

الجمهورية الشعبية الديمقراطية الجزائرية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة العليا للإعلام الآلي - 08 ماي 1945 - بسيدي بلعباس
École Supérieure en Informatique
- 08 Mai 1945 - Sidi Bel Abbès



MASTER THESIS

To obtain the diploma of Master

Field: Computer Science

Specialty: Artificial Intelligence and Data Science (AI&DS)

Theme

**TaViT: A Treatment-Aware Temporal Vision
Transformer for Longitudinal Glioma Trajectory
Modeling and Visualization**

Presented by:

BOUFABA Mohamed

Defended on: **July 2026**

[President Name]

Prof. Belkacem CHIKHAOU

Prof. Belkacem KHALDI

[Examiner Name]

In front of the jury composed of:

President

Supervisor

Supervisor

Examiner

Academic Year: 2025 / 2026

Abstract

The automated interpretation of longitudinal brain MRI into measurable tumour-volume trajectories is a central challenge in neuro-oncology for the management of gliomas, where the decision to continue, switch, or stop a treatment depends on how the tumour changes over time. Classical deep-learning architectures segment a single scan with near-expert accuracy, yet they read one image at a time, with no memory of earlier scans, no record of the treatment given between them, and no access to the molecular markers that shape tumour behaviour. The maturing of temporal attention models, treatment-aware conditioning, and clinical explainability methods opens new and theoretically motivated pathways to overcome these limitations, through time-aware modelling of the tumour and its therapy.

This thesis is centred on academic research and comparative analysis, with no practical implementation at this stage. It critically examines the most impactful approaches to modelling how a tumour changes over time, set against the benchmark longitudinal datasets and the explainability methods that make such models trustworthy in the clinic. Three critical gaps in the literature are identified, and the TaViT framework, a Treatment-Aware Temporal Vision Transformer, is proposed as a theoretically grounded response: it combines a per-scan imaging embedding, per-scan treatment conditioning, a patient-level molecular vector, a time-aware attention bias for the irregular spacing of clinical scans, and a generative component for visual inspection. The framework is analytically framed against the MU-Glioma-Post cohort (203 patients, 596 post-operative scans) and the multi-site BraTS-PTG cohort.

The directions set out in this work could improve the efficiency and clinical usefulness of longitudinal glioma monitoring, particularly where access to neuro-radiology expertise is limited. The proposed framework covers a range of clinical scenarios: treatment-response assessment, tumour-progression monitoring, and the visual communication of predicted tumour evolution to a clinical team.

Keywords: glioma; longitudinal MRI; brain-tumour segmentation; Vision Transformer; treatment-aware modelling; explainable AI; volume trajectory; state of the art.

Résumé

L'interprétation automatique de l'IRM cérébrale longitudinale en trajectoires volumiques mesurables de la tumeur est un défi central en neuro-oncologie pour la prise en charge des gliomes, où la décision de poursuivre, de modifier ou d'arrêter un traitement dépend de l'évolution de la tumeur au fil du temps. Les architectures classiques d'apprentissage profond segmentent un examen isolé avec une précision proche de celle d'un expert, mais elles n'analysent qu'une image à la fois, sans mémoire des examens précédents, sans trace des traitements administrés entre eux, ni accès aux marqueurs moléculaires qui conditionnent le comportement de la tumeur. La maturation des modèles d'attention temporelle, du conditionnement tenant compte du traitement et des méthodes d'explicabilité clinique ouvre de nouvelles voies, théoriquement motivées, pour dépasser ces limites, par une modélisation sensible au temps de la tumeur et de sa thérapie.

Ce mémoire est centré sur la recherche académique et l'analyse comparative, sans mise en œuvre pratique à ce stade. Il examine de manière critique les approches les plus marquantes pour modéliser cette évolution, au regard des jeux de données longitudinaux de référence et des méthodes d'explicabilité qui rendent ces modèles dignes de confiance en clinique. Trois lacunes critiques de la littérature sont identifiées, et le cadre TaViT, un Vision Transformer temporel tenant compte du traitement, est proposé comme une réponse théoriquement fondée : il combine un plongement d'imagerie par examen, un conditionnement par le traitement, un vecteur moléculaire, un biais d'attention sensible au temps pour l'espacement irrégulier des examens, et une composante générative. Ce cadre est analysé au regard de la cohorte MU-Glioma-Post (203 patients, 596 examens postopératoires) et de la cohorte multicentrique BraTS-PTG.

Les orientations dégagées par ce travail pourraient améliorer l'efficacité et l'utilité clinique du suivi longitudinal des gliomes, en particulier là où l'accès à l'expertise en neuro-radiologie est limité. Le cadre proposé couvre des situations cliniques variées : évaluation de la réponse au traitement, suivi de la progression tumorale, et communication visuelle de l'évolution tumorale prédite à l'équipe clinique.

Mots-clés : gliome ; IRM longitudinale ; segmentation de tumeurs cérébrales ; Vision Transformer ; modélisation tenant compte du traitement ; intelligence artificielle explicable ; trajectoire volumique ; état de l'art.

ملخص

يمثل التفسير الآلي لصور الرنين المغناطيسي الدماغية الطولية وتحويلها إلى مسارات حجمية قابلة للقياس تحدياً محورياً في علم الأورام العصبية لتدبير الأورام الدبقية، حيث يتوقف قرار مواصلة العلاج أو تغييره أو إيقافه على كيفية تطوّر الورم عبر الزمن. تعالج البنى التقليدية للتعلّم العميق صورة واحدة في كلّ مرة وتجزئها بدقة تقارب دقة الخبير، لكنّها لا تحتفظ بأيّ ذاكرة للفحوصات السابقة، ولا بأيّ أثر للعلاجات المقدّمة بينها، ولا بأيّ وصول إلى المؤشّرات الجزئية التي تحدّد سلوك الورم. وقد فتح نضج نماذج الانتباه الزمني والمعالجة المشروطة بالعلاج وطرائق قابلية التفسير السريرية مسارات جديدة ومبرّرة نظرياً لتجاوز هذه القيود، عبر نمذجة حسّاسة للزمن للورم وللعلاج الذي يقود تطوّره.

تتمحور هذه المذكرة حول البحث الأكاديمي والتحليل المقارن، دون أيّ تنفيذ عملي في هذه المرحلة. وهي تستعرض بعين نقدية أبرز المقاربات لنمذجة تطوّر الورم عبر الزمن، في ضوء مجموعات البيانات الطولية المرجعية وطرائق قابلية التفسير التي تجعل هذه النماذج جديرة بالثقة في الوسط السريري. وتحدّد ثلاث ثغرات أساسية في الأدبيات، ويقترح إطار TaViT، وهو محوّل رؤية زمني وإعّج بالعلاج، بوصفه استجابة مؤسّسة نظرياً: إذ يجمع بين تمثيل تصويري لكلّ فحص، ومعالجة مشروطة بالعلاج، ومتّجه جزئي على مستوى المريض، وانحياز انتباه حسّاس للزمن يراعي التباعد غير المنتظم للفحوصات، ومكوّن توليدي للمعينة البصرية. ويحلّل هذا الإطار في ضوء مجموعة بيانات MU-Glioma-Post (203 مرضى و596 فصلاً بعد الجراحة) ومجموعة بيانات BraTS-PTG المتعدّدة المراكز.

يمكن للتوجّهات التي يرسمها هذا العمل أن تحسّن كفاءة المتابعة الطولية للأورام الدبقية وفائدتها السريرية، ولا سيّما حيث يكون الوصول إلى خبرة الأشعة العصبية محدوداً. ويغطّي الإطار المقترح حالات سريرية متنوّعة: تقييم الاستجابة للعلاج، ومتابعة تطوّر الورم، والتواصل البصري لتطوّر الورم المتوقّع مع الفريق الطيّ.

الكلمات المفتاحية: الورم الدبقي؛ التصوير بالرنين المغناطيسي الطولي؛ تجزئة أورام الدماغ؛ محوّل الرؤية؛ النمذجة الواعية بالعلاج؛ الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير؛ المسار الحتمي؛ حالة الفن.