

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Supérieure en Informatique - 08 Mai 1945 - Sidi Bel Abbès



THESIS

To obtain the diploma of **Master's Degree**

Field: **Computer Science**

Speciality: **Artificial Intelligence and Data Science (IASD)**

Integrating Evolutionary Game Theory in Multi-Agent Reinforcement Learning for Non-Stationary Environments

Presented by: TAHIR Abderrahmane El Mehdi

Supervised by: Dr. Belkacem KHALDI

In front of the jury composed of:

Dr. BENDELLA Mohammed Salih	President
Dr. KHALDI Belkacem	Supervisor
Dr. LOUHAB Zouaoui	Examiner

Submission Date: June 2026

Abstract

Multi-agent reinforcement learning (MARL) has proven to be a powerful tool in multi-agent decision-making problems, and it has been employed in several contexts such as robotics, autonomous transportation, and warehouse management. However, MARL still faces many challenges, with the most significant being non-stationarity. This arises when multiple agents learn simultaneously, continuously altering the environment dynamics, and this problem is exacerbated when the learning environment is already non-stationary. Evolutionary game theory (EGT) on the other hand, is a branch of game theory that studies how successful strategies evolve in populations. This thesis investigates how EGT provides a complementary perspective by modeling the collective evolution of strategies and guiding convergence toward equilibria. In particular, we explore how learning dynamics from EGT could be used in MARL, and how their properties affect non-stationarity.

Keywords: Multi-agent reinforcement learning, Evolutionary game theory, Non-stationary environments, Evolutionary dynamics.

الملخص

يُعدّ التعلّم المعزّز متعدد الوكلاء أداةً قوية في مسائل اتخاذ القرار متعددة الوكلاء، وقد استُخدم في عدة مجالات مثل الروبوتات، والنقل الذاتي، وإدارة المستودعات. ومع ذلك، لا يزال هذا المجال يواجه العديد من التحديات، ويُعدّ أبرزها عدم الاستقرارية. تنشأ هذه المشكلة عندما يتعلم عدة وكلاء في الوقت نفسه، مما يؤدي إلى تغيير مستمر في ديناميكيات البيئة، وتزداد حدّتها عندما تكون بيئة التعلّم نفسها غير مستقرة. من جهة أخرى، تُعدّ نظرية الألعاب التطورية فرعاً من نظرية الألعاب يدرس كيفية تطوّر الاستراتيجيات الناجحة داخل الجماعات. تبحث هذه الأطروحة في كيفية تقديم هذا الإطار منظوراً مكتملاً من خلال نمذجة التطور الجماعي للاستراتيجيات وتوجيه التقارب نحو حالات التوازن. وبشكل خاص، نستكشف كيف يمكن استخدام ديناميكيات التعلّم المستمدة من هذا النهج، وكيف تؤثر خصائصها على عدم الاستقرارية.

الكلمات المفتاحية : التعلّم المعزّز متعدد الوكلاء، نظرية الألعاب التطورية، البيئات غير المستقرة، الديناميكيات التطورية.

Résumé

L'apprentissage par renforcement multi-agents (MARL) s'est révélé être un outil puissant pour les problèmes de prise de décision impliquant plusieurs agents, et il a été utilisé dans divers contextes tels que la robotique, le transport autonome et la gestion d'entrepôts. Cependant, le MARL fait encore face à de nombreux défis, dont le plus important est la non-stationnarité. Celle-ci apparaît lorsque plusieurs agents apprennent simultanément, modifiant en permanence la dynamique de l'environnement, et ce problème est accentué lorsque l'environnement d'apprentissage est déjà non stationnaire. La théorie des jeux évolutionnaire (EGT), quant à elle, est une branche de la théorie des jeux qui étudie comment des stratégies efficaces évoluent au sein de populations. Cette thèse examine comment l'EGT offre une perspective complémentaire en modélisant l'évolution collective des stratégies et en guidant la convergence vers des équilibres. En particulier, nous explorons comment les dynamiques d'apprentissage issues de l'EGT peuvent être utilisées en MARL, ainsi que l'impact de leurs propriétés sur la non-stationnarité.

Mots-clés : Apprentissage par renforcement multi-agents, Théorie des jeux évolutionnaire, Environnements non stationnaires, Dynamiques évolutionnaires.