

# Élaboration des protocoles de calibration pour le Xrad320 de la plate-forme PAVIRMA

2 juillet 2013

Équipe AVIRM

BOUTIN Benjamin, GAUTIER Michaël, MONTAROU Gérard, PAUNA Nicoleta

SALMON Rémy

Master 1 Physique et Techniques des Rayonnements ionisants



## Contexte

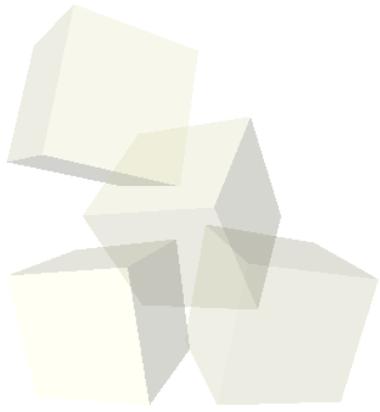
Plate-forme PAVIRMA :

- Étudier les conséquences d'irradiations sur les cibles d'études.  
=> **Qualifier l'irradiation** en terme de dose déposée

Remarque :

- Difficile de déterminer précisément avec une chambre d'ionisation la dose déposée dans ces milieux d'études :

- Détecteur pas étalonné pour ces milieux
- Impossibilité de placer le détecteur dans la cible (souris)
- Couches de matériaux trop fines (boîte de Pétri)



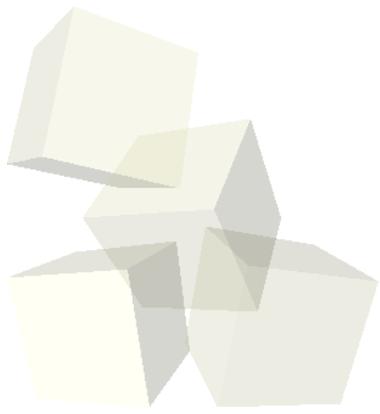
## Contexte

**Estimation** de ce dépôt de dose à l'aide d'une plate-forme de **simulation**

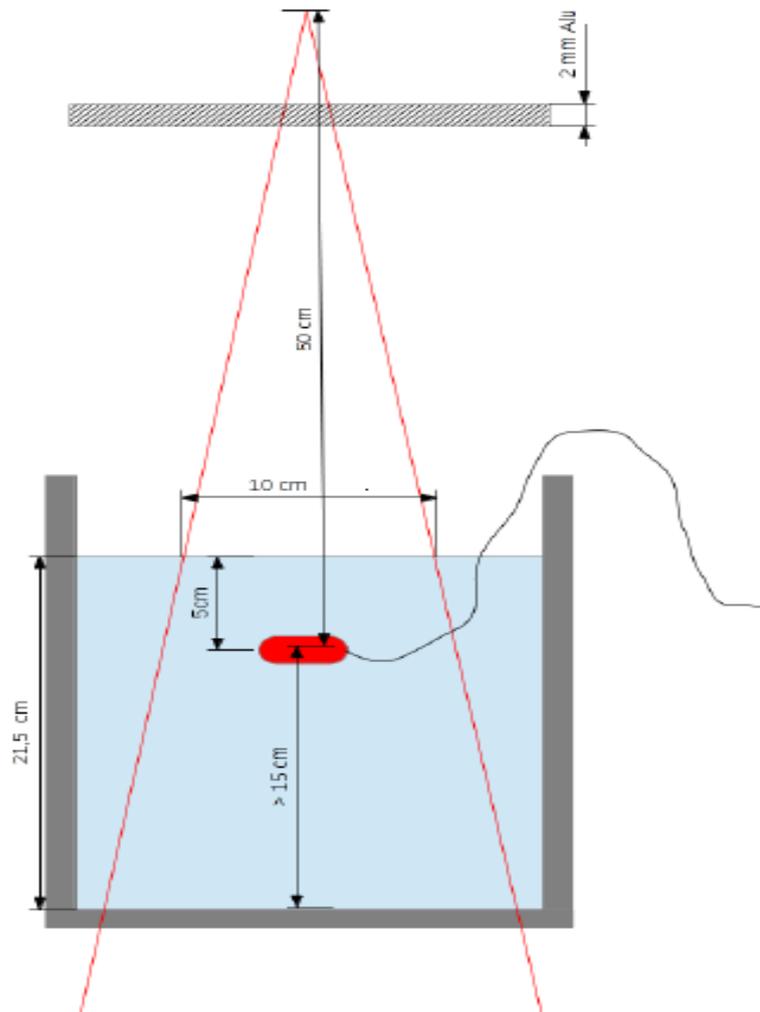
→ 1- **Élaboration** d'un code utilisant la **méthode Monte-Carlo** :



→ 2- **Tester la validité** de ce code par comparaison avec l'expérience (Rendement en profondeur)



## Définition



*Position de la cuve à eau pour la mesure du rendement en profondeur*

La variation de la dose absorbée en fonction de la profondeur du milieu traversé.

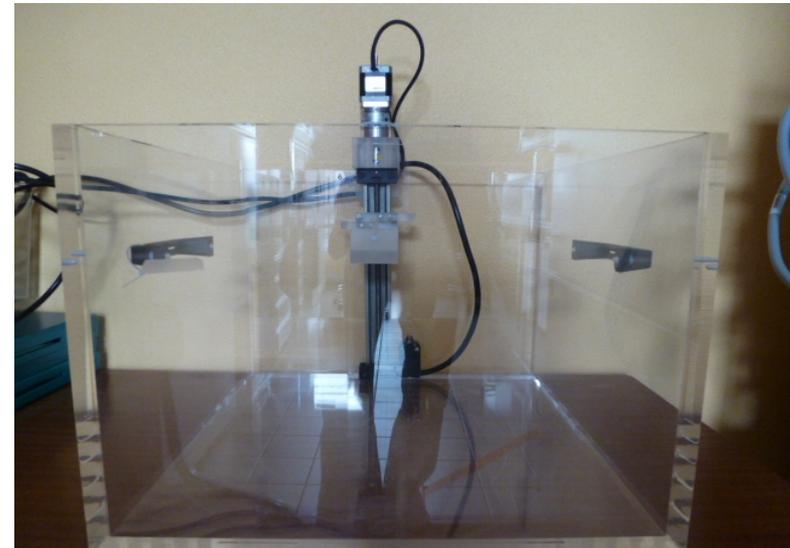
But :

- Vérifier au cours du temps la stabilité du:
- Spectre en énergie des photons
- Couple électromètre / Chambre d'ionisation
- Référence pour un code de simulation

# Rendement en profondeur



- Mesure effectuée pour 4 profondeurs : 0, 2, 5 et 15 cm.
- Pour chaque profondeur la mesure (durée :3 minutes) a été répétée 5 fois.



## Calcul de la Dose : protocole TRS 277

$$D_{water} = M_{corr} N_k k_u \frac{(\mu_{en}/\rho)_{air}}{(\mu_{en}/\rho)_{eau}} P_u$$

$D_{water}$  : Dose dans l'eau à la profondeur  $z$

$M_{corr}$  : Réponse de la Chambre d'ionisation corrigée des conditions atmosphériques

$N_k$  : Facteur d'étalonnage en terme kerma dans l'air par la chambre d'ionisation

$k_u$  : Facteur de correction dû à des différences entre le spectre de calibration et le spectre de mesure

$P_u$  : Facteur de correction des effets, sur le signal, du remplacement de l'eau déplacée par le volume extérieur de la chambre d'ionisation

$\frac{(\mu_{en}/\rho)_{air}}{(\mu_{en}/\rho)_{eau}}$  : Rapport des pouvoirs de ralentissement massiques moyen entre l'air et l'eau

## Résultats expérimentaux

**synthèse** des calculs de dose et incertitudes :

Profondeur (cm)	Dose (Gy)	Incertitude (%)
0	10.99	3.79
2	9.61	3.79
5	5.96	3.79
15	1.06	3.79

Problèmes :

- Incertitudes relative de  $\frac{(\mu_{en}/\rho)_{air}}{(\mu_{en}/\rho)_{eau}}$  : 0
- Valeur de  $P_u$  identique pour tous les calculs.



## Simulation du rendement en profondeur

### Géométrie :

.**Cuve a eau** : 30x30x40 cm

.**Filtre**

.**Énergie** des gamma envoyés suivant le spectre simulé avec SPEKCALC

.**Angle du faisceau simulant le collimateur**

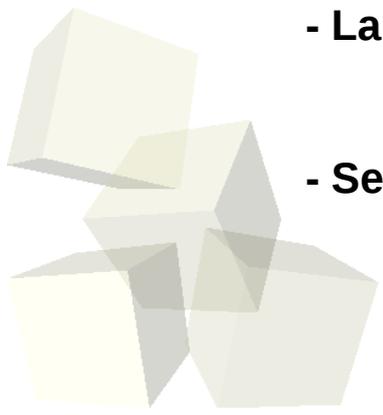
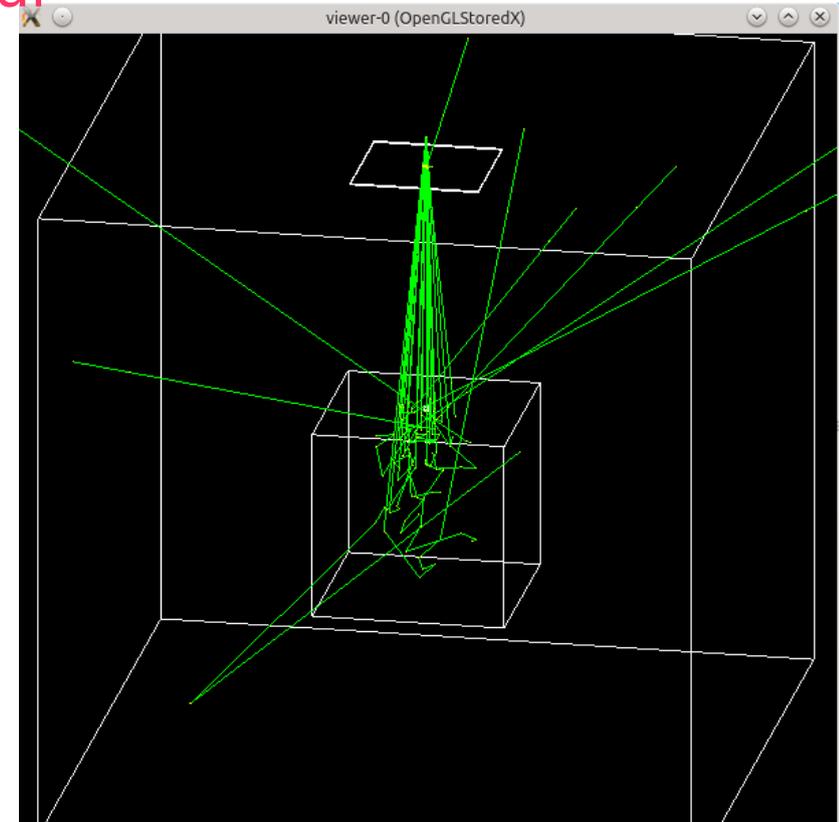
.**Région d'intérêt pour l'estimation de dose** même volume que la chambre

### Processus Physiques simulés :

- **La PhysicsList : G4EMStandardPhysics\_option3.**

Décrit les interactions et le suivi des photons et des électrons de basses énergies.

- **Seuil de coupure : fixé à 100 micromètres** (seuil de coupure des électrons, à partir duquel la particule secondaire n'est pas créée)

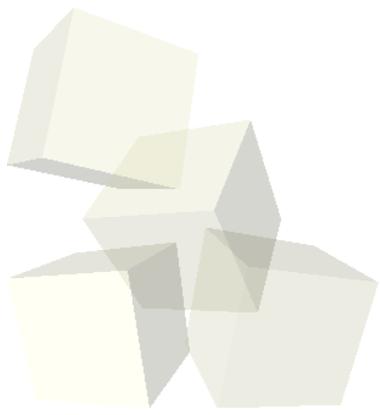


## Résultats

### Simulations du rendement en profondeur avec Geant4 :

- Pour chaque profondeur : 0, 2, 5 et 15 cm
- 100 simulations de 12 millions de photons  
=> statistique suffisante pour calculer la moyenne et l'écart type de la dose déposée.

Profondeur (cm)	Dose moyenne (nanoGy)	Incertitude (%)
0	93,78	1.62
2	76,67	1.57
5	48.67	1.75
15	9.33	4.7



## Méthode

But : Élaboration d'un code de calcul **fiable** et **réaliste** utilisant

Geant4 :

- Simulation du rendement en profondeur
- Comparaison avec les valeurs expérimentales

Comparaison relative de l'évolution de la dose en fonction de la profondeur

Pour la simulation et l'expérience :

- Rapport des doses à différentes profondeurs

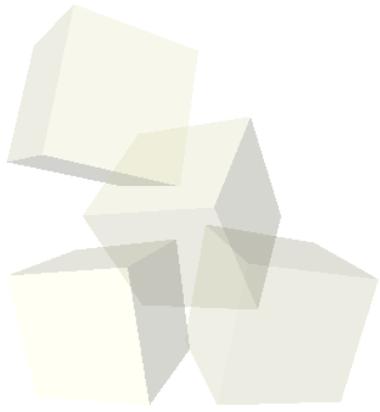
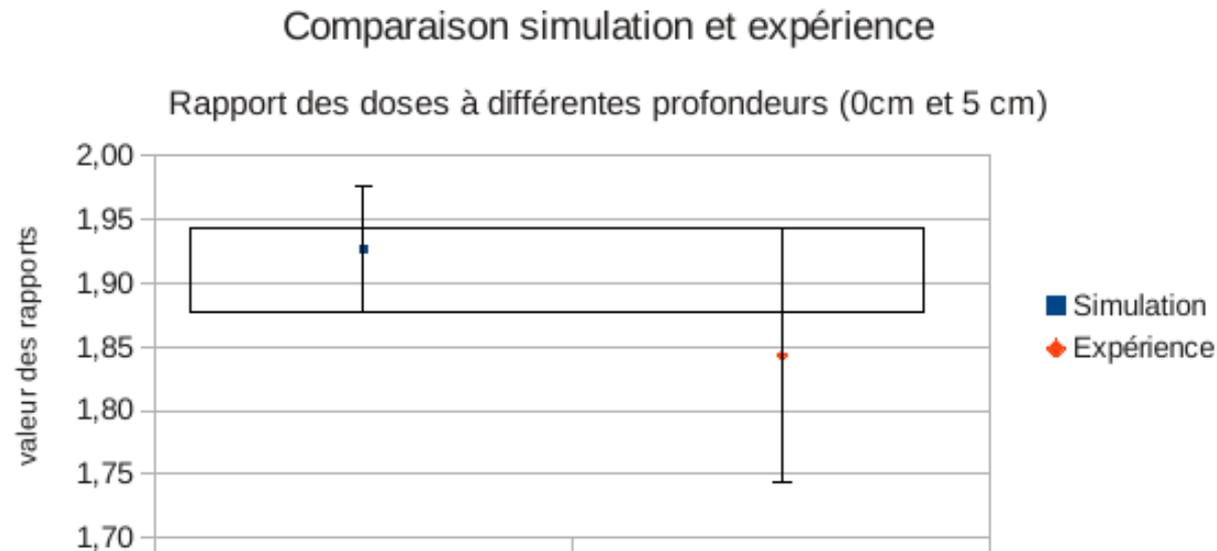


# Comparaison des données simulées et expérimentales

## Méthode

### Méthode des bandes communes :

- Cette méthode permet de **vérifier la concordance** d'une même grandeur physique obtenue par différentes méthodes.
- La vérification est réalisée, s'il existe une zone ou **bande commune** entre ces valeurs comparées.



# Comparaison des données simulées et expérimentales

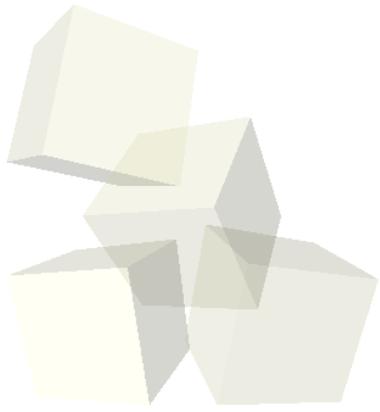
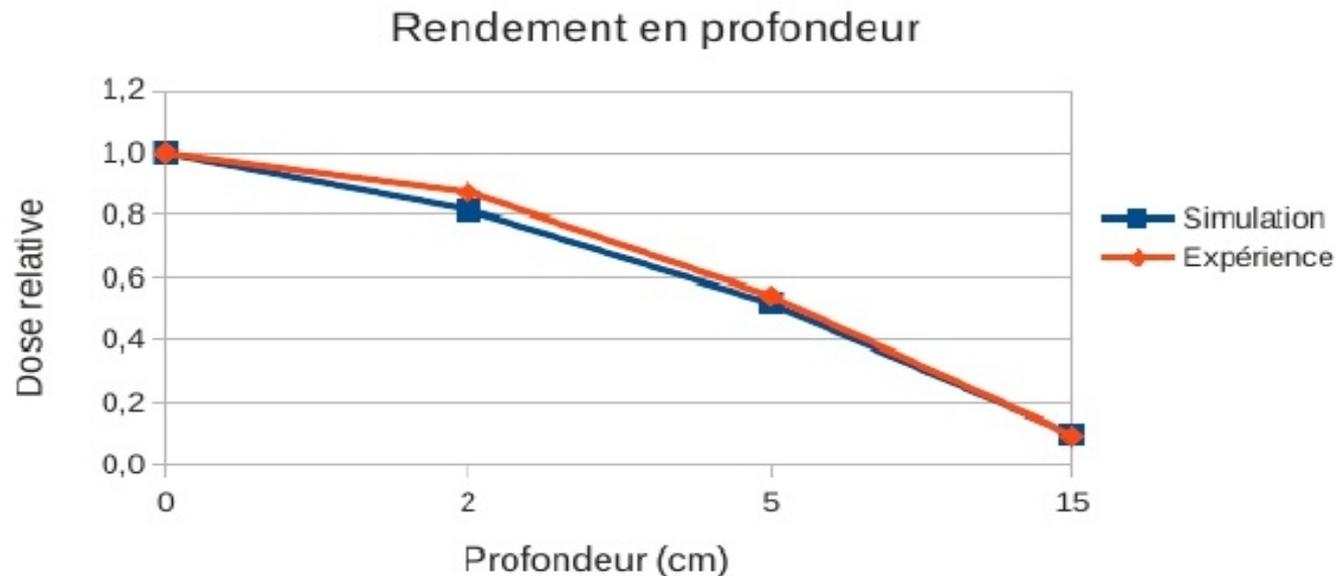
## Résultats

Entre la simulation et l'expérience :

- Pour chaque rapport : **il existe une bande commune**  
**=> Accord entre la dose absorbée simulée et expérimentale.**

Graphiquement, on peut voir cette concordance relative :

→ Normalisation de la distribution de dose à la profondeur 0 cm.



# Comparaison des données simulées et expérimentales

## Résultats

Les résultats préliminaires obtenus montrent la **concordance entre la simulation et l'expérience.**

- Mais** :
- Simulation défini par le nombre de photons envoyés.
  - Irradiation dépend du temps d'irradiation
  - Pour lier la simulation à l'expérience et estimer le dépôt de dose
    - => Estimation du nombre de photons envoyés pendant l'irradiation

Dans les conditions du rendement en **profondeur à 5 cm** (référence) :

Valeur théorique : 12 millions de photons envoyés → 48,67 nGy ± 1,75 %

Valeur expérimentale : 5,96Gy ± 3,79 %

=> pour obtenir la valeur expérimentale de la dose à 5 cm de profondeur :  
**1,47 .10<sup>15</sup> photons**

## Résultats

Incertitude relative sur cette valeur : u

-Calcul par propagations des erreurs (simulation et expérience)

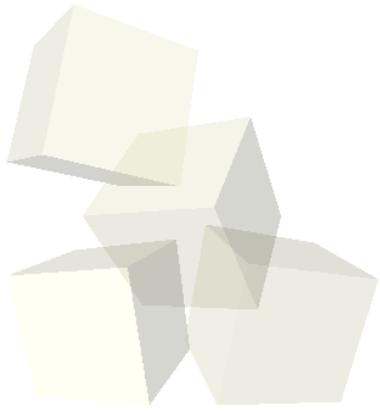
$$u = 4,17 \%$$

Pour une irradiation avec le Xrad 320 de la plate-forme PAVIRMA :

- Tension de 250kV
- Intensité de 15 mA
- Collimateur de 10 cm de diamètre à 50 cm du tube

Débit du tube :  $4,45 \cdot 10^{14}$  photons par minute

Avec une incertitude de 4,17 % sur cette valeur soit  $\pm 1,86 \cdot 10^{13}$ .



Avec les caractéristiques d'irradiation précédemment décrites :

**Le débit de photons par minute est le lien entre la simulation et l'expérimentation.**

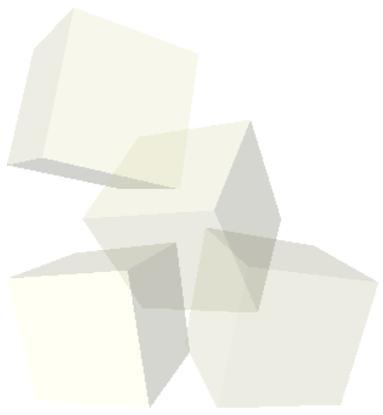
But : - Avoir une idée, la plus précise possible, de la **dose déposée lors d'une irradiation dans la région étudiée.**

A l'inverse :

- **Estimer le temps d'irradiation nécessaire pour une dose voulue dans la région étudiée.**

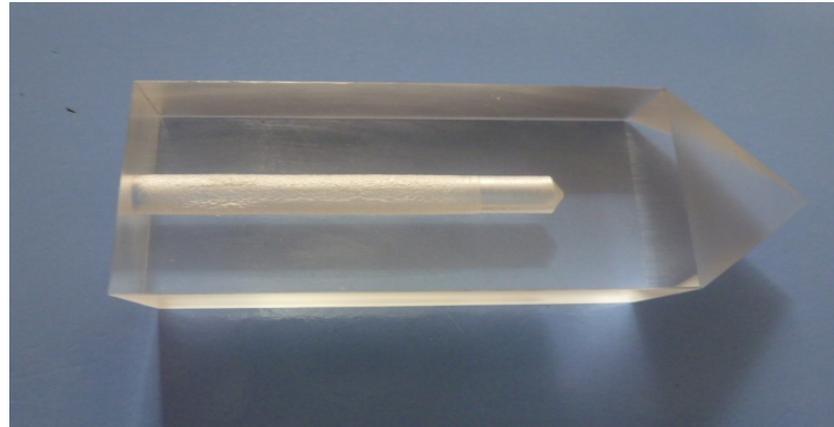
→ **Quantifier les différences entre les différentes plate-forme** du réseau national

→ **Inter-comparaison des résultats d'irradiation** dans des conditions identiques en terme de dose déposée dans la matière



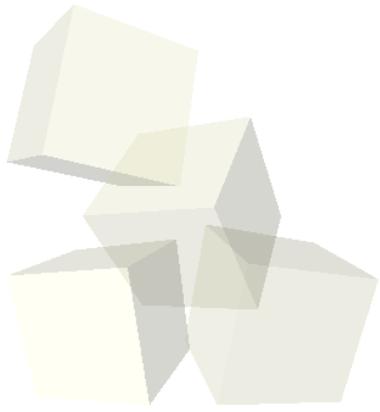
## Sujet d' étude : la souris

- Fantôme simple de souris

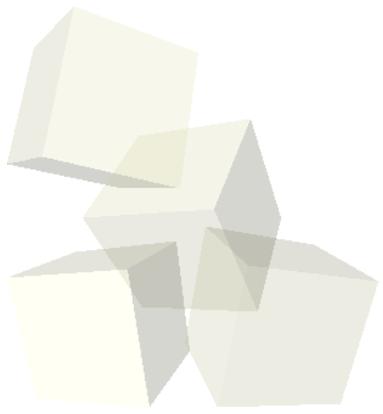


- Irradiation du fantôme à différentes distances du tube

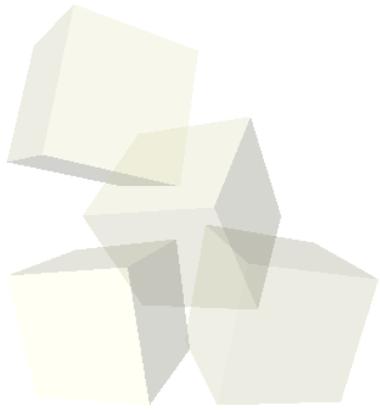
- Simulation de cette expérience et comparaison



Merci de votre attention



- Protocole IAEA TRS 277 (1987)
- Handbook of Oncology (2005)
- Thèse de N.Perrichon, LNHB (2012):
  - Établissement des références nationales, en termes de dose absorbée, par calorimétrie dans l'eau, pour les faisceaux de rayons X de moyenne énergie, applicables en radiothérapie.



## Résultats expérimentaux

Exemple de calculs de dose et **incertitudes** :

Rendement en profondeur		
Calcul de dose et incertitude		
Profondeur (cm) : 5		
	Valeur	Incertitude (%)
M <sub>réel</sub> (nC)	60,15	0,50
K <sub>tp</sub>	1,01	1,41
K <sub>rec</sub>	1,00097	0,01
K <sub>pol</sub>	1,0034	0,29
N <sub>k</sub> (Gy/nC)	0,08654	2,00
K <sub>u</sub>	1,00	2,00
P <sub>u</sub>	1,08	2,00
$\frac{(\mu_{en}/\rho)_{air}}{(\mu_{en}/\rho)_{eau}}$	1,0429	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>5,962</b>	<b>3,79</b>

- Incertitude de l'électromètre prépondérante à l'incertitude statistique => **constante**

- Valeurs et incertitudes constantes car **même conditions d'irradiation**

- Aucune donnée sur l'incertitude

- Incertitudes constantes pour toutes les mesures

# Comparaison des données simulées et expérimentales

## Méthode

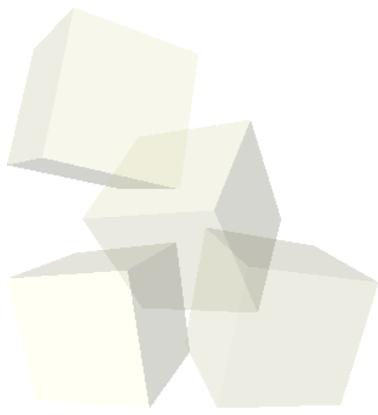
Les différents rapports ont été tabulés :

- **Pour la simulation :**

SIMULATION						
Profondeur (cm)						
Rapport de Dose	2		5		15	
0	1,22	+/- 2,3%	1,93	+/- 2,4%	10,05	+/- 5%
2	X		1,58	+/- 2,4%	8,22	+/- 5%
5			X		5,22	+/- 5%
15					X	

- **Pour l'expérience :**

MESURES EXPERIMENTALES						
Profondeur (cm)						
Rapport de Dose	2		5		15	
0	1,14	+/- 5,4%	1,84	+/- 5,4%	10,33	+/- 5,4%
2	X		1,61	+/- 5,4%	9,03	+/- 5,4%
5			X		5,60	+/- 5,4%
15					X	



## Résultats

Entre la simulation et l'expérience :

- Pour chaque rapport : **il existe une bande commune**  
**=> il y a « concordance » entre simulation et expérimentation**

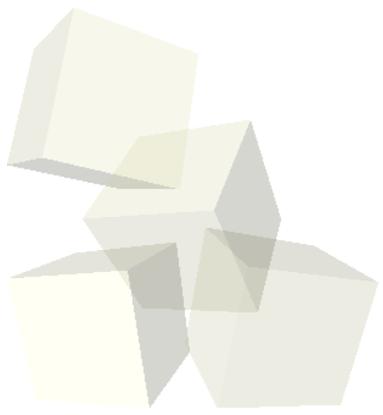
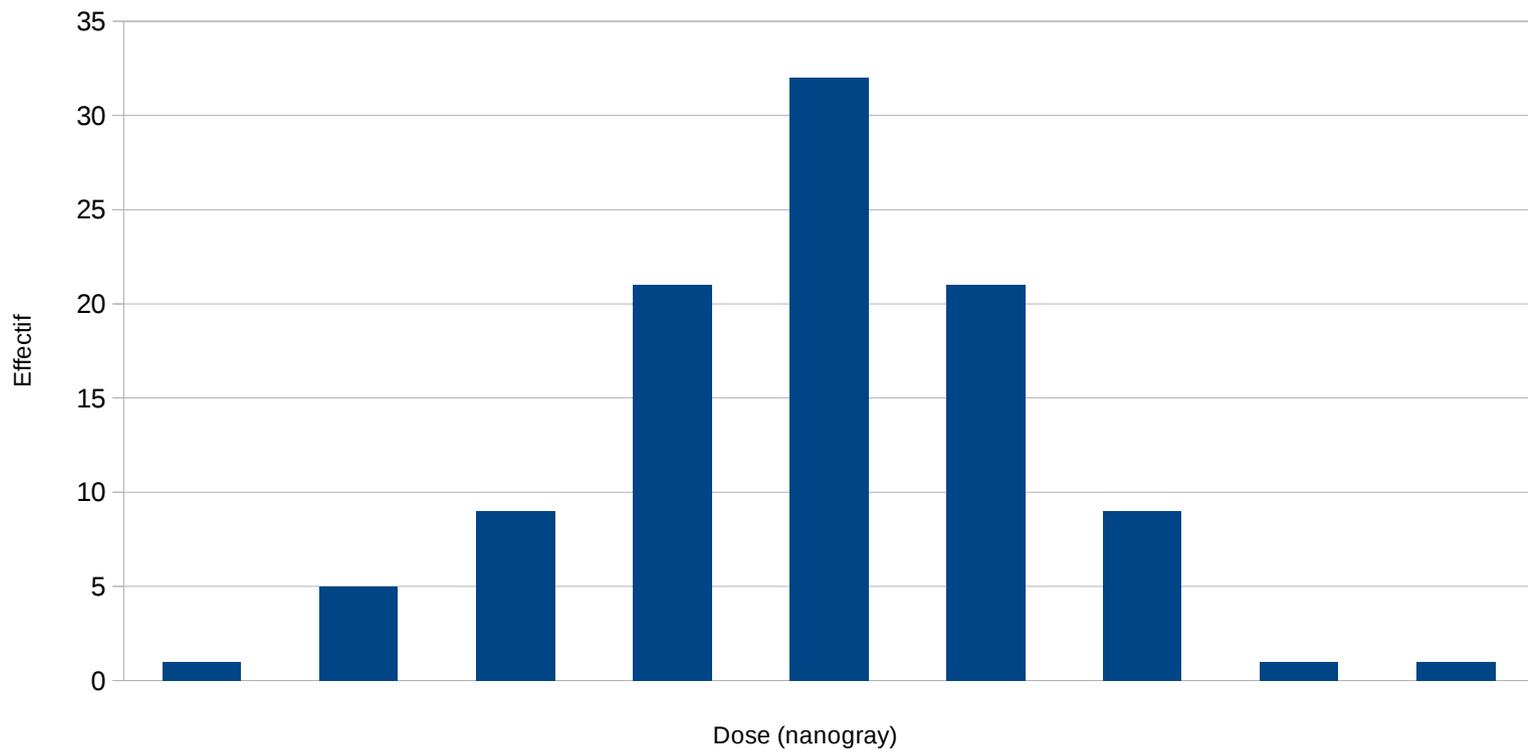
Quantification de la bande commune :

→ Calcul du rapport bande commune / intervalle total

Rapports de profondeurs	Rapport bande commune / intervalle totale (%)
0/2	5,88
0/5	25
0/15	55,9
2/5	44,4
2/15	5,26
5/15	19,14

# Exemple de représentation graphique des simulations

Histogramme de fréquence pour 5cm de profondeur

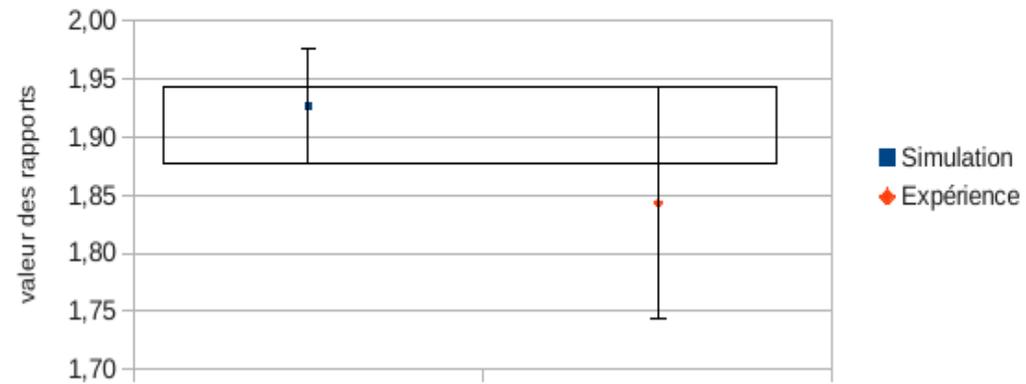


# Méthode des bandes communes

## Représentation graphique

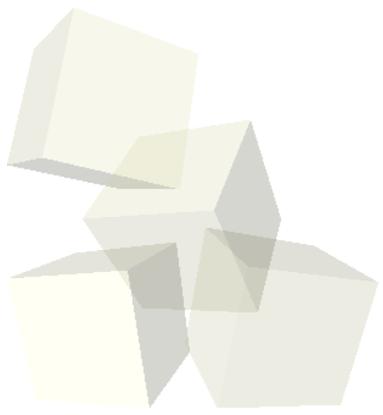
### Comparaison simulation et expérience

Rapport des doses à différentes profondeurs (0cm et 5 cm)



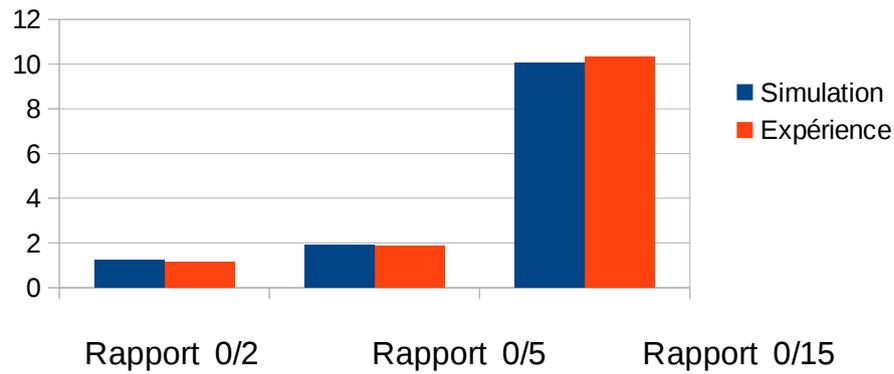
### Comparaison simulation et expérience

Rapport des doses à différentes profondeurs (5 cm et 15 cm)



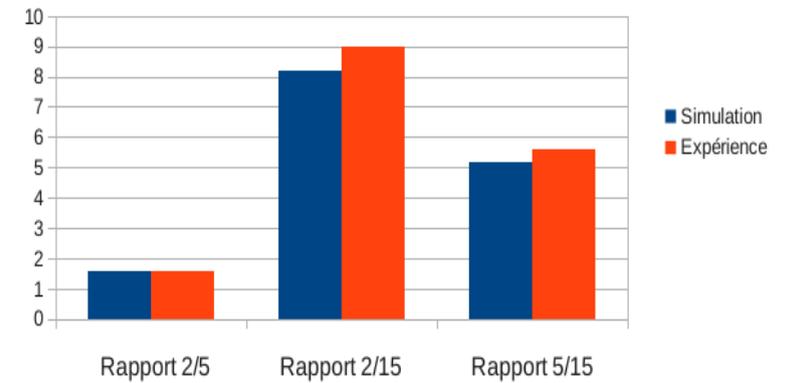
## Comparaison Simulation Expérience

Rapport de dose à différentes profondeurs



## Comparaison Simulation Expérience

Rapport des doses à différentes profondeurs



## Comparaison Simulation Expérience

Rapport de doses à différentes profondeurs

