

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



Thesis

To obtain the diploma of **Engineering Degree**

Field of Study: **Computer Science**

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

Theme

Hybrid Latent Generative Modelling for Multichannel Seizure EEG: Capacity-Matched Evaluation and Clinical Transfer on TUH-SZ

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

Epileptic seizures remain difficult to detect automatically from continuous scalp electroencephalography, in part because ictal events are rare relative to non-seizure activity and because models must generalise across patients. This dissertation asks whether a hybrid Style-qGAN can model scarce seizure representations more faithfully than a capacity-matched classical generator under a shared critic, and whether any such advantage improves a seizure detector on held-out patients from the Temple University Hospital seizure corpus.

Multichannel windows of 1.28 s are mapped by a reconstruction-gated convolutional autoencoder into a 64-dimensional latent vector on TUH-SZ patient-disjoint official holdouts; a hybrid eight-qubit Style-qGAN (circuit plus Linear $8 \rightarrow 64$, 704 parameters, of which 82% are classical) is compared to an auto-sized 709-parameter twin, a Gaussian mixture and a Fourier function-class reference, all under a shared Wasserstein critic with checkpoint selection by holdout MMD; synthetic windows are packed into 10.24 s clips and mixed into training of an STFT-BiLSTM detector scored on real holdout clips only. Three evaluation levels are never equated: latent MMD², decoded signal structure, and downstream AUROC.

Under the default critic the hybrid Style-qGAN beats the equal-budget twin on holdout latent MMD² (0.016 versus 0.088), reproducibly at depth $L=2$ and under a pooled bottleneck; entanglement monotonically worsens the hybrid score; a classical Fourier generator outranks the circuit; a thin critic reverses the rematch; and the mixture remains closest to real codes. At the operating synthetic dose the latent winner moves primary AUROC by +0.0004, an interval containing zero, against a real-only baseline of 0.821, while the twin (+0.005) and the mixture (+0.010) record the significant lifts; the null survives halving the register to four qubits, and at 50% generator training data the hybrid records an exploratory Δ AUROC of +0.019, gone at full data. Capacity-matched wins on latent metrics are therefore real but decompose into inductive bias and optimisation effects, and do not certify task utility; the protocol, not the circuit alone, is the transferable contribution.

Keywords: electroencephalography; seizure detection; class imbalance; generative adversarial networks; quantum machine learning; latent generative models; capacity matching; patient-wise validation.

Résumé

La détection automatique des crises d'épilepsie à partir d'électroencéphalogrammes de scalp continus demeure difficile, notamment parce que les événements ictaux sont rares face à l'activité non critique et parce que les modèles doivent généraliser d'un patient à l'autre. Cette dissertation demande si un Style-qGAN hybride modélise les représentations de crise plus fidèlement qu'un générateur classique à budget total de paramètres égal, sous un critère partagé, et si un tel avantage améliore un détecteur sur des patients tenus à l'écart, sur le corpus de crises de l'Université Temple.

Des fenêtres de 1,28 s sont projetées par un autoencodeur à seuil de reconstruction dans un code de dimension 64; un Style-qGAN hybride à huit qubits (circuit plus application linéaire $8 \rightarrow 64$, 704 paramètres dont 82% sont classiques) et des contrôles classiques sont entraînés contre un critère de Wasserstein partagé; les fenêtres synthétiques sont assemblées en extraits de 10,24 s et mélangées à l'entraînement d'un détecteur STFT-BiLSTM, toujours évalué sur des extraits réels de hold-out. Le programme distingue un jumeau classique à capacité égale d'un réseau plus large (utilisable seulement s'il converge) et d'un mélange gaussien, et rapporte trois niveaux jamais identifiés: MMD latente, structure décodée, et AUROC aval.

Sur cette architecture, le Style-qGAN hybride bat le perceptron multicouche à budget égal sur la MMD latente, tandis qu'un mélange gaussien reste plus proche des codes réels et que l'intrication supplémentaire n'aide pas. Cette victoire latente ne se transfère pas à l'AUROC primaire à dose synthétique pleine: la baseline sans augmentation atteint déjà 0,821, l'augmentation hybride déplace l'AUROC de +0,0004 (intervalle contenant zéro), et le mélange ou le jumeau portent les hausses significatives. Lorsque le générateur n'est entraîné que sur la moitié des codes disponibles, le classement change: le Δ AUROC hybride est de +0,019, plus grand que celui du jumeau et du mélange, sur le même détecteur, cellule exploratoire de rareté et non une loi. La contribution est donc une évaluation contrôlée de la génération hybride latente pour l'EEG multi-canaux rare: un classement antagoniste à capacité égale qui se décompose en biais inductif et effets d'optimisation, sans constituer à lui seul une affirmation clinique à données pleines.

Mots-clés: électroencéphalographie; détection de crises; déséquilibre de classes; réseaux antagonistes génératifs; apprentissage automatique quantique; modèles génératifs latents; égalité de capacité; validation patient-wise.

ملخص

تظلّ نوبات الصرع صعبة الكشف آلياً من تسجيلات تخطيط الدماغ المستمرة، لأنّ النشاط النوبي نادر مقارنةً بالنشاط غير النوبي، ولأنّ النماذج يجب أن تُعمّم عبر المرضى. تدرس هذه الأطروحة ما إذا كان بإمكان Style-qGAN هجين أن يُنمذج تمثيلات نوبية نادرة بأمانة أكبر من مولّد كلاسيكي متكافئ السعة تحت ناقد مشترك، وما إذا كان أيّ تفوّق من هذا النوع يُحسّن كاشفاً على مرضى محتجزين من مجموعة بيانات نوبات جامعة تمبل.

تُحوّل نوافذ متعددة القنوات مدتها 1.28 ثانية بواسطة مشفّر ذاتي التفاضل ببوابة إعادة بناء إلى رمز ذي 64 بعداً؛ ثم يُدرّب Style-qGAN هجين بثمانية كيوبتات (دائرة مع تطبيق خطي 64 → 8، 704 معاملات منها 82% كلاسيكية) ومولّدات كلاسيكية أمام ناقد واسرشتاين مشترك؛ وتُجمّع النوافذ الاصطناعية في مقاطع مدتها 10.24 ثانية وتُدْمَج في تدريب كاشف تحويل فورييه القصير-ذاكرة طويلة قصيرة ثنائية الاتجاه، الذي يُقيّم دائماً على مقاطع حقيقية فقط. يميّز البرنامج التجريبي التوأم الكلاسيكي المتكافئ في السعة عن شبكة أوسع (لا تُستخدم إلا إذا تقاربت) وعن خليط غاوسي، ويُبلغ عن ثلاثة مستويات لا تُساوى بينها: المسافة التوزيعية الكاملة، وبنية الإشارة المفكّكة، وAUROC اللاحق.

تُظهر النتائج أنّ Style-qGAN الهجين يتفوّق على الشبكة الكلاسيكية متكافئة السعة على مقياس التباين الأقصى للمتوسطات في الفضاء الكامن، بينما يبقى خليط غاوسي أقرب إلى الرموز الحقيقية ولا تُفسّر النتيجة بزيادة التشابك. ولا تنتقل هذه الميزة الكاملة إلى AUROC الأساسي عند الجرعة الاصطناعية الكاملة: يبلغ خط الأساس دون زيادة 0.821، ولا يميّز التعزيز الهجين عن الصفر على AUROC، ويتولى الخليط أو التوأم الزيادات ذات الدلالة. وعندما يُدرّب المولّد على نصف الرموز المتاحة يتغيّر الترتيب: يبلغ AUROC Δ الهجين 0.019+، وهو أكبر من التوأم والخليط، على الكاشف نفسه، وهي خلية استكشافية للندرة وليست قانوناً. وعليه فإنّ المساهمة هي تقييم مضبوط للتوليد الهجين الكامن لإشارات الدماغ متعددة القنوات النادرة: ترتيب تنافسي متكافئ السعة يتفكّك إلى انحياز استقرائي وأثار تحسين، دون أن يجعل منه، وحده، ادّعاءً سريريّاً عند البيانات الكاملة.

الكلمات المفتاحية: تخطيط الدماغ الكهربائي؛ كشف النوبات؛ اختلال توازن الأصناف؛ الشبكات التوليدية التنافسية؛ التعلم الآلي الكمومي؛ النماذج التوليدية الكاملة؛ مطابقة السعة؛ التحقق عبر المرضى.