

Simulation Monte Carlo et mesures expérimentales par fibre optique scintillante pour le calcul de dose des examens scanographiques

Pierre Gillet , Zlad El-bitar, Mélodie Munier

33èmes journées des LARD, Besançon

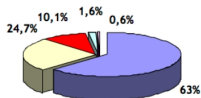
13 Octobre 2016



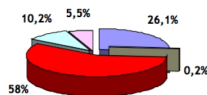
- 1 Problématique
 - Dosimétrie CT
 - Présentation du détecteur
- 2 Mesures sur générateur de rayons X
 - Spectrométrie X
 - Validation de la fibre optique
- 3 Mesures sur scanner
 - Spectrométrie
- 4 Conclusion et perspectives
 - Conclusion et perspectives

Dosimétrie CT

Nombre d'actes en 2007
(74,6 millions)



Dose efficace moyenne par habitant en 2007
(1,3 mSv/an/habitant)



■ Radiologie conventionnelle
■ Radiologie dentaire
■ Scanographie

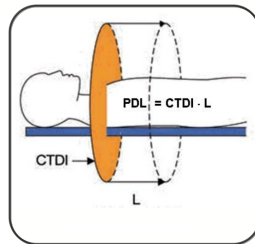
■ Médecine nucléaire
■ Radiologie interventionnelle diagnostique

Données IRSN

Type d'examen	Dose effective
Tête	2mSv
Colon	6mSv
Abdo et Pelvis	10mSv

Dosimétrie CT

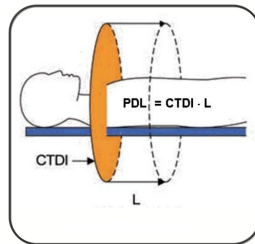
Le Computed Tomography Dose Index est l'une des grandeurs standard utilisées pour déterminer la dose reçue par le patient lors d'un examen. Il indique la dose moyenne dans une "tranche" du patient.



Source:IRA / HECVSanté TRM – Décembre 2008

Dosimétrie CT

Le Computed Tomography Dose Index est l'une des grandeurs standard utilisées pour déterminer la dose reçue par le patient lors d'un examen. Il indique la dose moyenne dans une "tranche" du patient.



Source:IRA / HECVSanté TRM – Décembre 2008

On définit également le Dose Length Product pour représenter la dose globale.

$$DLP = CTDI \times \text{Longueur}$$

Mesure du CTDI

- Le CTDI est mesuré à partir de 5 mesures dans un fantôme en plastique correspondant à un patient type.
- Fantôme tête : diamètre 16cm.
- Fantôme corps : diamètre 32cm.



Mesure du CTDI

- Le CTDI est mesuré à partir de 5 mesures dans un fantôme en plastique correspondant à un patient type.
- Fantôme tête : diamètre 16cm.
- Fantôme corps : diamètre 32cm.



Limite du CTDI

Le CTDI ne prend pas en compte tous les paramètres !

Le CTDI est calculé en fonction de :

- La tension
- L'intensité
- La vitesse de rotation du scanner
- La vitesse de déplacement de la table

On observe un écart de la dose pouvant dépasser 60%. ¹
Cette différence est liée à la morphologie du patient et au type de protocole choisi.

¹Radiation dose associated with common computed tomography examinations and the associated lifetime attributable risk of cancer, Smith-Bindman et al.

- 1 Problématique
 - Dosimétrie CT
 - Présentation du détecteur
- 2 Mesures sur générateur de rayons X
 - Spectrométrie X
 - Validation de la fibre optique
- 3 Mesures sur scanner
 - Spectrométrie
- 4 Conclusion et perspectives
 - Conclusion et perspectives

Problématique de la thèse

FiberMetriX a mis au point un détecteur à base de fibre scintillante pour la dosimétrie patient dans un scanner. Un brevet technique ² et un brevet sur l'application scanner ont été déposés.



² Munier M, Sohier T, Jung JM, Torres M, Barillon R. Method for determining the irradiation dose deposited in a scintillator by ionising radiation and associated device. WO2013060745(A1) , date de priorité 24/10/2011, publication internationale 02.05.2013 ; US9244178(B2) , délivrance 26.01.2016.

Problématique de la thèse

FiberMetriX a mis au point un détecteur à base de fibre scintillante pour la dosimétrie patient dans un scanner. Un brevet technique ² et un brevet sur l'application scanner ont été déposés.

- Le détecteur est constitué d'une fibre scintillante de la longueur du lit, reliée à 2 photomultiplicateurs et à une carte électronique.



² Munier M, Sohier T, Jung JM, Torres M, Barillon R. Method for determining the irradiation dose deposited in a scintillator by ionising radiation and associated device. WO2013060745(A1) , date de priorité 24/10/2011, publication internationale 02.05.2013 ; US9244178(B2) , délivrance 26.01.2016.

Problématique de la thèse

FiberMetriX a mis au point un détecteur à base de fibre scintillante pour la dosimétrie patient dans un scanner. Un brevet technique ² et un brevet sur l'application scanner ont été déposés.

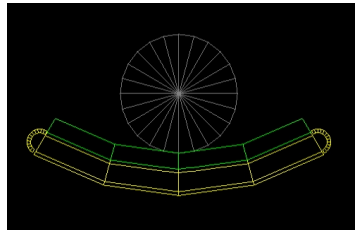
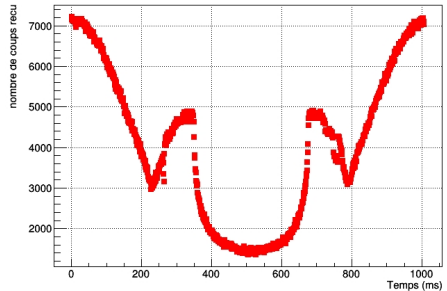
- Le détecteur est constitué d'une fibre scintillante de la longueur du lit, reliée à 2 photomultiplicateurs et à une carte électronique.
- La fibre est positionnée au contact du patient et permet une acquisition en temps réel durant le scanner.



² Munier M, Sohier T, Jung JM, Torres M, Barillon R. Method for determining the irradiation dose deposited in a scintillator by ionising radiation and associated device. WO2013060745(A1) , date de priorité 24/10/2011, publication internationale 02.05.2013 ; US9244178(B2) , délivrance 26.01.2016.

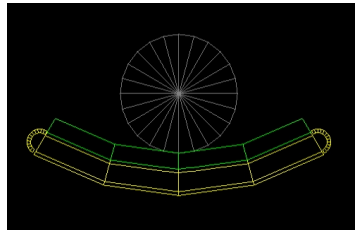
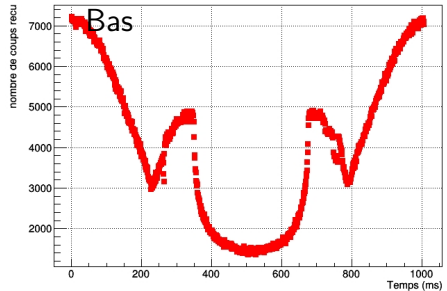
Problématique de la thèse

- L'acquisition est réalisée en temps réel durant l'irradiation.



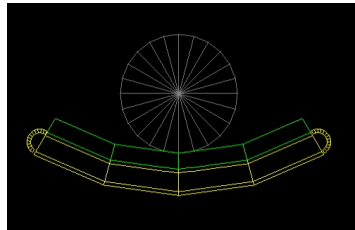
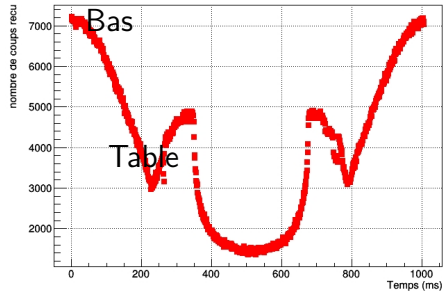
Problématique de la thèse

- L'acquisition est réalisée en temps réel durant l'irradiation.



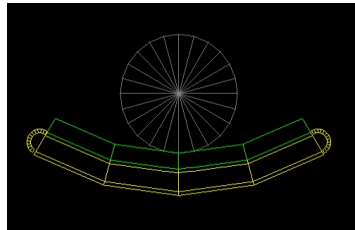
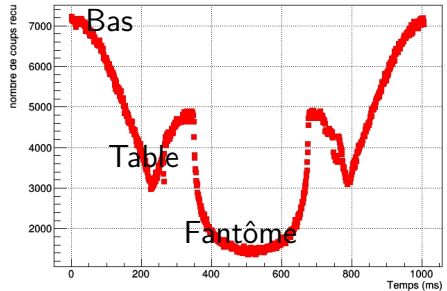
Problématique de la thèse

- L'acquisition est réalisée en temps réel durant l'irradiation.



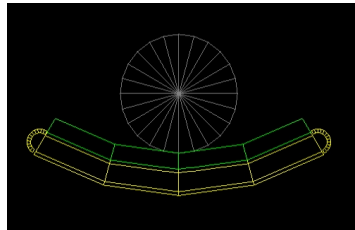
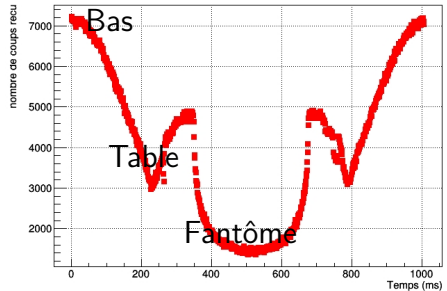
Problématique de la thèse

- L'acquisition est réalisée en temps réel durant l'irradiation.



Problématique de la thèse

- L'acquisition est réalisée en temps réel durant l'irradiation.
- L'objectif est de déterminer la dose reçue et les indicateurs dosimétriques à partir du signal mesuré sous le matelas.



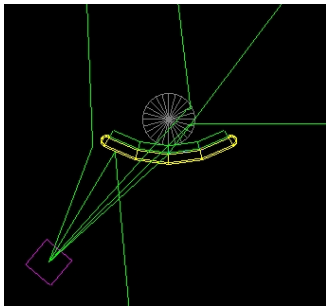
Problématique de la thèse

On veut pouvoir valider le système de mesure.

Il n'existe pas de système de mesure équivalent à prendre en référence, on utilise donc GATE pour simuler les acquisitions scanner par méthode Monte Carlo.

GATE :

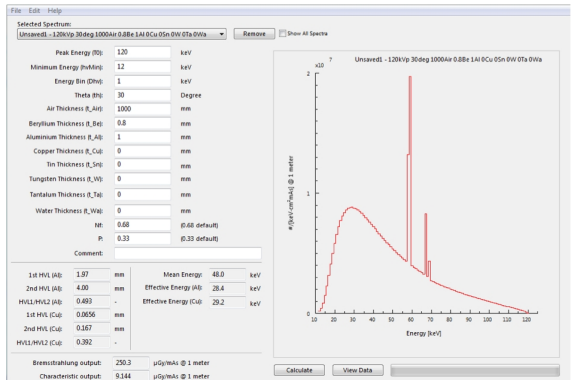
- Code Monte Carlo dédié à la physique médicale.
- Utilise la physique de Geant4.
- Mes simulations sont faites avec la physics list EMLivermore.



- 1 Problématique
 - Dosimétrie CT
 - Présentation du détecteur
- 2 Mesures sur générateur de rayons X
 - Spectrométrie X
 - Validation de la fibre optique
- 3 Mesures sur scanner
 - Spectrométrie
- 4 Conclusion et perspectives
 - Conclusion et perspectives

Permet la génération de spectres X en sortie d'un tube RX avec en paramètre :

- La tension jusqu'à 300 keV.
- L'angle de l'anode.
- La filtration.



Amptek CR-100 CdTe

- Permet l'acquisition de spectre X.
- Présente une résolution en énergie inférieure à 1%.
- Utilise un cristal CdTe de 3mm x 3mm x 1mm.



Mesure du spectre sur un générateur de RX

- Le générateur X permet d'avoir une première validation sur un système simple et maîtrisé avant de passer au scanner.



Mesure du spectre sur un générateur de RX

- Le générateur X permet d'avoir une première validation sur un système simple et maîtrisé avant de passer au scanner.
- Le spectromètre est testé sur un générateur de rayons X autoprotégé Faxitron CP-160.



Mesure du spectre sur un générateur de RX

- Le générateur X permet d'avoir une première validation sur un système simple et maîtrisé avant de passer au scanner.
- Le spectromètre est testé sur un générateur de rayons X autoprotégé Faxitron CP-160.
- Le spectromètre est placé directement dans le faisceau.

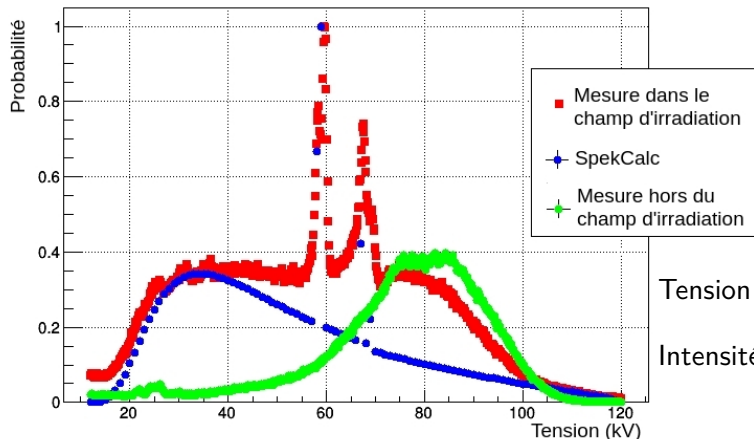


Mesure du spectre sur un générateur de RX

- Le générateur X permet d'avoir une première validation sur un système simple et maîtrisé avant de passer au scanner.
- Le spectromètre est testé sur un générateur de rayons X autoprotégé Faxitron CP-160.
- Le spectromètre est placé directement dans le faisceau.
- Le flux est limité par un collimateur en tungstène d'une épaisseur de 2 mm pour une ouverture de 1mm.



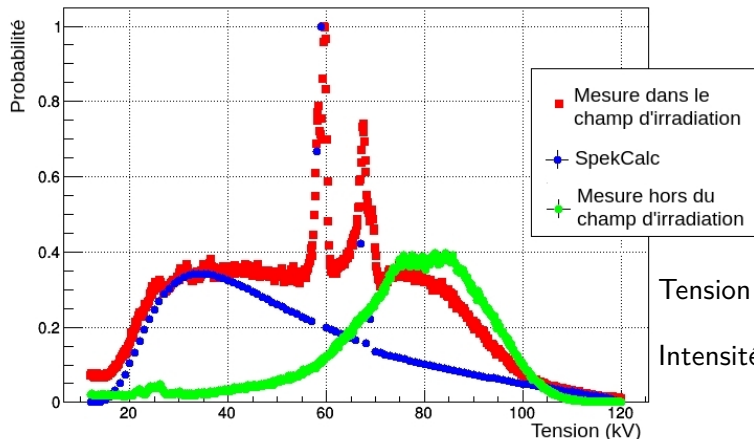
Mesure du spectre sur un générateur de RX



Tension : 120 kV

Intensité : 2 mA

Mesure du spectre sur un générateur de RX



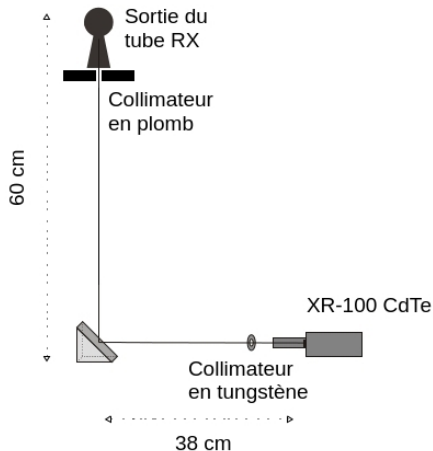
Tension : 120 kV

Intensité : 2 mA

Cause du rayonnement de haute énergie

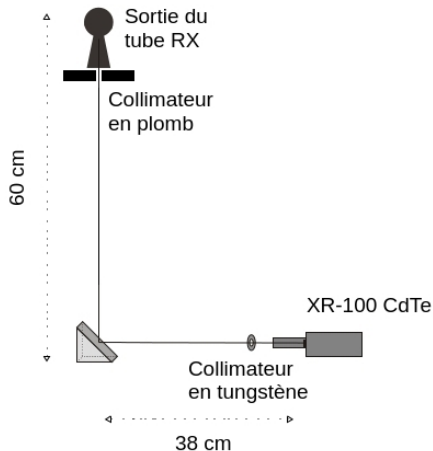
Le rayonnement diffusé par les protections en plomb empêche une acquisition correcte du spectre primaire !

Mesure du rayonnement Compton à 90°



- L'utilisation d'une cible en graphite permet de diminuer le flux de RX au niveau du spectromètre (Z faible) sans ajouter de raies X.

Mesure du rayonnement Compton à 90°



- L'utilisation d'une cible en graphite permet de diminuer le flux de RX au niveau du spectromètre (Z faible) sans ajouter de raies X.
- La collimation permet de diminuer le rayonnement diffusé.

Mesure du rayonnement Compton à 90°

Il faut ensuite appliquer plusieurs corrections sur le spectre X^3 :

³Monte Carlo simulation of a computed tomography x-ray tube,
M.Bazalova et F, Verhaegen.

Mesure du rayonnement Compton à 90°

Il faut ensuite appliquer plusieurs corrections sur le spectre X ³:

- Une correction sur l'énergie liée à la diffusion des rayons X à 90° .

³Monte Carlo simulation of a computed tomography x-ray tube,
M.Bazalova et F, Verhaegen.

Mesure du rayonnement Compton à 90°

Il faut ensuite appliquer plusieurs corrections sur le spectre X ³:

- Une correction sur l'énergie liée à la diffusion des rayons X à 90° .
- Une correction sur l'intensité liée à la probabilité de diffusion des rayons X.

³Monte Carlo simulation of a computed tomography x-ray tube, M.Bazalova et F, Verhaegen.

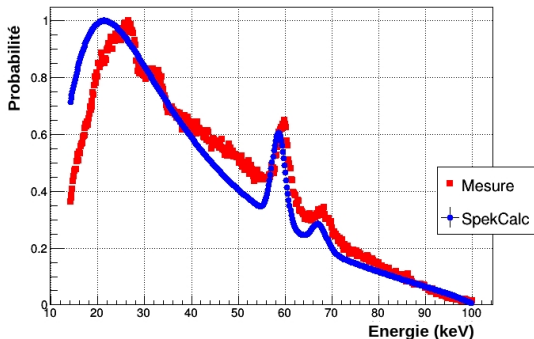
Mesure du rayonnement Compton à 90°

Il faut ensuite appliquer plusieurs corrections sur le spectre X³:

- Une correction sur l'énergie liée à la diffusion des rayons X à 90° .
- Une correction sur l'intensité liée à la probabilité de diffusion des rayons X.
- Une correction sur l'intensité des raies du tungstène, liée à l'interaction des rayons X avec les électrons dans le graphite qui ne sont pas complètement au repos.

³Monte Carlo simulation of a computed tomography x-ray tube, M.Bazalova et F, Verhaegen.

Mesure du rayonnement Compton à 90°



Tension : 100 kV

Intensité : 2 mA

Conclusion

Cette méthode de mesure est validée et pourra être utilisée sur un scanner.

- 1 Problématique
 - Dosimétrie CT
 - Présentation du détecteur
- 2 Mesures sur générateur de rayons X
 - Spectrométrie X
 - Validation de la fibre optique
- 3 Mesures sur scanner
 - Spectrométrie
- 4 Conclusion et perspectives
 - Conclusion et perspectives

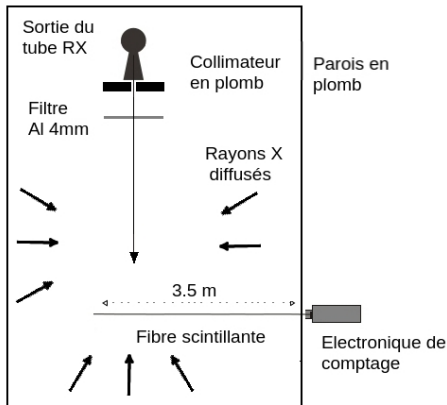
Réponse en énergie de la fibre scintillante

- L'irradiation est faite dans le générateur de RX.
- On irradie la fibre avec des faisceaux allant de 60 kV à 140 kV.
- le faisceau est filtré par 4mm d'Aluminium.

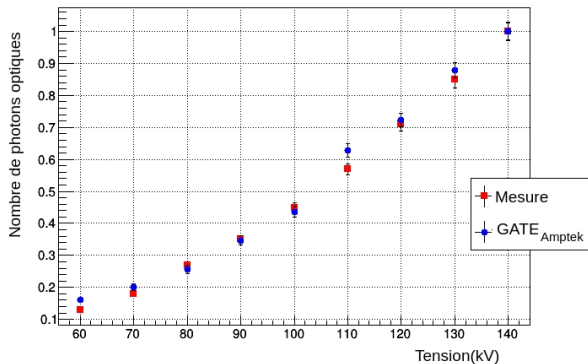


Mesure du rayonnement diffusé

- On utilise un collimateur en plomb pour limiter la taille du faisceau.
- La fibre est irradiée par le spectre primaire et le rayonnement diffusé.
- On utilise le spectre Amptek qui inclut le rayonnement diffusé pour la simulation.
- Les protections en plomb ne sont pas modélisées.



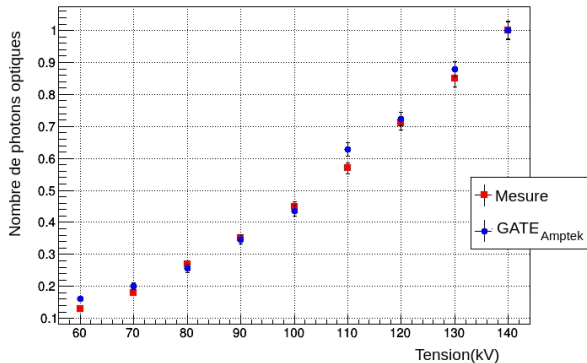
Réponse en énergie de la fibre scintillante



Tension : 60 kV à
140 kV

Intensité : 7 mA

Réponse en énergie de la fibre scintillante



Tension : 60 kV à
140 kV

Intensité : 7 mA

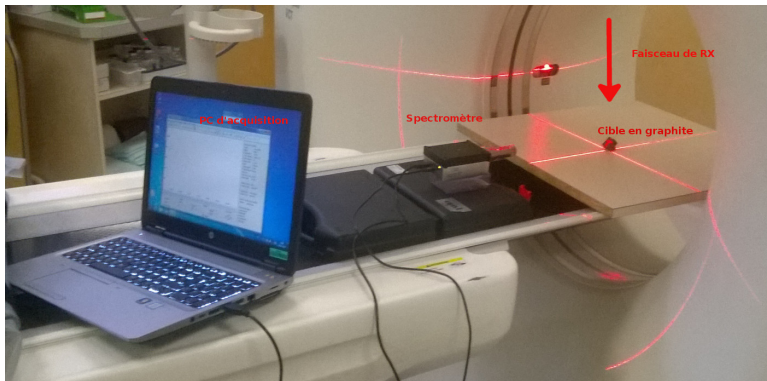
Conclusion

La simulation a reproduit fidèlement la réponse de la fibre.

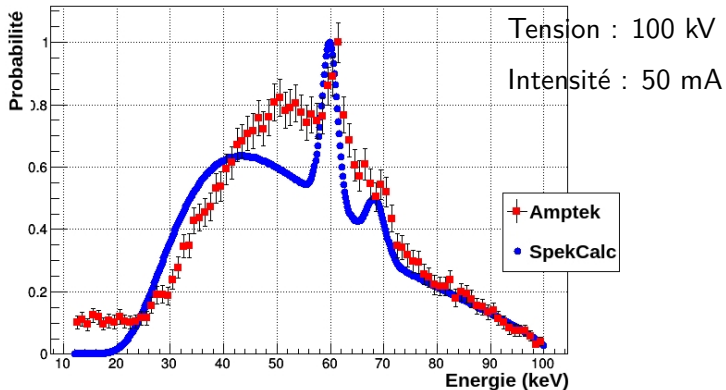
- 1 Problématique
 - Dosimétrie CT
 - Présentation du détecteur
- 2 Mesures sur générateur de rayons X
 - Spectrométrie X
 - Validation de la fibre optique
- 3 Mesures sur scanner
 - Spectrométrie
- 4 Conclusion et perspectives
 - Conclusion et perspectives

Mesure du rayonnement Compton à 90° dans un scanner

- La mesure est réalisée sur un scanner GE lightspeed.
- Le scanner est utilisé en irradiation fixe, en gardant le tube en haut.



Mesure du rayonnement Compton à 90° dans un scanner



Conclusion

On a maintenant un spectre scanner utilisable en simulation.

- 1 Problématique
 - Dosimétrie CT
 - Présentation du détecteur
- 2 Mesures sur générateur de rayons X
 - Spectrométrie X
 - Validation de la fibre optique
- 3 Mesures sur scanner
 - Spectrométrie
- 4 Conclusion et perspectives
 - Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

- Nous avons une méthode fiable permettant d'obtenir le spectre d'un scanner.
- Le détecteur est correctement modélisé.
- Le détecteur est installé au centre Paul Strauss, à Strasbourg, et fournit des données patient. Il sera bientôt installé dans d'autre centre et sur différents modèles de scanner.
- Il reste à passer des grandeurs relatives aux grandeurs absolues.
- A terme, on cherchera à calculer la dose aux organes.