

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Problématique de l'irradiation α suite à une contamination interne: calculs des doses à l'échelle cellulaire

M. Elbast¹, F. Petitot², A. Saudo¹, V. Holler³, A. Desbrée¹

¹DRPH/ SDI/ LEDI BP 17 - 92262 - Fontenay aux Roses Cedex

²DRPH/ SRBE/ LRTOX Site de Tricastin-BP 166-26702, Pierrelatte Cedex

³DRPH/ SRBE/ LRTE BP 17 - 92262 - Fontenay aux Roses Cedex

1. Problématique

2. Objectifs

3. Résultats

- Validation des codes de calcul Geant4 pour la microdosimétrie
- Comparaison MCNPX / Geant4 pour des géométries simples et voxelisées
- Création du fantôme 3D à partir des images optiques ou confocales

4. Conclusion

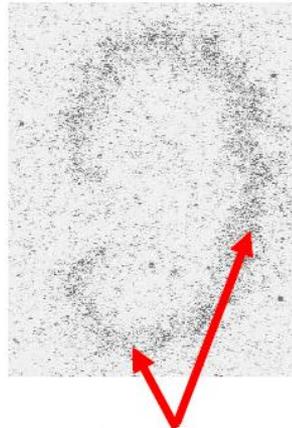
5. Perspectives

Problématique

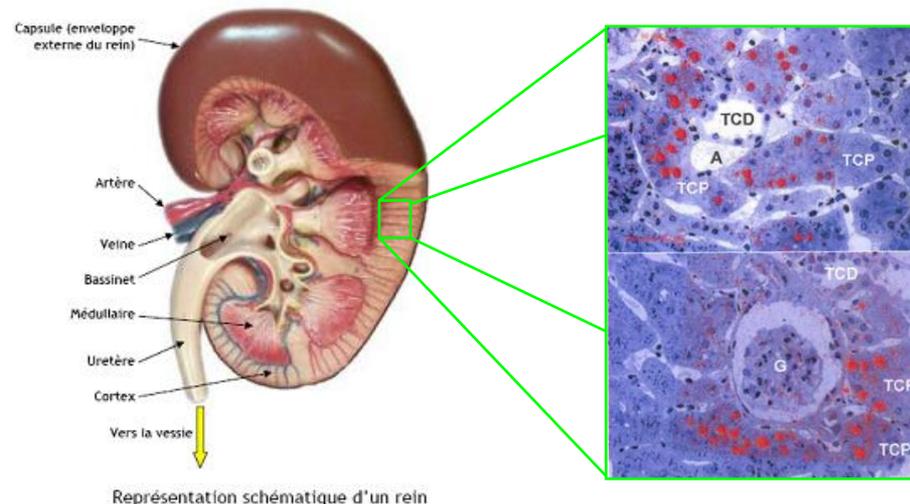
CIPR: Travailleurs exposés

- Les voies de contamination en dosimétrie interne (Inhalation, Ingestion, Passage percutané),
- Manque des données concernant l'incorporation suite à une plaie contaminée,
- Une distribution homogène de l'U au niveau du rein,

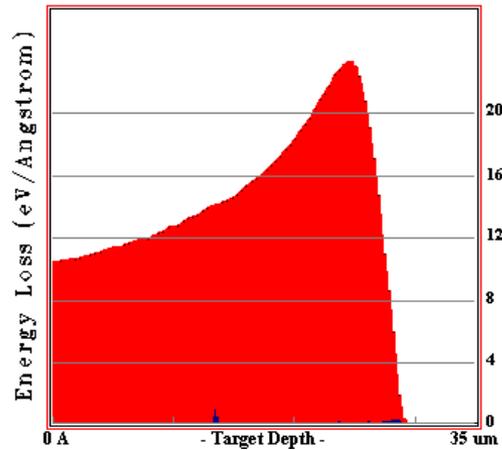
Etudes antérieures



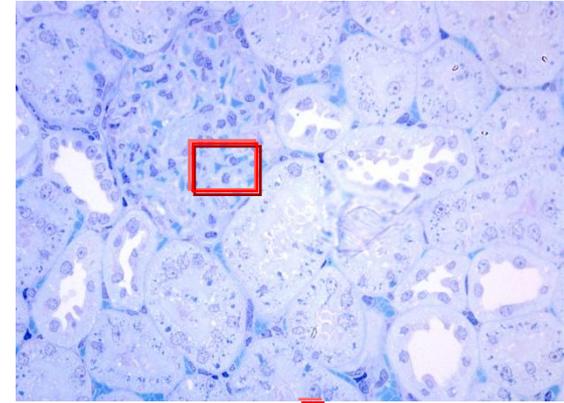
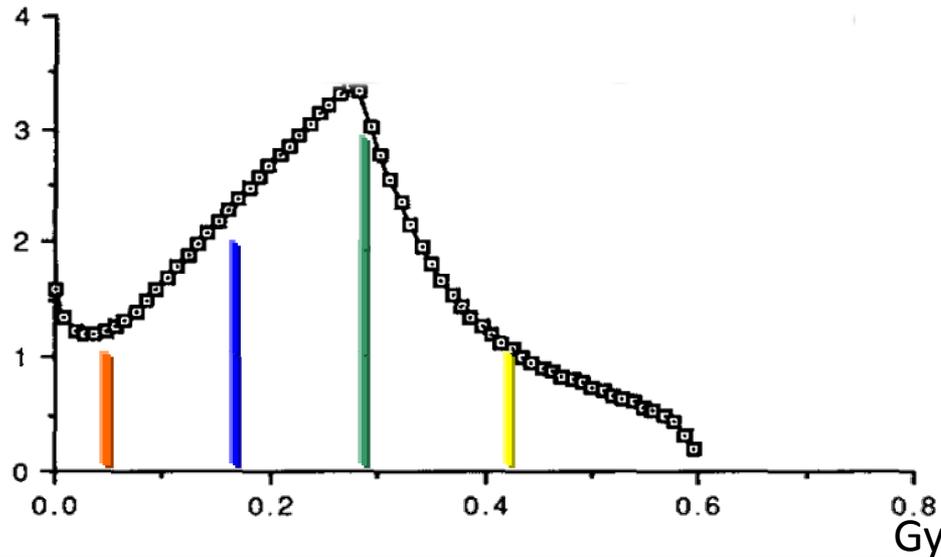
Autoradiographie d'un rein de rat après administration aiguë d' ^{233}U (image LRTOX) : 80-90% de l'U est localisé dans zone corticale du rein



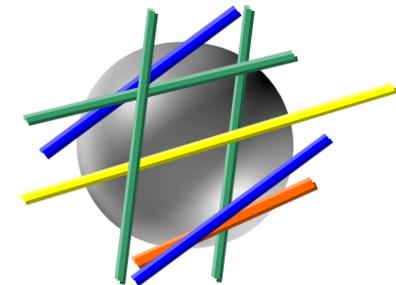
Rappels



$E_{\alpha} = 4.2 \text{ MeV}$



Approche microdosimétrique



Objectifs

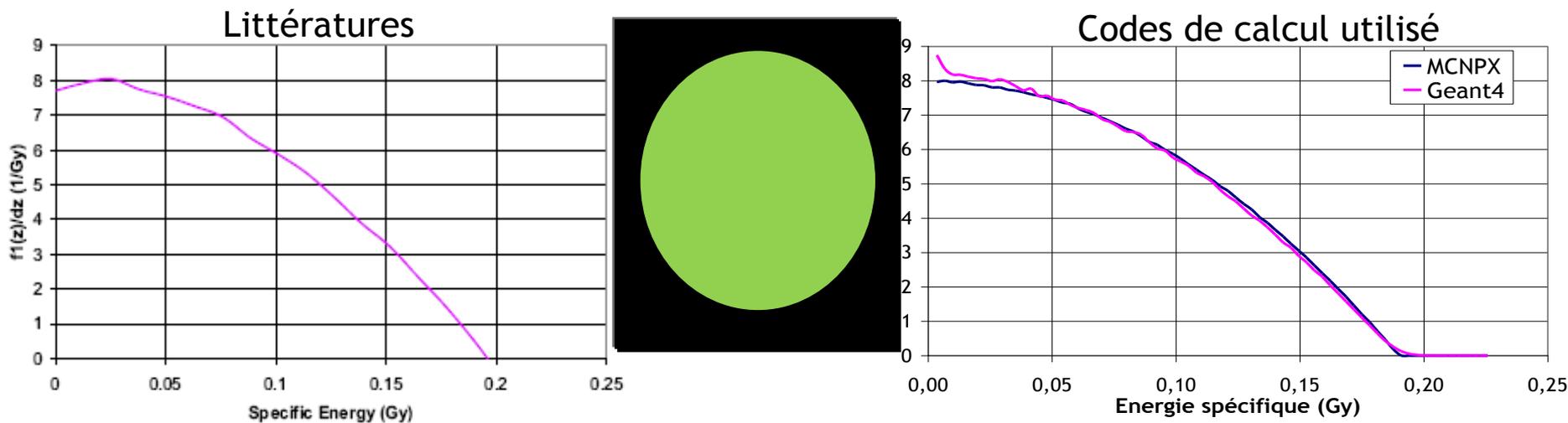
Modèle microdosimétrique d'irradiation alpha au niveau cellulaire du rein prenant en compte les paramètres histologiques et cinétiques de l'uranium:

- Validation des codes de calcul Monte Carlo pour la microdosimétrie
- Reconstruction réaliste en 3D du rein à partir des coupes histologiques (fantôme voxélisé),
- Calcul de dose à l'échelle cellulaire

Validation des codes de calcul Geant4 pour la microdosimétrie

Comparaison avec des résultats déjà publiés pour différentes géométries et énergies,

Exp: Source-cible confondu, sphère de rayon 5 μm , $E=8,78 \text{ MeV}$



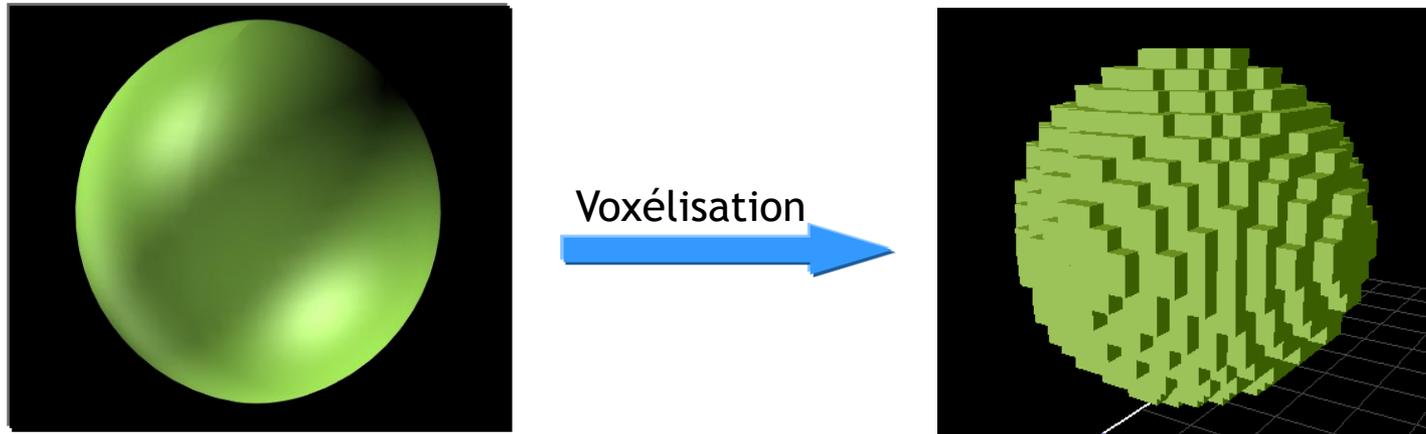
Probabilité de dépôt lors d'un impact

	MCNPX	Geant4	Stinchcomb et al.*
$\langle z_1 \rangle$ (Gy)	0,0724	0,0713	0,0684
Ecart avec Stinchcomb (%)	5,5	4	-

* Stinchcomb T. G., Roeske J.C. (1999). Values of "S", $\langle z_1 \rangle$, and $\langle z_2 \rangle$ for dosimetry using alpha-particle emitters. Med. Phys. 26 (9) 1960-1973.

Comparaison MCNPX / Geant4

Géométries voxélisées

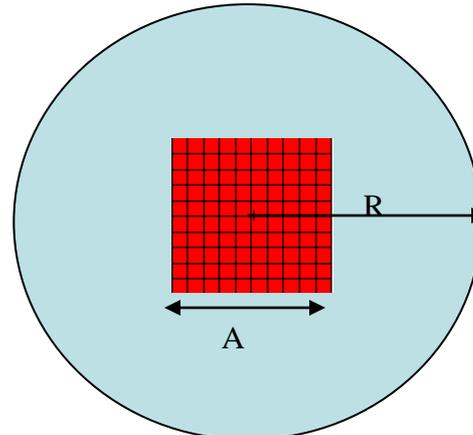


La méthode est-elle toujours valable?

Etude de la taille des voxels

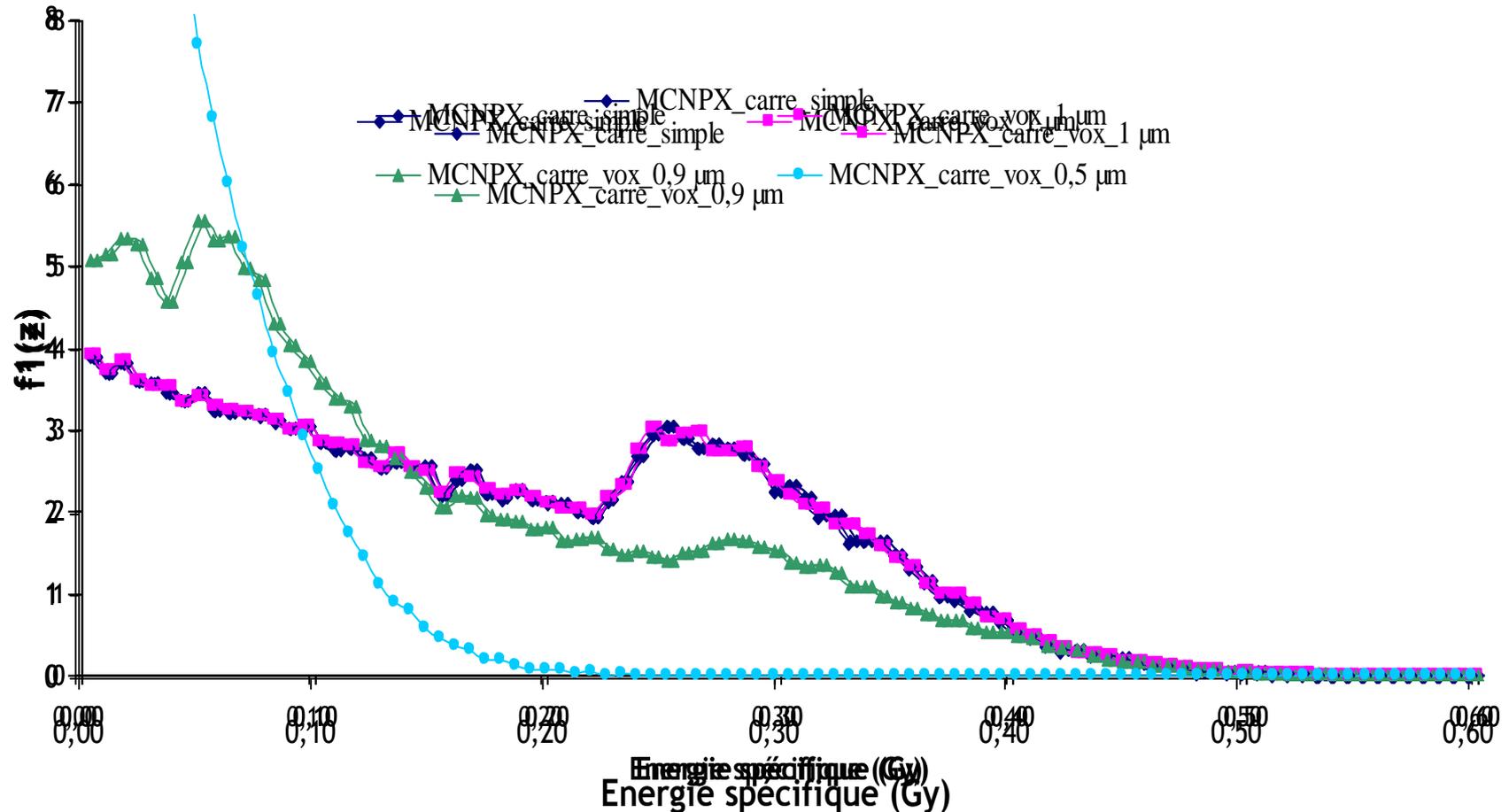
Géométrie étudiée:

$A = 9 \mu\text{m}$; $R = 20 \mu\text{m}$
 $E_{\alpha} = 4,2 \text{ MeV}$



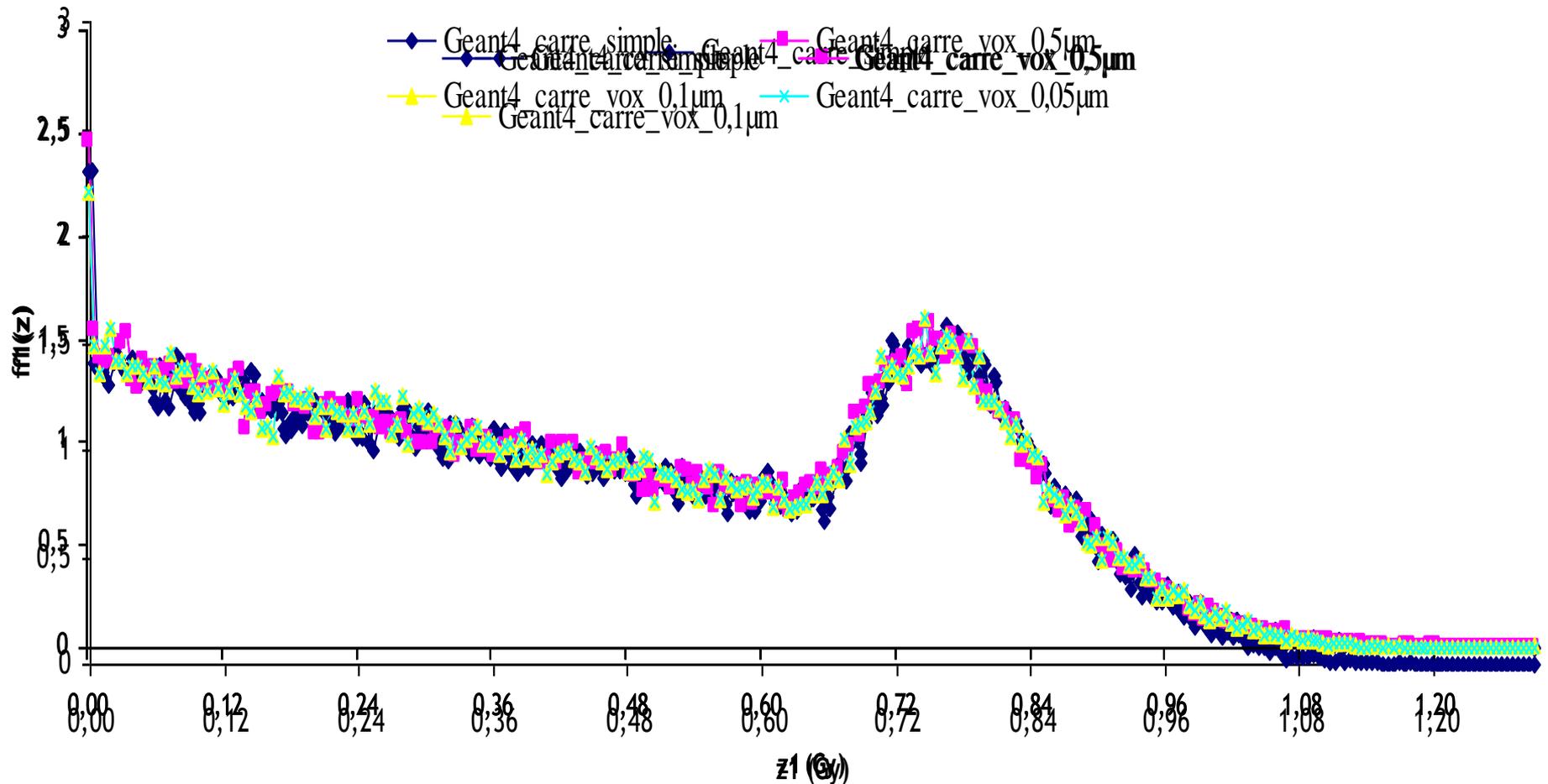
Volume d'où sont émis les alphas
 Carré voxélisé

Résultats obtenus avec MCNPX



Avec MCNPX, les courbes obtenues pour des voxels de moins de 1 μm de côté sont différentes de celle d'un carré simple

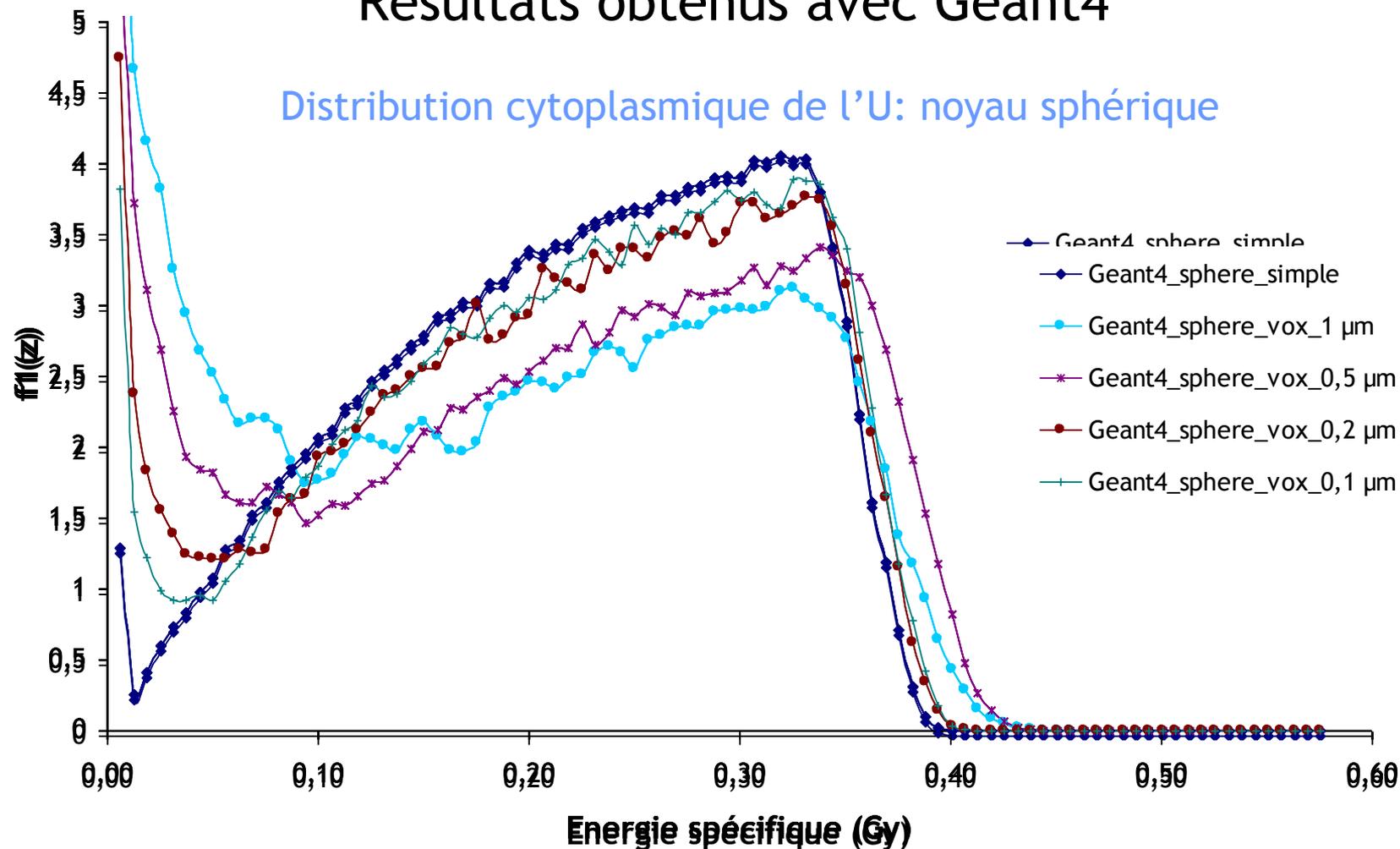
Résultats obtenus avec Geant4



Avec GEANT4, les courbes obtenues restent identiques à celle d'un carré simple pour des voxels allant de 1 à 0,05 μm de côté

Résultats obtenus avec Geant4

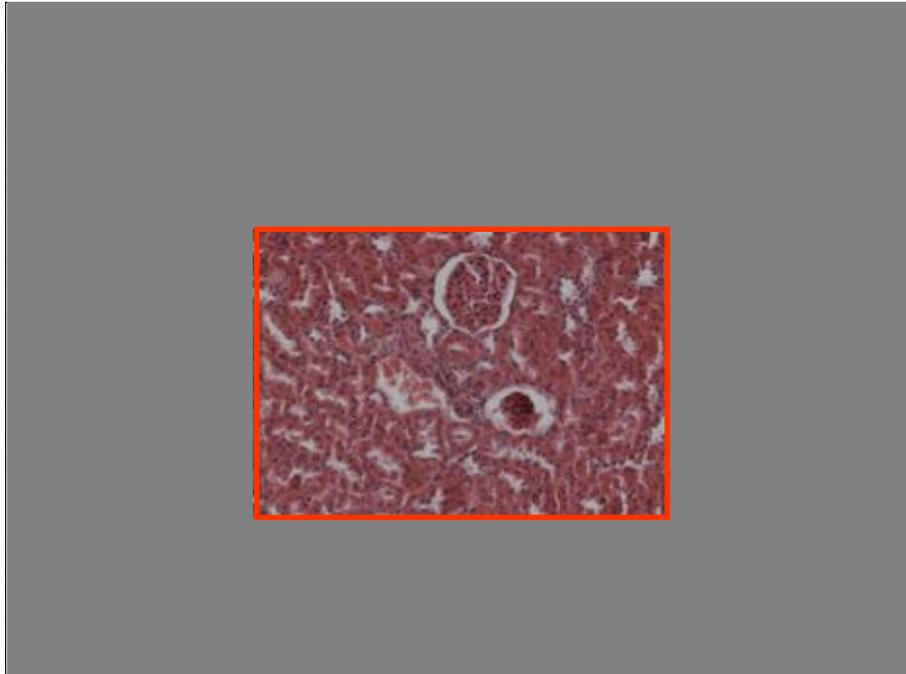
Distribution cytoplasmique de l'U: noyau sphérique



<i>Geant4</i>	<i>simple</i>	<i>vox_1µm</i>	<i>vox_0,5µm</i>	<i>vox_0,2µm</i>	<i>vox_0,1µm</i>
$\langle z_1 \rangle$ (Gy)	0,218	0,191	0,212	0,214	0,22
Ecart	-	12,40%	2,80%	1,90%	1%

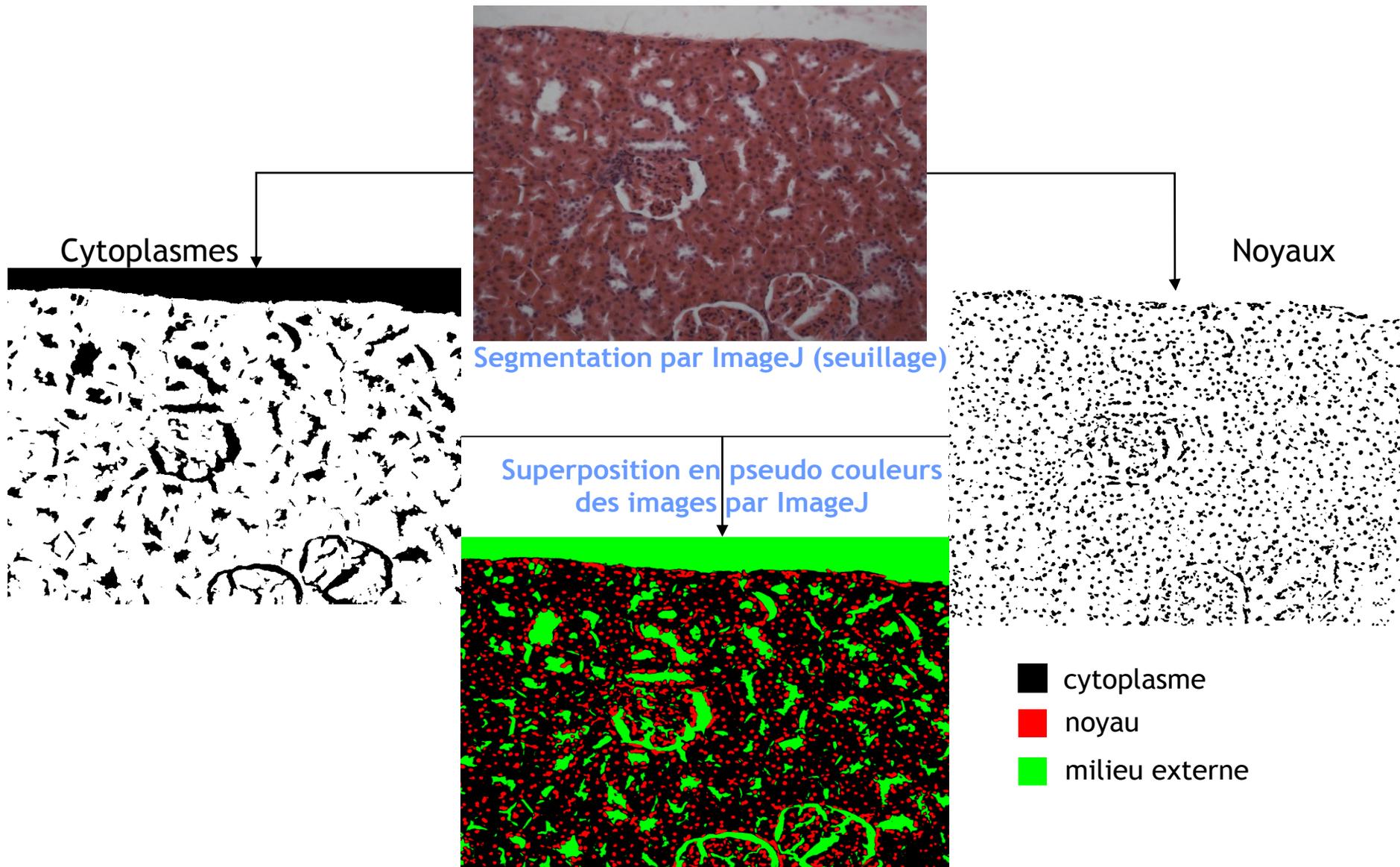
Création du fantôme 3D: Imagerie optique

- Reconstitution à l'aide du logiciel « Histolab » d'une image optique à partir de 4 images réalisées avec un *objx20 avec une résolution de 0.4 µm/pixel*



- Sélection de la même région d'intérêt sur une série de 10 coupes histologiques transversales sériées,
- Une segmentation des régions d'intérêt: cellules, noyaux, par ImageJ

Création du fantôme 3D: Imagerie optique



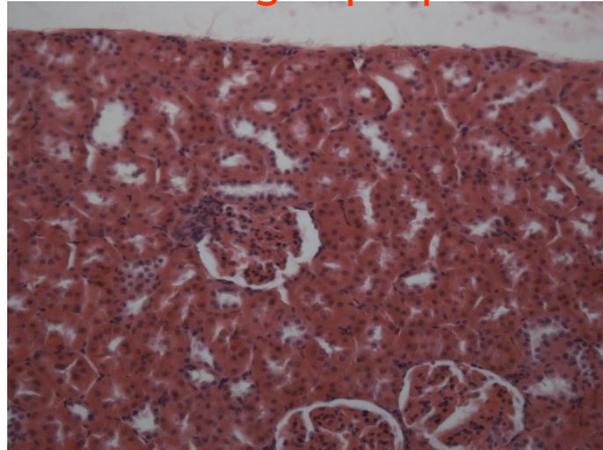
Création du fantôme 3D: Imagerie optique

Reconstruction de l'image histologique 2D

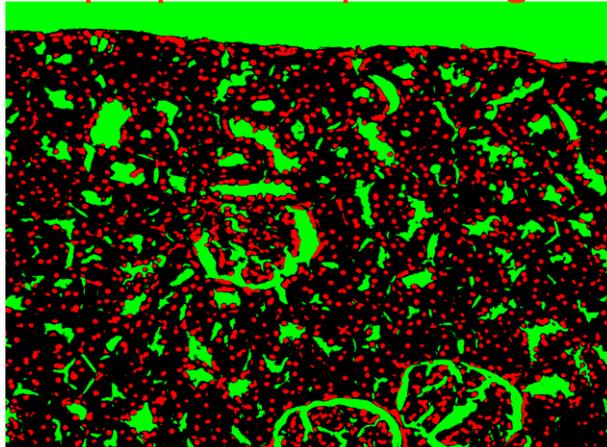
Plusieurs coupes sériées, données utiles:

- Taille de pixels,
- Epaisseur de la coupe,
- Coordonnées des noyaux,...

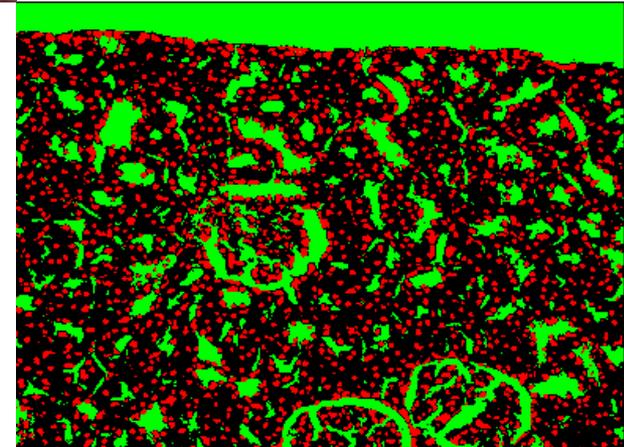
Image optique



Superposition par ImageJ



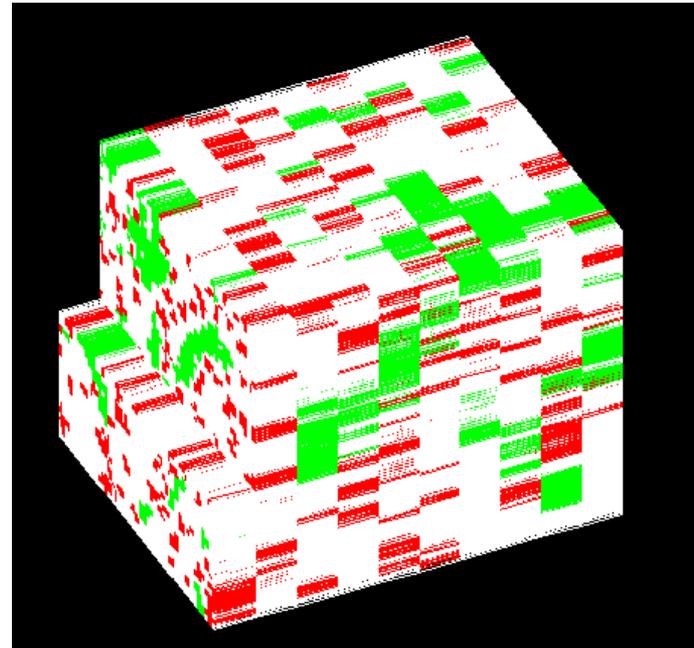
Geant4



Création du fantôme 3D: Imagerie optique

Création d'un fantôme voxélisé 3D

- Une série de 10 coupes sériées
- Un pixel de $(0,4 \times 0,4) \mu\text{m}^2$
- Une coupe de $5 \mu\text{m}$ d'épaisseur



Un point nécessite une amélioration :

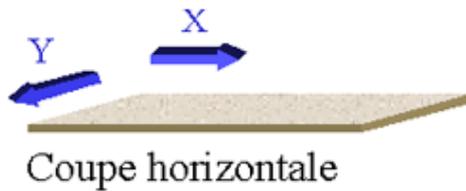
- Discontinuité sur le profil du volume suite à l'extrapolation de l'image optique surfacique sur l'épaisseur de la coupe

➔ Microscopie confocale

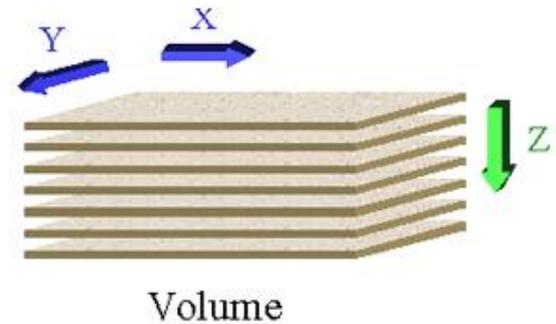
Améliorations du modèle 3D

La microscopie confocale:

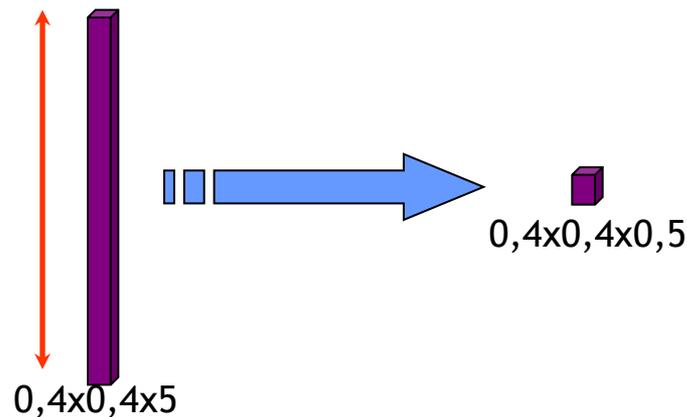
Balayage laser



Déplacement du plan confocal



Epaisseur de la coupe

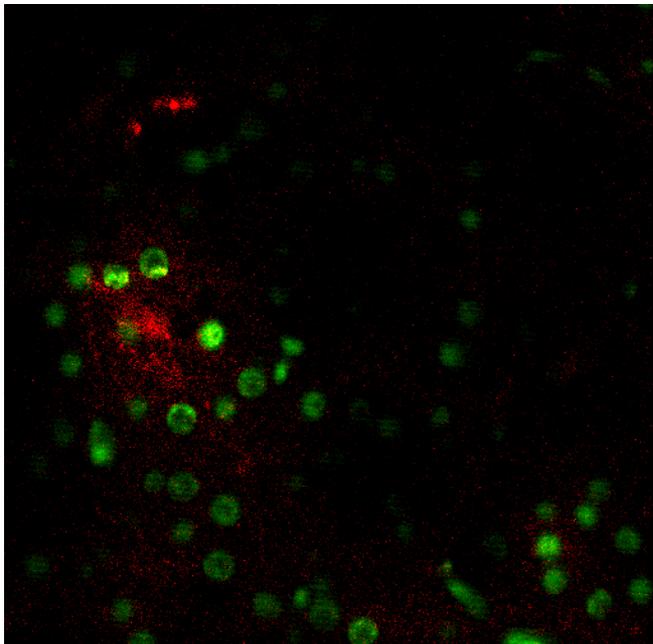


Améliorations du modèle 3D

La microscopie confocale

Conditions expérimentales

- Noyaux cellulaires (**Sytox Green**), cytoplasmes (**Rhodamine Phalloidin**),
- Des coupes de paraffines de 16 μm d'épaisseur,
- 32 plans d'acquisitions différentes (dz de 0,5 μm),
- Un champ de (180x180) μm^2



Geant4

Conclusion

- 1) Validation des codes de calculs MCNPX et Geant4 pour la microdosimétrie,
- 2) MCNPX ne permet pas de réaliser des calculs microdosimétriques avec des voxels inférieures à 1 μm ,
- 3) Geant4 est plus adapté pour utiliser des voxels de petites tailles mais le temps de calcul est nettement plus importants par rapport à MCNPX,
- 4) La microscopie confocale permet une reconstruction plus réaliste du tissu rénal par rapport à la microscopie optique mais la préparation des échantillons est plus complexe

Perspectives

- Cartographie cellulaire de l'uranium au niveau du rein d'un rat
- Calcul microdosimétrique prenant en compte le modèle 3D tissulaire (**cellules cibles**) et la biodistribution de l'uranium (**cellules sources**)
- Quantification des effets biologiques au niveau des cellules du rein (γ H2AX)
- Corrélation des effets biologiques aux calculs microdosimétriques

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE



Merci pour votre attention !