

الجمهورية الشعبية الديمقراطية الجزائرية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
المدرسة العليا للإعلام الآلي 8 ماي 5491 - سيدي بلعباس
Higher School of Computer Science
8 Mai 1945 - Sidi Bel Abbès



Final Year Thesis

To obtain the diploma of: **Master**
Field of Study: **Computer Science**
Specialization: **Artificial Intelligence and Data Science**

Theme

A Critical Analysis of Temporal and Heterogeneous GNN Approaches for Real-Time Financial Fraud Detection.

Presented by
AMIEUR Zineb Ichrake HAMDI Aya

Defended on: **June, 2026**
In front of the jury composed of

Dr. Khaldi Belkacem
Dr. Malki Abdelhamid
Dr. Laaziz Lahlou
Pr. Kara Nadjia
Dr. Elhannani Souad

President of the Jury
Thesis Supervisor
Co-Supervisor
Co-Supervisor
Examiner

Academic Year: 2025/2026

Abstract

The rapid growth of digital payment systems has significantly increased both the volume and sophistication of financial fraud, resulting in substantial economic losses worldwide. Traditional fraud detection approaches, ranging from rule-based systems to classical machine learning models, treat transactions as independent instances and rely heavily on manual feature engineering, limiting their ability to capture the complex relational and temporal patterns inherent in financial transaction networks. Graph Neural Networks have emerged as a powerful paradigm to address these limitations, by modeling transactions, users, merchants, and devices as interconnected entities in an evolving graph structure, enabling the detection of sophisticated fraud patterns that are invisible to conventional approaches.

This thesis presents a literature review of representative graph-based deep learning frameworks for financial fraud detection, with a particular focus on how existing approaches model temporal dynamics, construct heterogeneous transaction graphs, and address the fundamental challenges of class imbalance, concept drift, future information leakage, and real-time inference constraints. This study examines seven methods, spanning different architectural paradigms such as Lambda-style decoupled inference, continuous-time dynamic graphs, heterogeneous graph modeling, and contrastive learning, each analyzed in terms of graph construction strategy, temporal encoding, core architecture, class imbalance handling, and reported performance.

By synthesizing these contributions, this work provides a structured overview of the field and highlights the key challenges and open problems that remain in the development of accurate, temporally-aware, and deployable graph-based fraud detection systems.

Keywords: Financial fraud detection, Graph Neural Networks, Temporal graphs, Heterogeneous graphs, Real-time inference, Contrastive learning, Class imbalance, Concept drift.

Résumé

La croissance rapide des systèmes de paiement numérique a considérablement augmenté le volume et la sophistication des fraudes financières, entraînant des pertes économiques substantielles à l'échelle mondiale. Les approches traditionnelles de détection de fraude, allant des systèmes à base de règles aux modèles classiques d'apprentissage automatique, traitent les transactions comme des instances indépendantes et reposent fortement sur l'ingénierie manuelle des caractéristiques, limitant ainsi leur capacité à capturer les patterns relationnels et temporels complexes inhérents aux réseaux de transactions financières. Les réseaux de neurones sur graphes ont émergé comme un paradigme puissant pour pallier ces limitations, en modélisant les transactions, les utilisateurs, les marchands et les appareils comme des entités interconnectées dans une structure de graphe évolutive, permettant la détection de schémas de fraude sophistiqués invisibles aux approches conventionnelles.

Ce mémoire présente une revue de la littérature de frameworks représentatifs d'apprentissage profond sur graphes pour la détection de fraude financière, avec un accent particulier sur la manière dont les approches existantes modélisent la dynamique temporelle, construisent des graphes de transactions hétérogènes, et traitent les défis fondamentaux du déséquilibre de classes, de la dérive conceptuelle, de la fuite d'informations futures et des contraintes d'inférence en temps réel. Cette étude examine sept méthodes, couvrant différents paradigmes architecturaux tels que l'inférence découplée de type Lambda, les graphes dynamiques en temps continu, la modélisation de graphes hétérogènes et l'apprentissage contrastif, chacune analysée en termes de stratégie de construction de graphe, d'encodage temporel, d'architecture centrale, de gestion du déséquilibre de classes et de performances rapportées.

En synthétisant ces contributions, ce travail fournit une vue d'ensemble structurée du domaine et met en évidence les défis clés et les problèmes ouverts qui subsistent dans le développement de systèmes de détection de fraude sur graphes précis, conscients du temps et déployables en production.

Mots-clés : Détection de fraude financière, Réseaux de neurones sur graphes, Graphes temporels, Graphes hétérogènes, Inférence en temps réel, Apprentissage contrastif, Déséquilibre de classes, Dérive conceptuelle.

ملخص

أدى النمو السريع لأنظمة الدفع الرقمي إلى زيادة ملحوظة في حجم عمليات الاحتيال المالي وتعقيدها، مما أسفر عن خسائر اقتصادية فادحة على المستوى العالمي. تعالج أساليب الكشف عن الاحتيال التقليدية، من الأنظمة القائمة على القواعد إلى نماذج التعلم الآلي الكلاسيكية، المعاملات كحالات مستقلة وتعتمد بشكل كبير على الهندسة اليدوية للبيانات، مما يحد من قدرتها على استيعاب الأنماط العلائقية والزمنية المعقدة الكامنة في شبكات المعاملات المالية. ظهرت الشبكات العصبية على الرسوم البيانية بوصفها نموذجاً قوياً لمعالجة هذه القيود، من خلال نمذجة المعاملات والمستخدمين والتجار والأجهزة ككيانات مترابطة في بنية رسم بياني متطورة، مما يتيح الكشف عن أنماط احتيال متطورة يتعذر اكتشافها بالأساليب التقليدية.

يقدم هذا المذكرة مراجعة للأدبيات حول أطر التعلم العميق القائمة على الرسوم البيانية للكشف عن الاحتيال المالي، مع التركيز بصفة خاصة على كيفية نمذجة الأساليب الحالية للديناميكيات الزمنية، وبناء رسوم بيانية غير متجانسة للمعاملات، ومعالجة التحديات الجوهرية المتمثلة في اختلال توازن الفئات، والانجراف المفاهيمي، وتسرب المعلومات المستقبلية، وقيود الاستدلال في الوقت الفعلي. تفحص هذه الدراسة سبع طرق تغطي نماذج معمارية متنوعة، كالاستدلال المفصول من نوع لامدا، والرسوم البيانية الديناميكية في الزمن المستمر، ونمذجة الرسوم البيانية غير المتجانسة، والتعلم التبايني، مع تحليل كل منها من حيث استراتيجيات بناء الرسم البياني، والترميز الزمني، والبنية المعمارية الأساسية، وأسلوب معالجة اختلال التوازن، والأداء المُبلَّغ عنه.

من خلال تركيب هذه الإسهامات، يقدم هذا العمل نظرة عامة منظمة على هذا المجال، ويسلط الضوء على التحديات الرئيسية والمسائل المفتوحة التي لا تزال قائمة في تطوير أنظمة كشف عن الاحتيال على الرسوم البيانية دقيقة وواعية بالزمن وقابلة للنشر في بيئات الإنتاج.

الكلمات المفتاحية: الكشف عن الاحتيال المالي، الشبكات العصبية على الرسوم البيانية، الرسوم البيانية الزمنية، الرسوم البيانية غير المتجانسة، الاستدلال في الوقت الفعلي، التعلم التبايني، اختلال توازن الفئات، الانجراف المفاهيمي.