People's Democratic Republic of Algeria
Ministry of Higher Education and Scientific Research
University Ferhat Abbas Setif 1



Faculty of Sciences, Department of Physics

Master's Thesis

Presented to obtain Master's degree in Medical Physics

Benchmarking Deep Learning Approaches for Automated Dose Prediction in Radiotherapy

Guerouabi Hana

Presented on the 24 of June 2026, in front of the responsible jury:

Pr.Faycal Kharfi	Université Ferhat Abbas Sétif 1	Président
Pr.Hacene Azizi	Université Ferhat Abbas Sétif 1	Encadrant
Dr.Halima Saadia Kidar	Université Ferhat Abbas Sétif 1	Examinatrice
Dr.Saad Khoudri	CLCC Sétif	Invité

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ FERHAT ABBAS SÉTIF 1



FACULTÉ DES SCIENCES, DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

MÉMOIRE

Présenté pour obtenir le titre de Master en Physique Médicale

COMPARAISON DES APPROCHES D'APPRENTISSAGE PROFOND POUR LA PRÉDICTION AUTOMATISÉE DES DOSES EN RADIOTHÉRAPIE

GUEROUABI HANA

Présenté le 24 Juin 2026, devant le jury composé de :

PR.FAYCAL KHARFI	Université Ferhat Abbas Sétif 1	Président
PR.HACENE AZIZI	Université Ferhat Abbas Sétif 1	Encadrant
DR.HALIMA SAADIA KIDAR	Université Ferhat Abbas Sétif 1	Examinatrice
DR.SAAD KHOUDRI	CLCC Sétif	Invité

Contents

Acknowledgments i

Abstract ii

Résumé iii

List of Figures vii

List of Tables x

List of Abbreviations xi

Introduction 1

1 Fundamentals of External Beam Radiotherapy 2

1.1 Introduction . . . 2
1.2 External Beam Radiotherapy . . . 2
1.3 Treatment Workflow . . . 2
1.3.1 CT Simulation . . . 3
1.3.2 Segmentation and Contouring . . . 4
1.3.3 Dosimetric Treatment Planning . . . 5
1.3.4 Treatment Delivery . . . 6
1.4 External Radiotherapy Techniques . . . 6
1.4.1 3D Conformal Radiotherapy (3D-CRT) . . . 6
1.4.2 Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT) . . . 7
1.4.3 Volumetric-Modulated Arc Therapy (VMAT) . . . 8
1.4.4 Image-Guided Radiation Therapy (IGRT) . . . 8
1.4.5 Adaptive Radiation Therapy (ART) . . . 9
1.5 Conclusion . . . 9

2 DL Foundations and Applications in RT Dose Prediction 11

2.1 Introduction . . . 11
2.2 Artificial Intelligence (AI) . . . 11

2.2.1 Machine Learning (ML)..... 11
2.2.2 Deep Learning and Neural Network Fundamentals..... 12
2.3 Convolutional Neural Networks (CNNs)..... 12
2.3.1 U-Net..... 13
2.4 Deep Learning for Dose Prediction in Radiotherapy..... 14
2.4.1 State-of-the-Art Deep Learning Approaches..... 14
2.5 Problematic..... 17
2.6 Conclusion..... 17

3 MATERIALS & METHODS 18
3.1 Introduction..... 18
3.2 Data Characteristics and Preprocessing..... 18
3.2.1 Dataset Description..... 18
3.2.2 Data Preprocessing..... 19
3.2.3 Data Splitting..... 19
3.3 Model Architectures..... 20
3.3.1 3D U-Net..... 20
3.3.2 Attention Res U-Net..... 21
3.3.3 Dense Unet..... 21
3.4 Hardware and Software Implementation..... 22
3.4.1 Training Configuration..... 22
3.5 Evaluation Metrics..... 24
3.5.1 Mean Absolute Error (MAE)..... 24
3.5.2 Homogeneity Index (HI)..... 24
3.5.3 Conformity Index (CI)..... 24
3.5.4 Gamma Passing Rate (GPR)..... 24
3.5.5 Dose-Volume Histograms (DVH)..... 25
3.5.6 Error Map..... 26
3.6 Conclusion..... 26

4 EXPERIMENTS, RESULTS & DISCUSSION 27
4.1 Introduction..... 27
4.2 Training & Validation Loss Curves..... 27
4.3 Qualitative Results..... 28
4.3.1 3D U-Net Spatial Distribution..... 28
4.3.2 Attention-ResU-Net Spatial Distribution..... 30
4.3.3 Dense U-Net Spatial Distribution..... 31
4.3.4 Comparative Evaluation of Spatial Dose Distributions..... 32
4.4 Quantitative Results..... 33

4.4.1 Mean Absolute Error Analysis..... 33

Homogeneity Index Analysis..... 36
4.4.2 Conformity Index Analysis..... 36
4.4.3 Gamma Index Analysis (3%/3 mm and 2%/2 mm)..... 36
4.4.4 Dose-Volume Histogram Analysis..... 39
4.5 Discussion..... 41
4.6 Conclusion..... 43

CONCLUSION & PERCPECTIVES **44**

BIBLIOGRAPHY **45**

Bibliography

Abstract

External Beam Radiotherapy (EBRT) is one of the most widely used cancer treatment modalities, relying on the accurate delivery of radiation dose to tumor targets while minimizing exposure to surrounding healthy tissues and Organs at Risk (OARs). The treatment planning process is often complex and time-consuming, motivating the development of automated dose prediction methods based on Artificial Intelligence and Deep Learning. This work evaluates the potential of Deep Learning for three-dimensional dose prediction in head-and-neck radiotherapy using the OpenKBP dataset. Three convolutional neural network architectures were investigated: 3D U-Net, Dense U-Net, and Attention-ResU-Net. Their performance was assessed through dosimetric metrics, Dose-Volume Histogram (DVH) analysis, and gamma index evaluation. The results showed that the Attention-ResU-Net achieved the highest prediction accuracy, with a Mean Absolute Error (MAE) of 4.010 ± 1.032 Gy, compared with 4.156 ± 0.992 Gy for the 3D U-Net and 4.247 ± 0.981 Gy for the Dense U-Net. Furthermore, it provided improved Planning Target Volume (PTV) coverage and better sparing of critical OARs, particularly the Brainstem and Spinal Cord. DVH and gamma analyses also demonstrated a closer agreement between the predicted and reference dose distributions. Overall, the findings highlight the value of attention-based deep learning architectures for enhancing the accuracy, efficiency, and reliability of automated radiotherapy treatment planning.

Keywords: External Beam Radiotherapy, Deep Learning, Dose Prediction, Head-and-Neck Cancer, 3D U-Net.

Résumé

La radiothérapie externe est l'une des modalités de traitement du cancer les plus utilisées. Elle repose sur l'administration précise d'une dose de rayonnement aux volumes tumoraux tout en minimisant l'irradiation des tissus sains environnants et des organes à risque (OARs). Le processus de planification du traitement étant souvent complexe et chronophage, le développement de méthodes automatisées de prédiction de dose basées sur l'intelligence artificielle et l'apprentissage profond suscite un intérêt croissant. Ce travail évalue le potentiel de l'apprentissage profond pour la prédiction tridimensionnelle de dose en radiothérapie des cancers de la tête et du cou à l'aide de la base de données OpenKBP. Trois architectures de réseaux neuronaux convolutifs ont été étudiées : 3D U-Net, Dense U-Net et Attention-ResU-Net. Leurs performances ont été évaluées à l'aide de métriques dosimétriques, de l'analyse des histogrammes dose-volume (DVH) et de l'indice gamma. Les résultats ont montré que l'Attention-ResU-Net obtenait la meilleure précision de prédiction avec une erreur absolue moyenne (MAE) de 4.010±1.032 Gy, contre 4.156±0.992 Gy pour le 3D U-Net et 4.247±0.981 Gy pour le Dense U-Net. De plus, ce modèle a permis une meilleure couverture du volume cible planifié (PTV) ainsi qu'une meilleure préservation des organes à risque critiques, notamment le tronc cérébral et la moelle épinière. Les analyses DVH et gamma ont également démontré une concordance plus étroite entre les distributions de dose prédites et les distributions de référence.Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence l'intérêt des architectures d'apprentissage profond intégrant des mécanismes d'attention pour améliorer la précision, l'efficacité et la fiabilité de la planification automatisée des traitements de radiothérapie.

Mot-clés : Radiothérapie externe, Apprentissage profond, Prédiction de dose, Cancer de la tête et du cou, 3D U-Net

الملخص

يُعد العلاج الإشعاعي الخارجي (EBRT) أحد أكثر طرق علاج السرطان استخدامًا، حيث يعتمد على إيصال جرعة إشعاعية دقيقة إلى الأهداف الورمية مع تقليل التعرض للأنسجة السليمة المحيطة والأعضاء الحساسة (OARs). غالبًا ما تكون عملية تخطيط العلاج معقدة وتستغرق وقتًا طويلًا، مما دفع إلى تطوير طرق آلية للتنبؤ بالجرعة اعتمادًا على الذكاء الاصطناعي والتعلم العميق. يهدف هذا العمل إلى تقييم إمكانيات التعلم العميق في التنبؤ ثلاثي الأبعاد بالجرعة في العلاج الإشعاعي لمنطقة الرأس والعنق باستخدام مجموعة بيانات OpenKBP. وقد تم دراسة ثلاث معماريات للشبكات العصبية الالتفافية، وهي: (3D U-Net)، و(U-Net Dense)، و(Attention-ResU-Net). تم تقييم أداء هذه النماذج من خلال المقاييس الدوزيمترية، وتحليل منحنيات (DVH)، وتقييم مؤشر (Gamma). أظهرت النتائج أن نموذج (Attention-ResU-Net) حقق أعلى دقة تنبؤية، بمتوسط خطأ مطلق (MAE) قدره (4.010 ± 1.032 Gy)، مقارنة بـ (0.992 ± 4.156 Gy) لنموذج (3D U-Net) و(4.247 ± 0.981 Gy) لنموذج (Dense U-Net). علاوة على ذلك، وفّر هذا النموذج تغطية أفضل للحجم المستهدف للتخطيط (PTV) مع تحسين حماية الأعضاء الحساسة، خصوصًا جذع الدماغ والحبل الشوكي.كما أظهرت تحليلات (DVH) و(Gamma) توافقًا أكبر بين توزيعات الجرعة المتوقعة والمرجعية. بشكل عام، تؤكد هذه النتائج أهمية المعماريات المعتمدة على آليات الانتباه في التعلم العميق من أجل تحسين دقة وكفاءة وموثوقية التخطيط الآلي للعلاج الإشعاعي.

الكلمات المفتاحية:

العلاج الإشعاعي الخارجي، التعلم العميق، التنبؤ بالجرعة، سرطان الرأس والعنق، (3D U-Net).