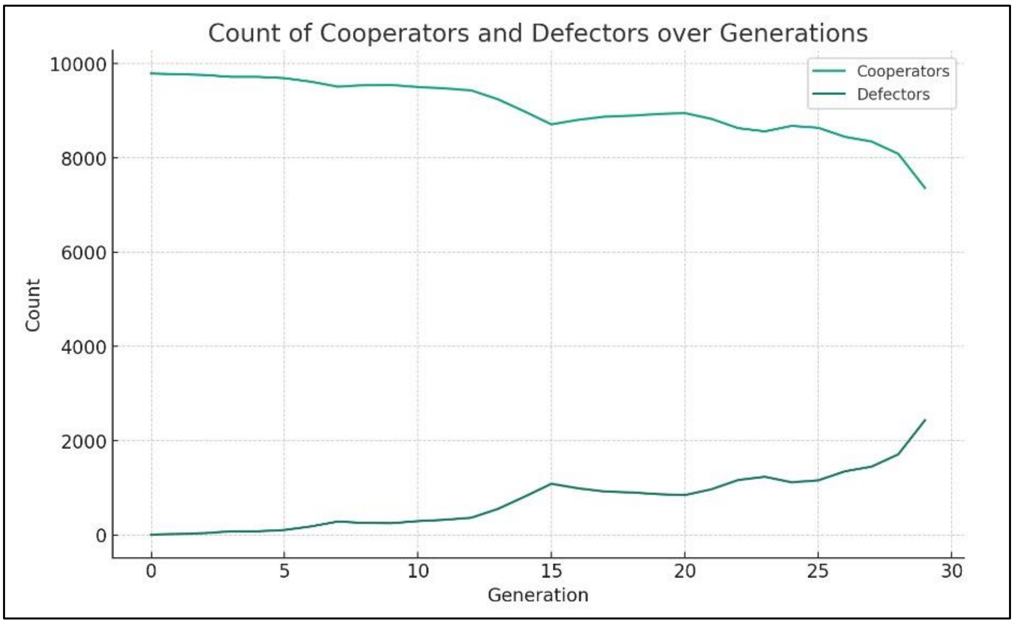

Figure 8: Nombre de C et de D à travers les générations

- En régime chaotique (2 > b > 1.8), les proportions de coopérateurs et de défecteurs fluctuent, mais tendent vers une moyenne à long terme. Par exemple, la fraction de sites occupés par des coopérateurs (fc) fluctue autour de 0.318 pour presque toutes les proportions et configurations initiales.
- Contrairement à des automates cellulaires plus traditionnels, tels que le "Jeu de la Vie" de Conway, ce modèle montre une dépendance complexe des scores des cellules aux états des voisins et de leurs propres voisins, résultant en un comportement spatial beaucoup plus riche.

3.3 Extension des règles

- **Proposition 1 : Sélection du Plus Fréquent parmi les Voisins au lieu du score basé sur le Max** : Plutôt que de choisir la stratégie du voisin avec le score le plus élevé, nous pourrions modifier la règle pour adopter la stratégie la plus fréquente parmi les voisins. Dans ce scénario, chaque cellule adopterait la stratégie que la majorité de ses voisins immédiats utilise, indépendamment des scores individuels. Cette approche simulerait un comportement de "suivi de la majorité", où les cellules s'alignent sur la tendance dominante de leur environnement local, ce qui pourrait refléter des dynamiques sociales où les individus sont influencés par l'opinion majoritaire de leur entourage.

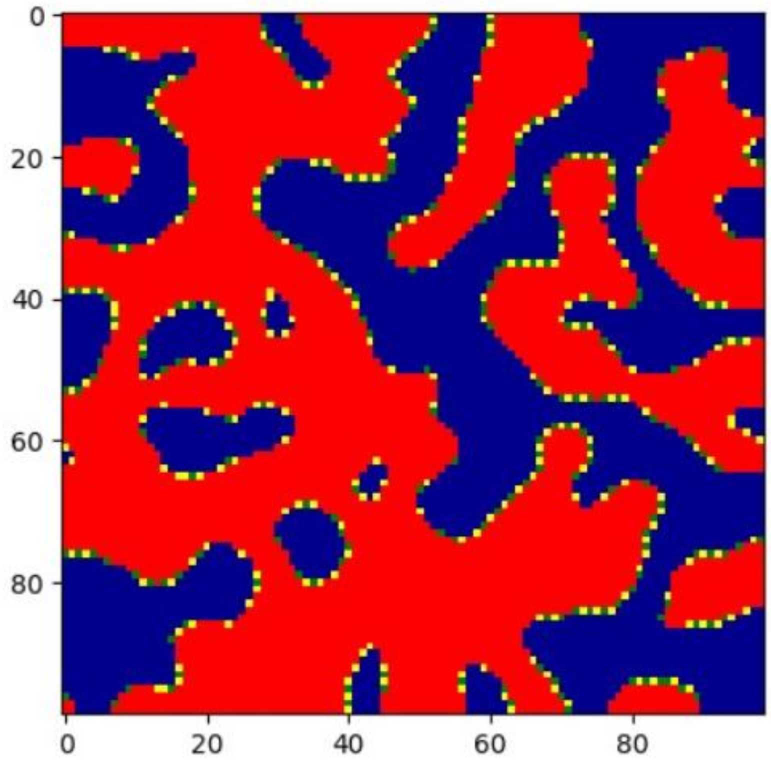

Figure 9: Simulation avec stratégie plus fréquent au lieu de max score

- **Proposition 2 : Adoption d'une Stratégie Majoritaire Basée sur un Seuil** : Une autre variante consisterait à introduire un seuil pour déterminer si une cellule devrait changer sa stratégie. Par exemple, une cellule ne changerait sa stratégie que si un certain pourcentage (seuil) de ses voisins adopte une stratégie différente. Si le nombre de voisins avec une stratégie alternative dépasse ce seuil, la cellule adopte cette nouvelle stratégie ; sinon, elle conserve sa stratégie actuelle. Cette règle introduirait un élément de stabilité et de résistance au changement dans le modèle, simulant des situations où les individus ne changent pas immédiatement de comportement en réponse à des influences minoritaires.

- **Proposition 3 : Stratégie Basée sur la Moyenne des Voisins** : Au lieu de choisir la stratégie du voisin avec le score le plus élevé, on pourrait adopter une approche basée sur la moyenne des scores des voisins. Chaque cellule calculerait la moyenne des scores de ses voisins et adopterait la stratégie correspondant à la moyenne la plus élevée. Cette méthode peut conduire à une dynamique plus lisse et moins susceptible d'être influencée par des variations extrêmes chez les voisins.

- **Proposition 4 : Stratégie de vote pondéré** : Cette approche prendrait en compte le score de chaque voisin comme un vote, pondéré par l'importance de ce score. Par exemple, un voisin avec un score élevé aurait plus d'influence sur la décision de la cellule centrale que ceux avec des scores plus bas. Cette méthode pourrait mener à des décisions qui reflètent un équilibre entre les stratégies les plus réussies et les préférences locales plus largement répandues.

- **Proposition 5 : Intégration de la Fatigue de Stratégie** : Nous pourrions envisager d'implémenter une forme de "fatigue de stratégie", où l'efficacité d'une stratégie diminue avec son utilisation continue. Par exemple, une cellule qui adopte la même stratégie pendant plusieurs tours pourrait voir son score diminuer progressivement, encourageant ainsi la diversité et le changement de stratégie au fil du temps. Cette règle pourrait simuler la nécessité d'adaptation et d'innovation dans des environnements changeants.

Conclusion

Dans ce rapport nous avons présenté notre étude sur les automates cellulaires pour modéliser des dynamiques complexes, comme la propagation d'idées et la fluctuation des stratégies dans un contexte de théorie des jeux spatialisée, et ceci en reproduisant avec succès les résultats de travaux pionniers dans ce domaine, et en explorant des extensions innovantes des règles de calcul des scores, Ce travail a enrichi notre compréhension des systèmes complexes et nous a ouvert la voie vers des recherches futures dans le domaine.