

Les Réseaux de Neurones Artificiels, une nouvelle alternative aux calculs Monte-Carlo pour la radiothérapie.

E. Martin, R. Gschwind, J. Henriet, M. Sauget, L. Makovicka

IRMA/Enisys/FEMTO-ST, Pôle universitaire des Portes du Jura, place Tharradin, BP 71427, 25211 Montbéliard cedex, France

Contact : eric.martin@univ-fcomte.fr

Introduction

Les codes de calcul Monte-Carlo constituent d'importants outils dans le domaine de la physique des rayonnements, en particulier la dosimétrie. Une réflexion est conduite, dans le cadre de cette étude, sur l'opportunité d'utiliser d'autres solutions logicielles qui ne soient pas basées sur la seule puissance de calcul brute ou le biaisage (classiquement employé pour accélérer les calculs Monte-Carlo) et qui sont d'ores et déjà employées avec succès dans d'autres domaines d'applications, scientifiques ou bien industriels. Quelques alternatives sont actuellement étudiées par l'équipe IRMA (Interaction Rayonnements MATière) du laboratoire CNRS FEMTO-ST; l'une d'entre elles étant les Réseaux de Neurones Artificiels (RNA).

L'objectif des RNA est de combiner des calculs Monte-Carlo préliminaires avec un code de calcul RNA (NEURAD, développé par l'équipe IRMA) dans le but de drastiquement diminuer le temps de calcul sans pour autant dégrader la précision. Durant la phase dite « d'entraînement », des calculs Monte-Carlo sont effectués dans des milieux homogènes pour permettre la construction du réseau de neurones. Dans un second temps, les calculs dosimétriques (dans des milieux hétérogènes et inconnus du réseau) peuvent être effectués par le réseau ainsi entraîné. Cette approche nous permet d'obtenir des résultats globaux en moins d'une minute (sur PC d'entrée de gamme) sans dépasser un niveau d'erreur de quelques pourcents, en comparaison avec un calcul Monte-Carlo non biaisé (nécessitant plusieurs jours de calculs sur une station multiprocesseurs).

Cette étude constitue une première étape dans l'amélioration des calculs dosimétriques démontre l'efficience d'alternatives aux calculs purement Monte-Carlo.

Matériel utilisé

Pour valider expérimentalement NEURAD, nous avons utilisé le fantôme anthropomorphe CIRS (Figure 1). L'acquisition des coupes TDM a été effectuée au Centre Hospitalier de Belfort-Montbéliard sur un Scanner GE-RT16. Les mesures ont été faites sur le fantôme CIRS à l'aide de films Gafchromic EBT QD+ (un étalonnage en dose et en énergie a été effectué pour chaque film employé).

La partie calcul a été effectuée sur deux systèmes différents :

- Code NEURAD (Figure 3)
- Oncentra Master Plan (Nucletron)

Sur OMP, l'algorithme utilisé principalement dans nos comparaisons est le Collapsed Cone Convolution (Figure 2). Néanmoins, des comparaisons avec l'algorithme Pencil Beam ont été effectuées à titre indicatif.

Résultats et conclusions

Sur les rendements en profondeur (Figure 4), les résultats obtenus par les deux codes NEURAD et OMP sont cohérents avec la mesure de référence. Il est néanmoins à noter que le résultat de calcul OMP reste beaucoup moins bruité que pour NEURAD.

De même, l'étude du profil au point de référence montre une grande cohésion entre les deux codes de calcul et la mesure (Figure 5).

En revanche, si l'on étudie les profils à 15,5 cm de profondeur (profils passant par le centre de l'hétérogénéité de type os sur l'axe du faisceau), on aperçoit les limitations actuelles de NEURAD (Figure 6). D'une part, dans l'état actuel du développement, NEURAD ne contient pas de modèle explicite pour la prise en compte des pénombres (que ce soit la pénombre portée en bord de faisceau ou bien le gradient de dose observé à l'interface d'une hétérogénéité). D'autre part, le problème observé est surtout imputable à un apprentissage encore perfectible. Une meilleure description des données de bases (calculs Monte Carlo effectués pour plus de faisceaux, dans des milieux homogènes plus étendus) devrait permettre de corriger ce type d'erreur.

Il est à noter aussi, la défaillance d'OMP, comparativement aux mesures, à proximité des inserts poumons.

La faisabilité de l'utilisation d'un réseau de neurones artificiels est donc démontrée expérimentalement. À partir d'un fantôme thorax, une distribution de dose a été calculée par NEURAD après apprentissage. La principale limitation qui doit être dépassée est maintenant le problème induit par le calcul dans des milieux qui sortent du domaine d'apprentissage (en particulier le poumon). Une piste pourrait être de ramener la densité de ce milieu à la densité minimale (ou maximale suivant le cas) apprise (au lieu de zéro actuellement). Une autre serait d'effectuer des calculs Monte Carlo dans des fantômes homogènes améliorés pour générer la base d'apprentissage.

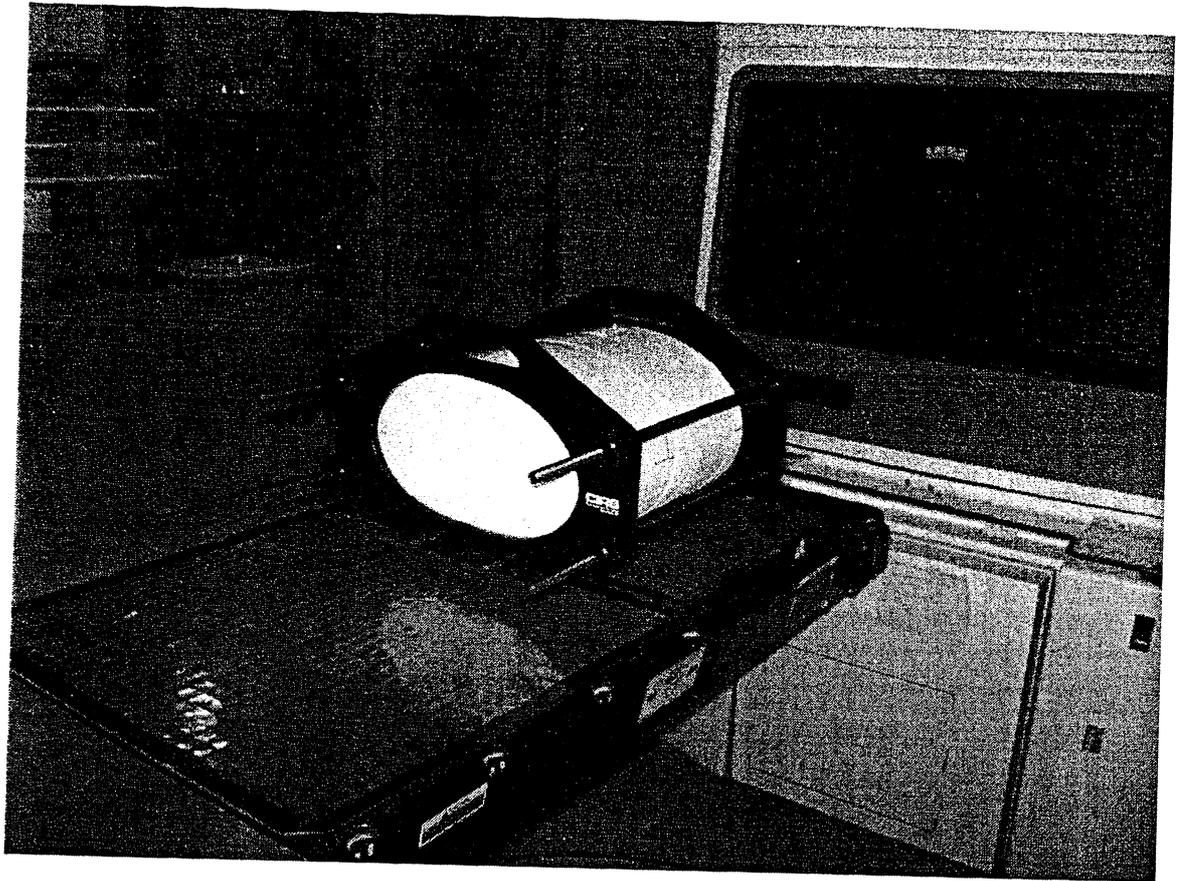


Figure 1 : Fantôme CIRS

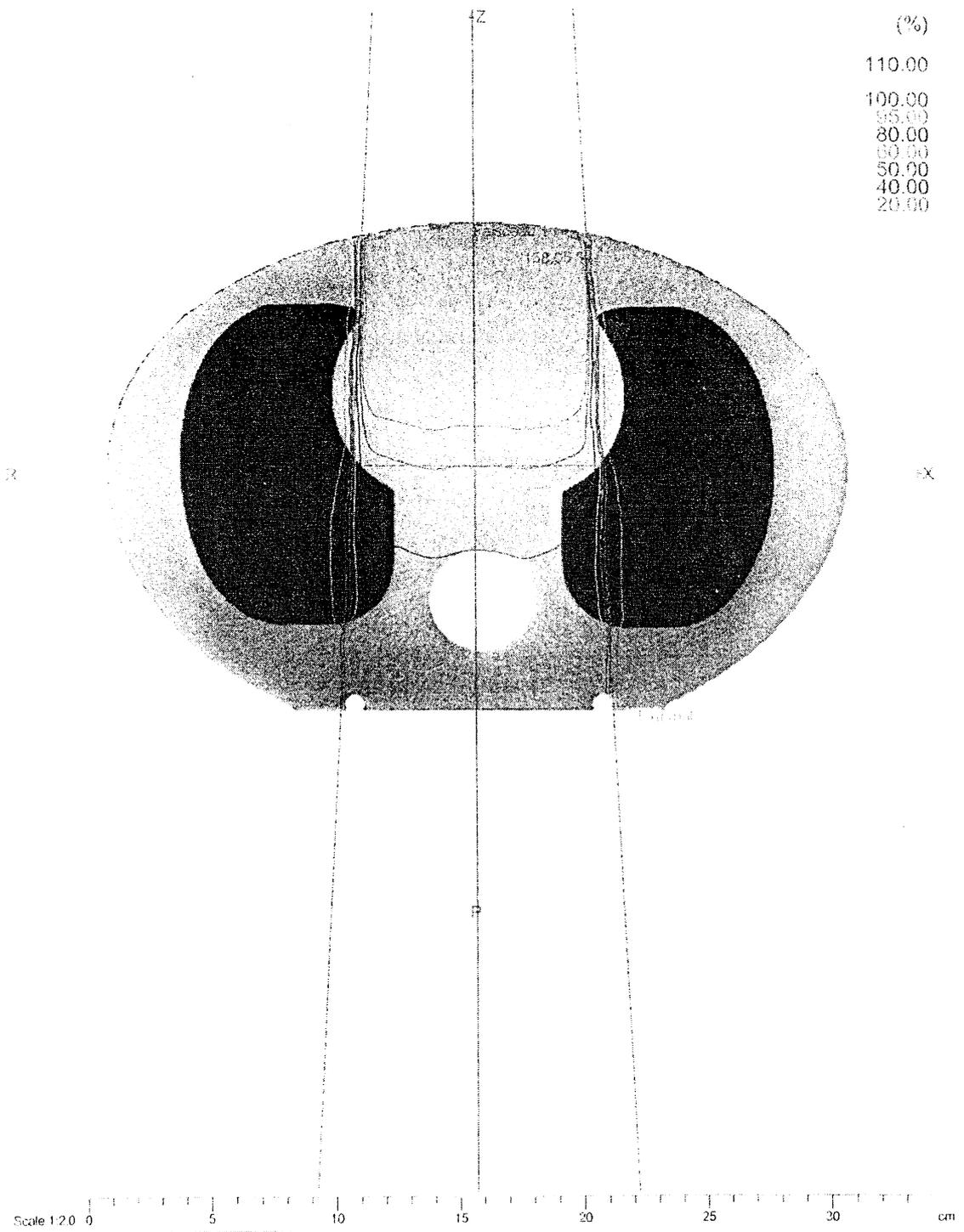


Figure 2 : calcul OMP en Collapsed-cone Convolution

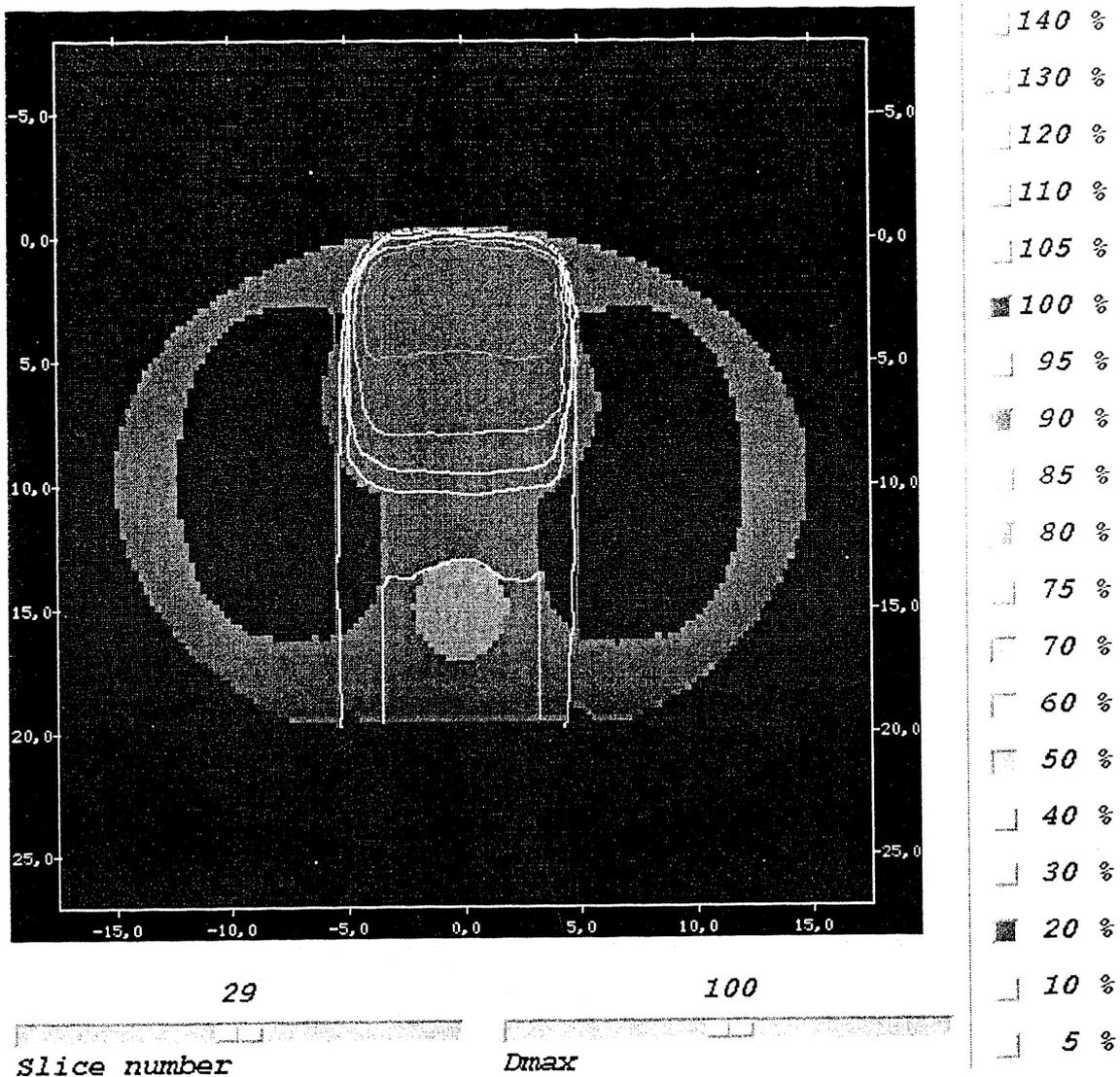


Figure 3 : Calcul NEURAD

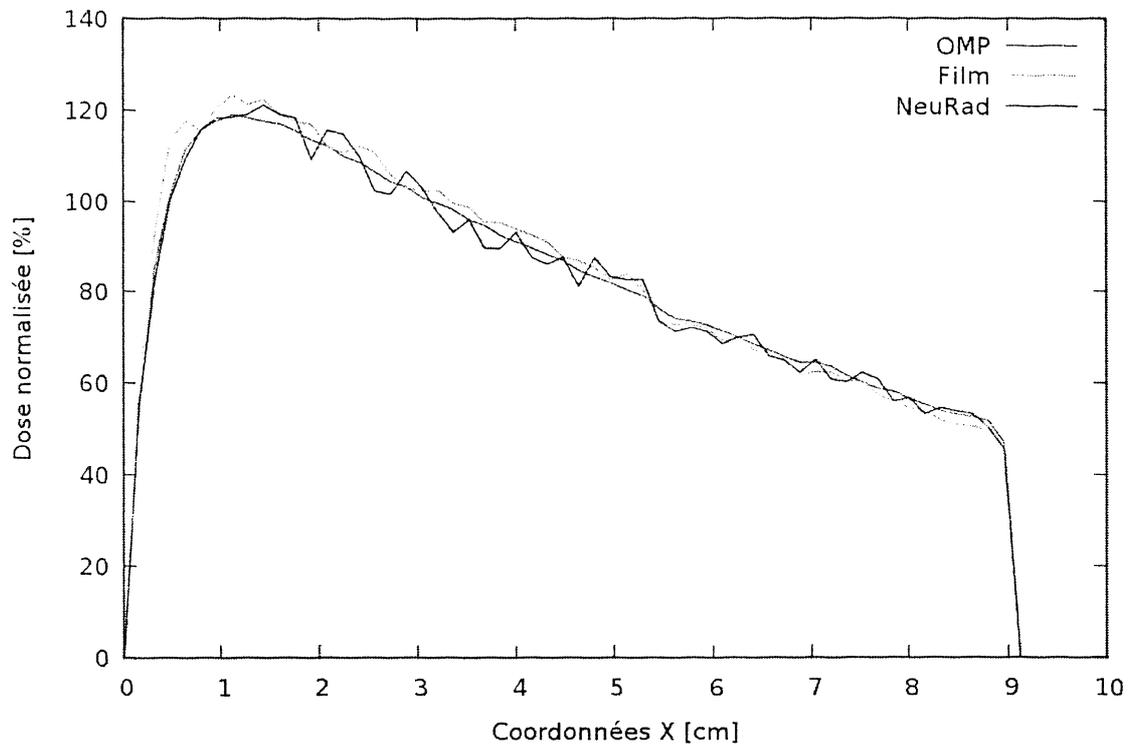


Figure 4 : Rendements en profondeur.

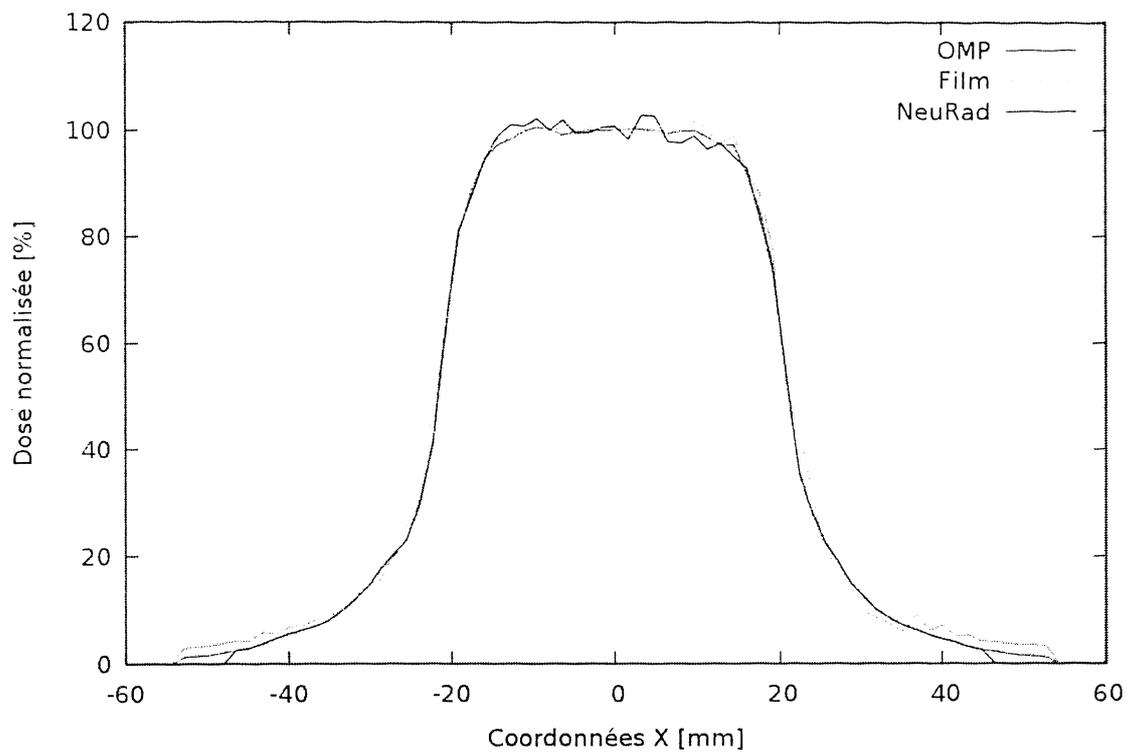


Figure 5 : Comparaison des profils à l'isocentre

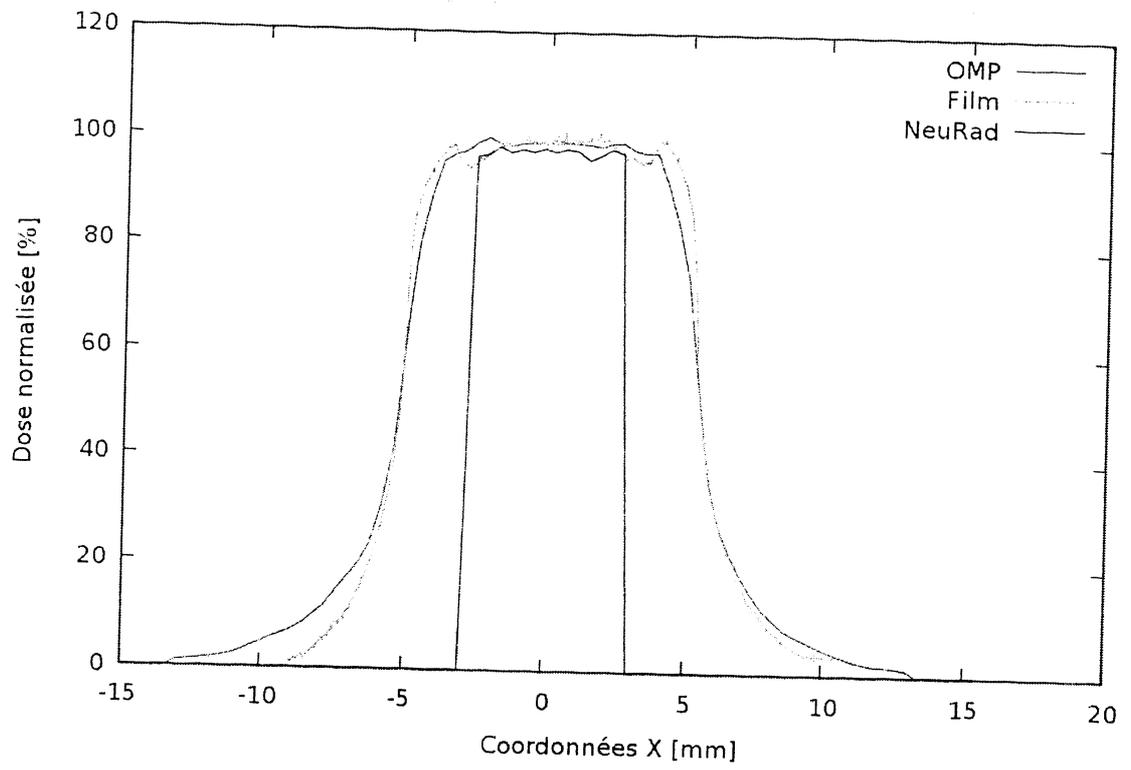


Figure 6 : Profils au centre de l'hétérogénéité (profondeur 155 mm)