

Faire avancer la sûreté nucléaire

FANTÔMES THYROÏDIENS RÉALISTES ADAPTÉS AUX ENFANTS POUR LA MESURE POST-ACCIDENTELLE

Tiffany BEAUMONT¹, Pedro CALDEIRA IDEIAS², Maeva RIMLINGER¹, D. Pacome ONOMA¹, David BROGGIO¹, Didier FRANCK¹

- ¹ Laboratoire d'Évaluation de la Dose Interne, IRSN/PRP-HOM/SDI/LEDI, Fontenay-aux-Roses, France
- ² Laboratoire de Surveillance et d'Expertise Environmental par Echantillonnage, IRSN/PRP-ENV/SESURE/LS3E, Le Vésinet, France



Radioprotection (in vivo) Médecine nucléaire

Mesure précise de l'activité incorporée?



Mesures: données expérimentales



7 Détermination des coefficients d'étalonnage

Estimation de l'activité dans les organes

MESURE FIABLE
FANTÔME D'ÉTALONNAGE ADAPTÉ

Méthode d'étalonnage actuelle?

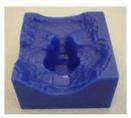
- Utilisation de fantômes d'étalonnage parfois très éloignés de la réalité anatomique, ce qui ne permet pas de dosimétrie personnalisée
- Utilisation de code Monte Carlo: nécessite des connaissances poussées et n'est pas adapté à la mesure post-accidentelle

Comment obtenir une dosimétrie personnalisée sans passer par la simulation?

Impression 3D

- Technologie émergente et accessible
- Utilisation en biomécanique: prothèse..
- Utilisation en dosimétrie externe: bolus, compensateurs,..







Réaliser des fantômes réalistes en s'emparant de l'impression 3D pour répondre aux besoins de la dosimétrie interne

MESURE DE L'IODE DANS LA THYROÏDE

En cas d'accident nucléaire: 131 majoritaire dans les rejets

Risque de cancer radio-induit de la thyroïde maximal chez les enfants





REX des accidents/incidents:

- Fukushima: mauvaise préparation pour la mesure de la thyroïde des enfants
- Rare incidents en France: pas de fantôme thyroïdien adapté à l'enfant

Comment obtenir une meilleur estimation du **risque sanitaire** chez les enfants?

Développer des fantômes thyroïdiens pour différentes classes d'âge



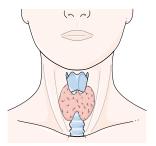
LA FORME DE LA THYROÏDE POUR LA MODÉLISATION 3D

Le modèle mathématique de Ulanovsky et al [1] a été utilisé pour la modélisation 3D:

Right lobe Neck Trachea Left lobe Isthmus

Ce modèle mathématique est:

- Réaliste anatomiquement
- Dépendant du volume thyroïdien



Trachea Left lobe Neck

Dessin technique du modèle mathématique thyroïdien Ulanovsky (1997)

Tous les volumes modélisées suivent les recommandations de la CIPR [2]:

- Enfants de 5 et 10 ans: 3.2 et 7.5 mL
- Adolescent de 15 ans: 11.5 mL
- Adulte standard: 19,05 mL

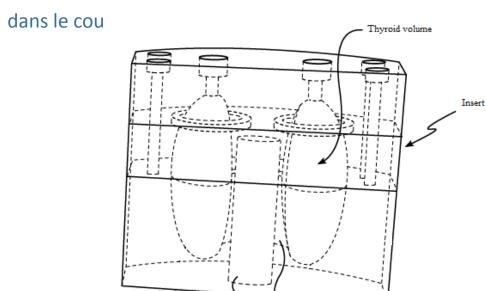
[1] Ulanovsky A V, Minenko V F and Korneev S V 1997 Influence of Measurement Geometry on the Estimate of 131I Activity in the Thyroid: Monte Carlo Simulation of a Detector and a Phantom. *Health Phys.* 72 34–41

[2] ICRP 2002 Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values: ICRP Publication 89 Ann. ICRP 32 1–277



LE FANTÔME THYROÏDE-COU FINAL

• L'insert spécifique à chaque volume thyroïdien inclut une trachée et est facilement assemblable



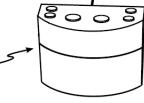
Cervical Spine

Atténuation globale réaliste

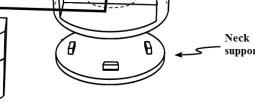
Une importante partie de ce travail a été d'assurer

Trachea

l'étanchéité et la robustesse de l'insert



Insert



Brevet n° **FR 1650 855**



Isthmus

Spinal cord

MODÉLISATION 3D ET IMPRESSION 3D



Rhinoceros 3D: Logiciel de design assisté par ordinateur

Réalisation de forme lisse









Impression 3D

et
Converti en format *.stl



6/14



SET DE FANTÔMES THYROÏDE-COU

Inserts incluant la trachée

Cous réalistes spécifiques à chaque gamme d'âge

<u>Catégorie représentée</u>: Adulte homme, adolescent de 15 ans et enfants de 5 et 10 ans



Fantômes remplis avec une solution radioactive de ¹³³Ba





VALIDATION DES MODÈLES DÉVELOPPÉS

- Fantôme de référence de l'IRSN: RSD (b)
- **Efficacité de comptage**: paramètre utilisé pour déterminer le coefficient d'étalonnage → permet de relier le nombre de coups détectés à l'activité.

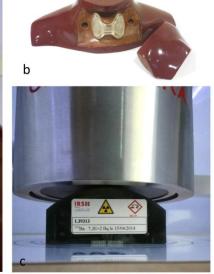
$$\varepsilon_{d}(E) \equiv \frac{\text{Nombre de coups détectés}}{\text{Nombre de coups émis par la source}}$$

Comparaison des efficacités de comptage au plus près du détecteur:

- Entre 4.7% (d =5 mm) et 18.1% (au contact) de différence en terme d'efficacité de comptage
- Compatible avec les différences de positionnement et de forme

Valide le modèle adulte développé et renforce la crédibilité anatomique des modèles enfants





L'étude a été réalisée sur deux systèmes de détection: détecteur GeHP et sonde NaI(TI)



Détecteur **GeHP** (routine / surveillance)



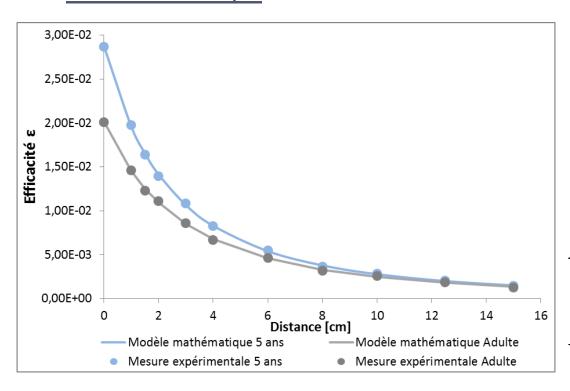
NaI(TI) (crise)

L'étude a été réalisée sur deux systèmes de détection: détecteur GeHP et sonde NaI(TI)

Étude d'influence du volume thyroïdien sur l'efficacité pour différentes distances de mesure

Cas du détecteur NaI(TI)

Modèle mathématique : variation de l'efficacité en fonction de la distance de mesure



$$\varepsilon(\mathbf{d}) = \frac{K}{(d+D_0)^{\alpha}}$$

	<u>Paramètres</u>			
Fantômes	K	D_0	α	
Adulte	1,07 ± ,03	6,19 ± 0,03	2,18	
15 ans	0,99 ± 0,02	5,56 ± 0,06		
10 ans	0,97 ± 0,02	5,32 ± 0,07		
5 ans	1,05 ± 0,02	5,20 ± 0,05		

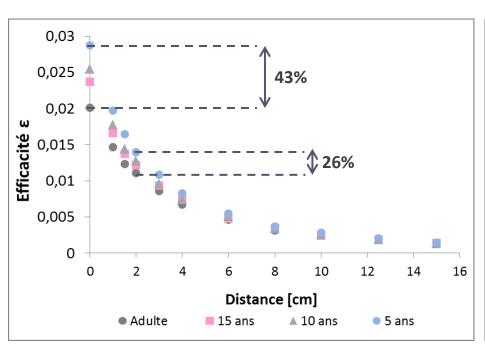
Différence entre le modèle mathématique et les données expérimentales < 4%

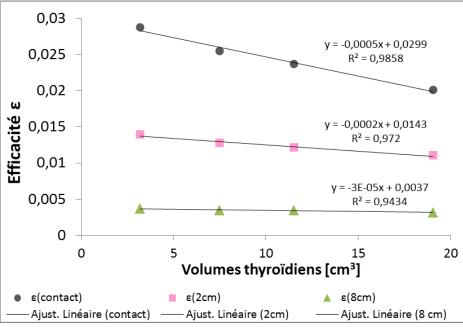


L'étude a été réalisée sur deux systèmes de détection: détecteur GeHP et sonde NaI(TI)

Étude d'influence du volume thyroïdien sur l'efficacité pour différentes distances de mesure

Cas du détecteur NaI(TI)





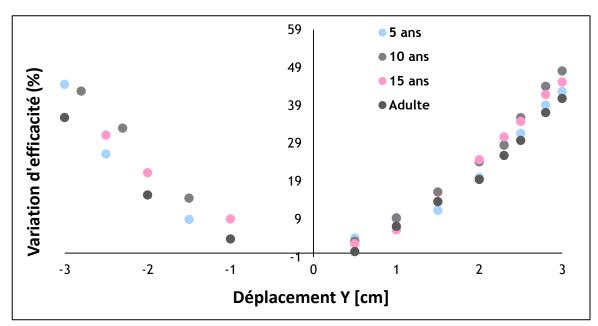
- Forte variation de l'efficacité pour un faible déplacement fantôme détecteur
- Relation linéaire entre l'efficacité et le volume thyroïdien à toutes les distances étudiées

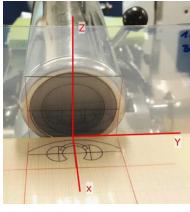


Étude d'influence des erreurs de positionnement latérales et verticales sur l'efficacité

Cas du détecteur NaI(TI)

- Influence des déplacements par rapport à la position de référence
- La variation de l'efficacité est sensiblement la même quelque soit le volume

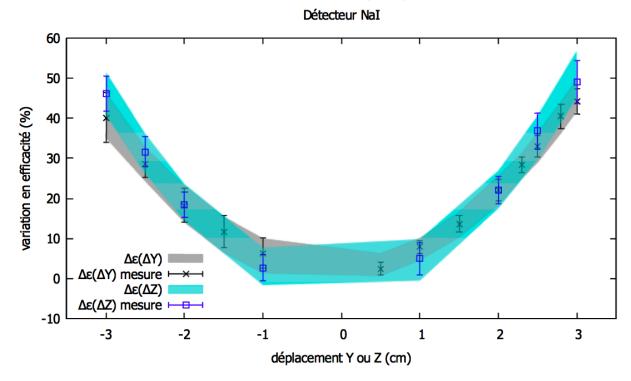




Étude d'influence des erreurs de positionnement latérales et verticales sur l'efficacité

Cas du détecteur NaI(TI)

- Influence des déplacements par rapport à la position de référence
- La variation de l'efficacité est sensiblement la même quelque soit le volume



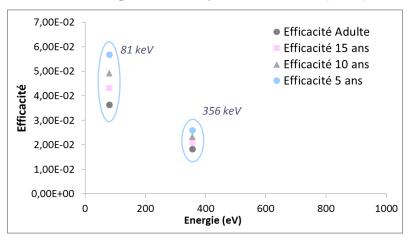
- Recoupement partiel des incertitudes: même ordre de grandeur en Y et Z (95% CL)
- Incertitudes en Y et Z négligeables devant la distance thyroïde détecteur



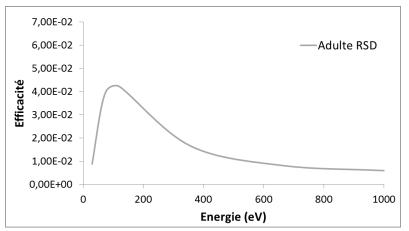
Application: Étalonnage des moyens mobiles de l'IRSN

Étalonnage de la mesure thyroïdienne

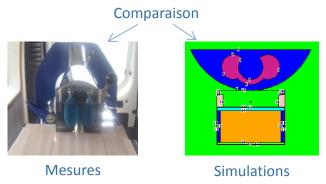
Coefficients d'étalonnage obtenus expérimentalement (133Ba):



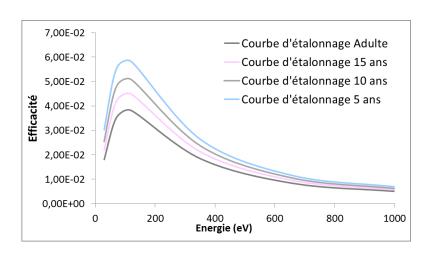
Logiciel Génie2000® requière une courbe d'étalonnage



Utilisation des simulation Monte Carlo (MCNPX)



Différence moyenne de l'ordre de 6%
Validation de la modélisation





3

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

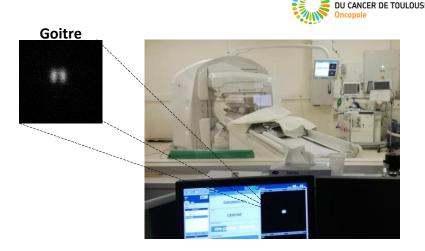
MESURE DE L'IODE DANS LA THYROÏDE

- Relation linéaire entre l'efficacité et le volume thyroïdien
- Étalonnage des moyens mobiles et fixes de l'IRSN
- Amélioration de la prise en charge de la population et meilleure estimation du risque sanitaire chez les enfants
- Brevet N° 1650855



APPLICATION EN MÉDECINE NUCLÉAIRE

- Enjeu: Améliorer le traitement des pathologies bénignes de la thyroïdes (Goitre, Maladie de Basedow..)
- <u>Étude</u>: Influence du volume thyroïdien sur la mesure de la sensibilité avec la gamma-camera et la sonde thyroïdienne (02/2017)
- Analyse des données en cours...



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

tiffany.beaumont@irsn.fr

