

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 1945 -- سيدي بلعباس

Higher School of Computer Science

8 Mai 1945 – Sidi Bel Abbès



Master's Thesis

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

Field of Study: **Computer Science**

Specialization: **Artificial Intelligence and Data Science [AIDS]**

Theme

Class Imbalance in EEG-Based Epileptic Seizure Detection: A Comparative Study of Classical, Deep Learning, and Quantum-Inspired Approaches

Presented by **Meriem Terki**

Defended on: **23 September 2026**

In front of the jury composed of

Dr Chikh Asma

Dr Nemdili Amel Kahina

Dr Chaib Souleyman

Pr Henni Khadidja

Pr Benabdeslem Khalid

Dr Hakimi Yacine

President of the Jury

Examiner

Supervisor

Co-Supervisor

Co-Supervisor

Co-Supervisor

Academic Year: 2025/2026

Abstract

Epilepsy is a major neurological disorder, and the electroencephalogram (EEG) remains the primary modality for seizure monitoring. Automated detection from continuous recordings is nevertheless difficult, largely because of severe class imbalance: on clinically realistic corpora such as the Temple University Hospital Seizure Corpus (TUH-SZ), seizure windows form only a small minority of labelled data. Under this skew, accuracy alone is a poor indicator of clinical utility.

This report is a literature review organised in four chapters. It first establishes the physiological and instrumental foundations of the EEG, then describes epilepsy, the classification of seizures, and the annotated corpora available for research. It next reviews the methods proposed for automated detection, from handcrafted features with shallow classifiers to convolutional, recurrent, hybrid, and attention-based architectures, together with the effect of class imbalance on both learning and measurement and the validation protocols that separate credible results from optimistic ones. The final chapter reviews data augmentation, deep generative modelling, latent-space generation, and quantum machine learning, including the hybrid and latent quantum generative designs compatible with near-term hardware.

Each methodological chapter closes with a comparative study of representative work. The synthesis highlights recurring limitations: heterogeneous benchmarks, window-wise rather than patient-wise validation, metrics that conceal minority-class failure, classical baselines that are not capacity-matched in quantum comparisons, and the frequent treatment of a single downstream gain as evidence that a generative model learned the distribution. These gaps define what a rigorous empirical study in this area would have to establish: patient-disjoint evaluation on the corpus’s own partitions, generation and detection on separately justified timescales, a documented augmentation dose, capacity-matched controls that count any hybrid readout, a shared critic, a reconstruction gate, and distributional, signal-level, and downstream evidence kept as separate claims. This document reports no original experiments; the corresponding implementation and evaluation are the subject of a companion engineering report.

Keywords: Epilepsy; EEG; Seizure Detection; Class Imbalance; Machine Learning; Deep Learning; Generative Augmentation; Quantum Machine Learning; Comparative Study; TUH-SZ.

Résumé

L'épilepsie constitue un trouble neurologique majeur, et l'électroencéphalogramme (EEG) demeure la modalité principale de surveillance des crises. La détection automatique à partir d'enregistrements continus reste néanmoins difficile, principalement en raison d'un déséquilibre de classes marqué : dans des corpus cliniquement réalistes tels que le Temple University Hospital Seizure Corpus (TUH-SZ), les fenêtres de crise ne représentent qu'une faible minorité des données étiquetées. Dans ce régime, la seule précision (accuracy) est un indicateur clinique insuffisant.

Ce mémoire est une revue de la littérature organisée en quatre chapitres. Il établit d'abord les fondements physiologiques et instrumentaux de l'EEG, puis décrit l'épilepsie, la classification des crises et les corpus annotés disponibles. Il examine ensuite les méthodes proposées pour la détection automatique, des caractéristiques conçues manuellement associées à des classifieurs peu profonds jusqu'aux architectures convolutives, récurrentes, hybrides et attentionnelles, ainsi que l'effet du déséquilibre de classes sur l'apprentissage comme sur la mesure, et les protocoles de validation qui distinguent un résultat crédible d'un résultat optimiste. Le dernier chapitre traite de l'augmentation de données, des modèles génératifs profonds, de la génération en espace latent et de l'apprentissage automatique quantique.

Chaque chapitre méthodologique se termine par une étude comparative des travaux représentatifs. La synthèse met en évidence des limites récurrentes : benchmarks hétérogènes, validation par fenêtres plutôt que par patient, métriques masquant l'échec de la classe minoritaire, baselines classiques à capacité non égalisée dans les comparaisons quantiques, et assimilation fréquente d'un simple gain en aval à une preuve que le modèle génératif a appris la distribution. Ces lacunes définissent ce qu'une étude expérimentale rigoureuse devrait établir : partitions patient-disjointes du corpus, échelles de temps distinctes pour la génération et la détection, dose d'augmentation documentée, contrôles à capacité égale (y compris tout déploiement hybride), critique partagé, seuil de reconstruction, et preuves distributionnelles, signal et aval traitées séparément. Ce document ne rapporte aucune expérience originale ; l'implémentation et l'évaluation correspondantes font l'objet d'un rapport d'ingénierie compagnon.

Mots-clés : Épilepsie ; EEG ; Détection de crises ; Déséquilibre de classes ; Apprentissage automatique ; Apprentissage profond ; Augmentation générative ; Apprentissage automatique quantique ; Étude comparative ; TUH-SZ.

ملخص

يُعدّ الصرع من الاضطرابات العصبية المهمة عالمياً، ويبقى مخطط كهربية الدماغ (EEG) الأداة الأساسية لمراقبة النوبات. غير أن الكشف التلقائي من التسجيلات المستمرة يظل صعباً، لا سيما بسبب اختلال حاد في توازن الفئات: ففي قواعد بيانات سريرية واقعية مثل TUH-SZ لا تشكّل نوافذ النوبات سوى أقلية صغيرة من البيانات الموسومة، ما يجعل الاعتماد على الدقة وحدها غير كافٍ سريرياً.

هذه المذكرة مراجعة للأدبيات منظّمة في أربعة فصول. تُرسي أولاً الأسس الفيزيولوجية والتقنية لمخطط كهربية الدماغ، ثم تعرض الصرع وتصنيف النوبات وقواعد البيانات الموسومة المتاحة للبحث. وتستعرض بعد ذلك مناهج الكشف التلقائي، من الخصائص المستخرجة يدوياً مع المصنّفات البسيطة إلى البنى الالتفافية والتكرارية والهجينة والقائمة على الانتباه، مع أثر اختلال توازن الفئات على التعلّم والقياس معاً، وبروتوكولات التحقق التي تفصل النتائج الموثوقة عن النتائج المتفائلة. ويتناول الفصل الأخير زيادة البيانات والنماذج التوليدية العميقة والتوليد في الفضاء الكامن والتعلم الآلي الكمي.

يُختتم كل فصل منهجي بدراسة مقارنة للأعمال الممثّلة. وتُبرز الخلاصة قيوداً متكررة: معايير مرجعية غير متجانسة، وتحقق بالنوافذ بدل التحقق بالمرضى، ومقاييس تُخفي فشل الفئة الأقلية، ومقارنات كمية بمرجعيات كلاسيكية غير متكافئة السعة، وخط نافذة التوليد بسياق الكشف. ولا تتضمن هذه الوثيقة أي تجارب أصلية؛ إذ يتناول التنفيذ والتقييم تقريرٌ هندسي مرافق.

الكلمات المفتاحية: الصرع؛ مخطط كهربية الدماغ؛ الكشف عن النوبات؛ اختلال توازن الفئات؛ التعلم الآلي؛ التعلم العميق؛ الزيادة التوليدية؛ التعلم الآلي الكمي؛ دراسة مقارنة؛ TUH-SZ.