

Retour d'expérience du générateur X de PAVIRMA

2 juillet 2013

BOUTIN Benjamin, GAUTIER Michaël, MONTAROU Gérard, PAUNA Nicoleta,
SALMON Rémy

Laboratoire de Physique Corpusculaire de Clermont-Ferrand, AVIRM



Laboratoire de Physique Corpusculaire
de Clermont-Ferrand

IN2P3

INSTITUT NATIONAL DE PHYSIQUE NUCLÉAIRE
ET DE PHYSIQUE DES PARTICULES

Matériel à disposition

Générateur rayon X

Générateur de rayon X PXI X-RAD 320

- Générateur de haute tension Titan isovolt 320
- Tube COMET MXR 321
 - Tension nominal 320 kV
 - Intensité nominal 16 mA @ 250 kV
 - Faisceau homogène à 5 % @ 50 cm foyer/détecteur
 - Taille cabine 70 x 70 x 80 cm³
 - Refroidissement par circulation d'eau

Problème

Gros manque d'information à propos des capacités de l'appareil

- Pas de spectre énergétique fourni
- Pas de calibration initiale
- Peu de données sur la géométrie du tube

Malgré les nombreuses relances



Générateur X de PAVIRMA

Matériel à disposition

Chaîne d'acquisition

- Chambre d'ionisation Semiflex PTW 31013 0,3 cm³
 - Dédié aux énergies moyennes
 - Électrons et photons
- Electromètre Unidos E
 - Utilisé avec une polarisation de 400 V
- Ensemble livré calibré par PTW pour des mesures dans l'air (Free in air) et dans l'eau pour 70, 100, 150, 200, 250 keV et Co⁶⁰
- Cuve à eau de 30 x 30 x 40 cm³ (créer par le service méca du LPC)
- 2 collimateurs circulaire (9 cm et 2 cm de diamètre)

Biologie

Nécessaire pour culture cellulaire disponible sur place

- 2 microscopes
- Hotte aspirante
- Centrifugeuse



Chambre ionisation



Electromètre

Attente des biologistes

Dose dans les divers échantillons biologiques

• Souris, boîte de Pétri, ...

Sur support de PMMA

Stable et reproductible dans le temps

Calibration via le
protocole TRS 277

Difficulté

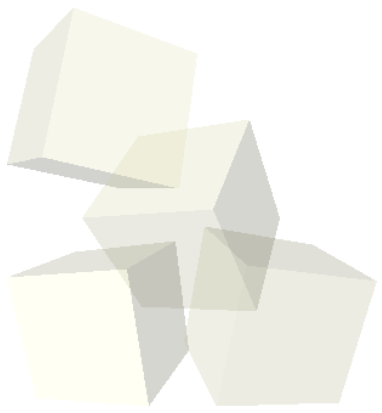
Pas d'idée du spectre

Étalonnage disponible seulement dans des cas standard (free in air et eau)

Solutions mise en place

Retrouver le spectre par simulation

Connaître l'écart entre condition standard et nos cas particuliers



Utilisation de 2 logiciels

Spekcalc

Logiciel capable de donner une approximation du spectre

énergétique grâce à des considérations géométrique du tube

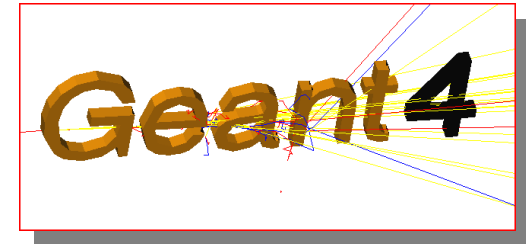
· « *SpekCalc: a program to calculate photon spectra from tungsten anode x-ray tubes* G. Poludniowski & al. »

Geant4

Logiciel MonteCarlo de simulation de trace

· Version 9.4.5.p02

· PhysicsList « Standart _ Option3 »

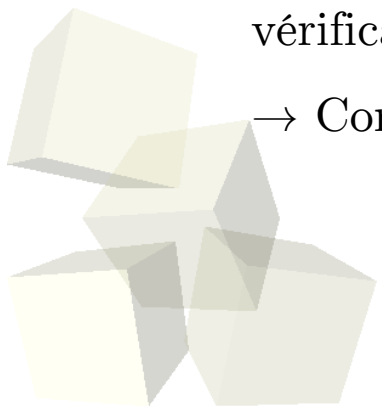


Méthodologie

Génération d'un spectre énergétique via Spekcalc →

vérification via la simulation de la CDA grâce à GEANT4

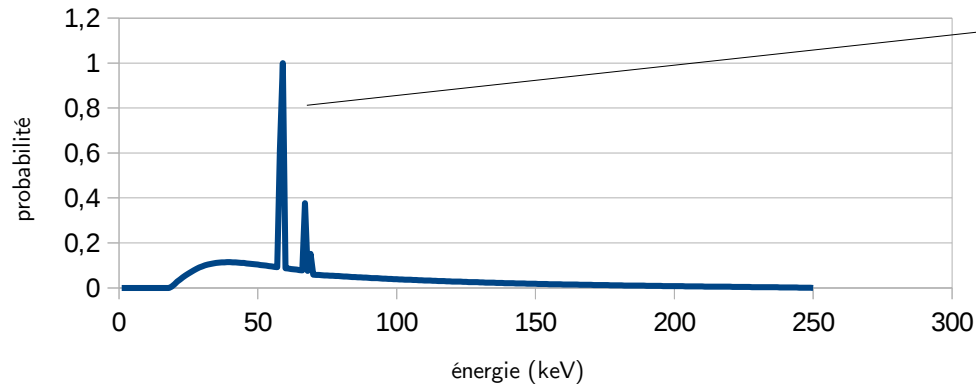
→ Comparaison avec la mesure de la CDA



Mesure de la CDA et validation du spectre énergétique (2)

Spectre énergétique

tension 250 kV



Spectre issu de Spekcalc 250 kV

Injection du spectre

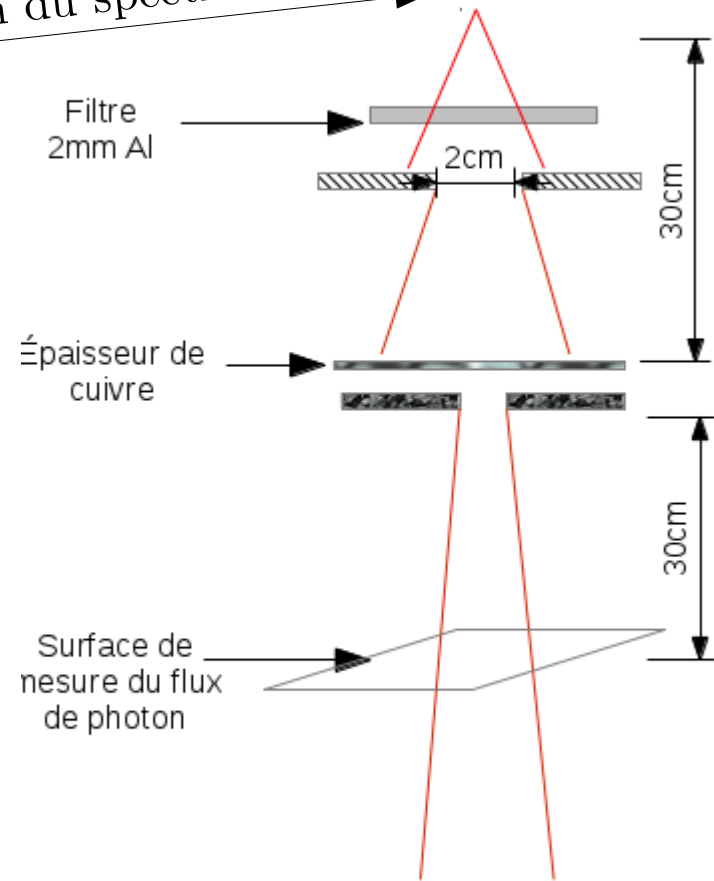
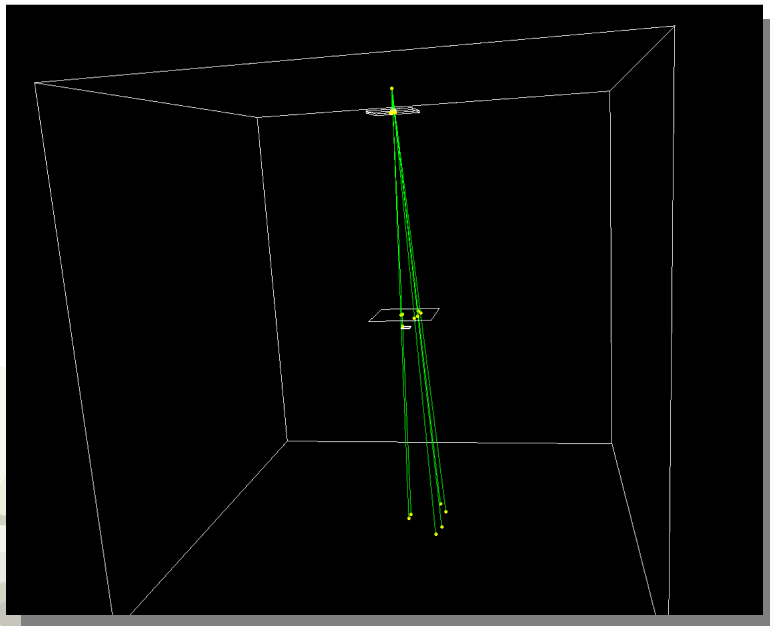


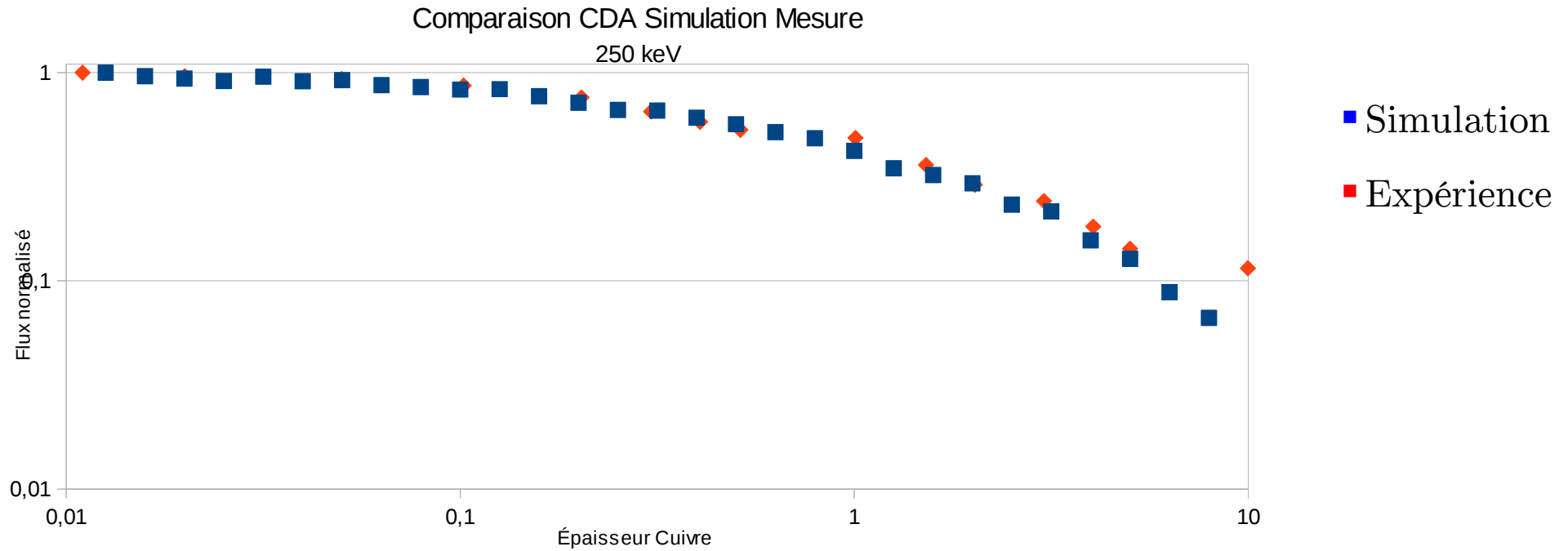
Schéma système mesure CDA



Simulation via GEANT4

Paramètre de l'irradiation
250 kV
15 mA

Mesure de la CDA et validation du spectre énergétique (3)



1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}
0,464	1,922	4,628	8,122

Valeur des 4 premières CDA en mm de cuivre

Bon accord entre la simulation et la mesure → Le spectre fourni par Spekcal est une bonne approximation
Même résultat pour 150 kV

Le protocole TRS277

Dosimétrie dans l'air et l'eau

Condition très particulière, exemple pour le « free in air »

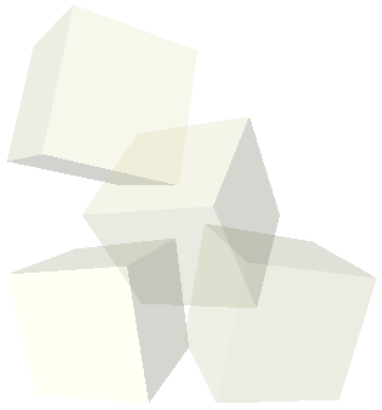
- Distance foyer/détecteur = 1m
- Détecteur totalement entouré d'air

Dans notre cas

Présence d'une couche de PMMA de 3 cm

Nécessite de l'étude du rétro diffusé

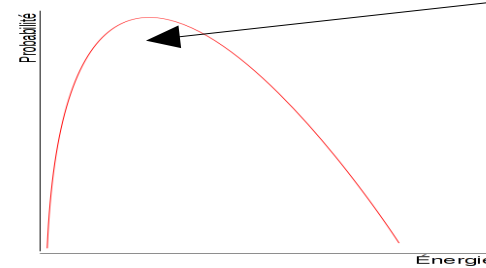
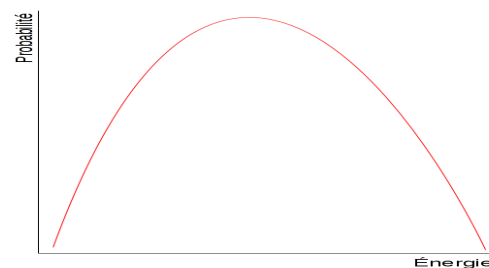
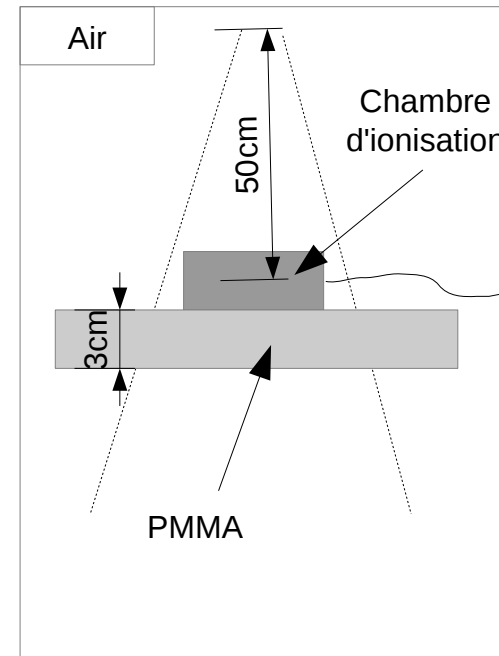
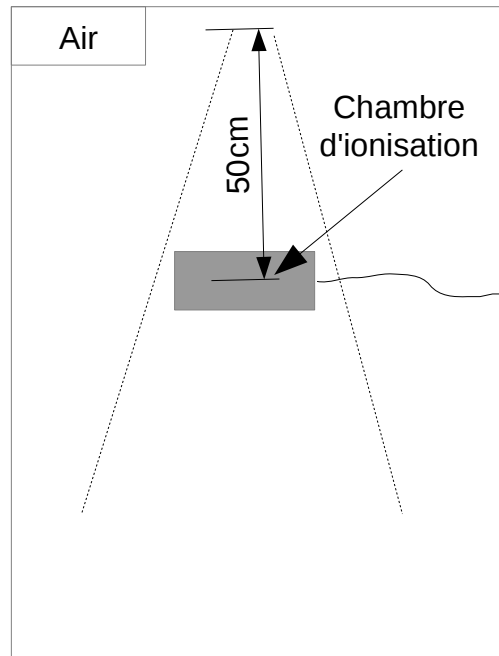
- Ajout d'un facteur β pour modifier le lien nC $\rightarrow$ Gy



Échantillon sur couche de PMMA non équivalent à une mesure « free in air »

Création de rétro-diffusé

Modification du spectre des photons et électrons qui pénètrent la cible



Durcissement du faisceau

Schémas de l'expérience et de la simulation

Doit on modifier le facteur de calibration N_k pour prendre en compte la modification du spectre ?

Pour vérifier, simulation de la mesure dans le vide et avec PMMA → 22,6 % de différence

Dose « free in air »	Dose sur PMMA
392 nGy	490 nGy

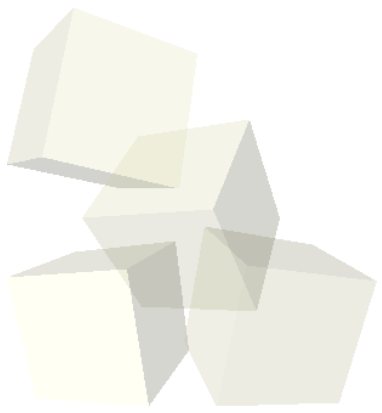
Dose simulée par GEANT4 pour 250 kV, 50 cm FSD

Est-on capable de retrouver cette différence avec une mesure avec la chambre d'ionisation ?

Sur bloc de PMMA	$\frac{88,85nC}{490 nGy} = 0,1813$
« Free in air »	$\frac{72,452nC}{392,1nGy} = 0,18478$

Rapport charge mesurée/dose

Pas besoin de modifier le facteur N_k , le rétro-diffusé est vu par la sonde



Ce que l'on peut faire

Point de vue de la simulation

Tout ce qu'il est possible de faire avec GEANT4

Point de vu expérimentale

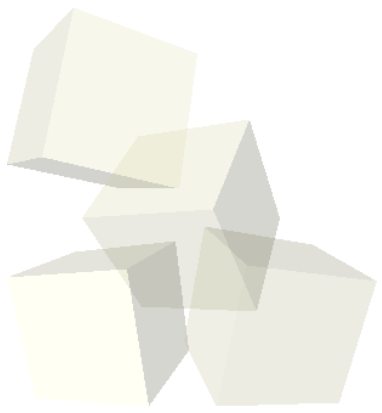
Mesure de la dose dans l'air à 50 cm FSD sur une plaque de 3 cm de PMMA en appliquant le protocole TRS277

· Pour 250 kV et 15 mA → **3,3 Gy.min⁻¹**

· Précision de 5 %

Ce que l'on ne peut pas faire

Donner la dose absorbé par le milieu biologique



Essai de comparaison entre les deux plate-forme

Éléments commun

- Même appareil
- Même chaîne de calibration
- Même configuration géométrique
- Même collimateur (dans un second temps)
- Même épaisseur de PMMA (4 cm)

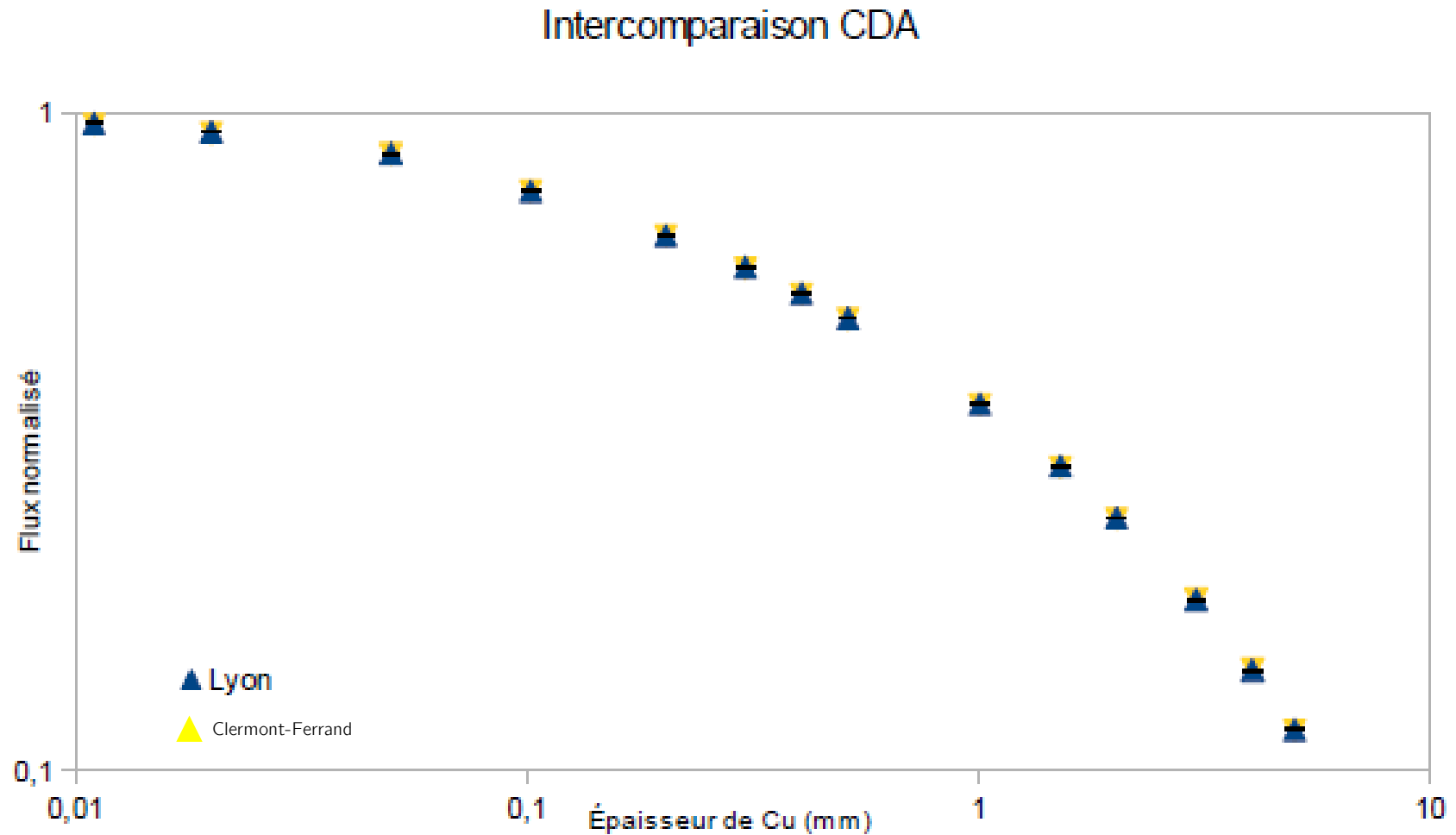
Éléments différent

- Refroidissement air vs refroidissement eau
- Collimateur différent (dans un premier temps)

Choix de l'élément de comparaison

CDA

- Mesure indirect de la forme du spectre
- Permet l'utilisation du protocole TRS 277 (permet de savoir quel facteur de calibration il faut utiliser)
- Cuve à eau non encore construite



Comparaison Lyon /Clermont-Ferrand 250 kV, 15 mA

CDA similaire, possibilité d'utilisé la même chaîne de calibration pour les deux plate-formes

Peut on considérer que les irradiations sont équivalentes ???

Cas du collimateur variable

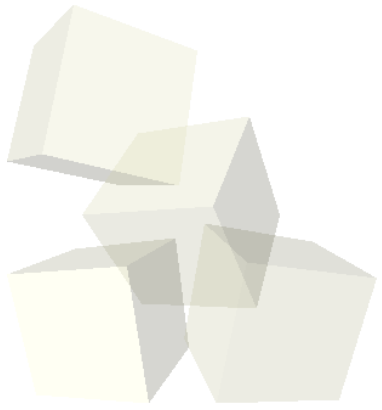
Lyon → collimateur variable

1^{er} test avec le collimateur variable à Lyon et fixe à Clermont-Ferrand

- Les deux ont une ouverture de $10 \times 10 \text{ cm}^2$
- Différence de dose de 28 % toutes choses égales par ailleurs

Effet du mécanisme lumineux interne ?

Une grande attention doit être portée sur les conditions d'irradiation



Que peut on mettre en commun ?

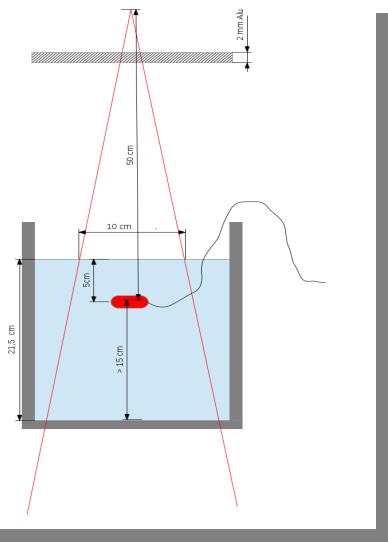
Suivi des appareils

Recueil des différentes erreurs (typiquement surintensité de l'anode et de la cathode dans notre cas)

Suivi de l'évolution des tubes et des chaînes de calibration dans le temps

Pour cela, avoir une expérience commune aux différentes plate-forme

Notre proposition : mesure du rendement en profondeur



A Permet de :
B Vérifier indirectement une modification du spectre d'émission des photons
Faire une mesure du débit de dose dans des conditions reproductible

Possibilité de comparer des expériences sur les différentes plate-forme

Peut on transférer une irradiation d'une plate-forme à une autre facilement ?

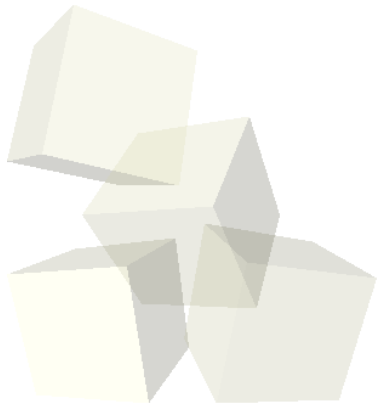


Plate-forme ouverte aux expériences
extérieures (Laboratoires externes,
entreprises)

6 programmes réalisées à ce jour

Équipes de recherche de
Clermont-Ferrand

De 1 Gy à 3000 kGy

Lab Pharmaco/Neurodol/ Université d'Auvergne N. Kerkoove- A. Echalié	Irradiation de 40 souris/ Création de souris chimériques
Labo de photochimie-ICCF. Programme européen. Y. Bras-V. Verney	Irradiation de polymères etudes de leur dégradation
Lab. De Génie chim et biol- Neobiosys	Essai de stérilisation d'un milieu biologique sans altérer les activ. enzym.
Labo de photochimie-ICCF. Programme européen. Y. Bras-V. Verney	Irradiation de polymères etudes de leur dégradation
Equipe CH. White- GReD	Induction de cassures ADN double brins
Equipe PCSV-LPC P. Michaud	Irradiation de cellules cancéreuses
UMR 990-IMSERM Equipe F. Degoul Université d'Auvergne	Irradiations de cellules cancéreuses Analyses des lésions à l'ADN

Liste des irradiations externes