

# MESURE DE L'IODE EN SITUATION ACCIDENTELLE : DU JEUNE ENFANT À L'ADULTE

David BROGGIO

*<sup>1</sup> Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, Fontenay-aux-Roses, France*

**Journée SFRP, L'IODE dans tous ses états...**

26-27 mars 2024, Paris

## ■ Mesure thyroïdienne de l'iode radioactif

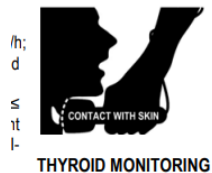
- Pourquoi ?
- Comment ?
- Quand ?
- Facteurs influant la mesure
- Cas des enfants

## ■ Interprétation des mesures

- Prise d'iode stable
- L'iode-131 comme traceur

# Mesure thyroïdienne de l'iode radioactif

- En cas de rejet provenant d'une centrale l'iode-131 est un composant majoritaire du rejet.
- L'iode se fixe naturellement dans la thyroïde. L'incorporation d'iode radioactif entraîne une augmentation du risque de cancer de la thyroïde.
- Mesurer l'iode pour:
  - Prendre des mesures d'urgence (AIEA GSR part 7)
  - Evaluer l'efficacité des contre-mesure
  - Informer les pouvoirs publics et les membres du public (AIEA General Safety Guide 14,2020)



*Direct measurements of thyroid radioiodine content of the exposed population are essential, with priority given to children and adolescents (younger than 19 years) and women pregnant at the time of exposure*

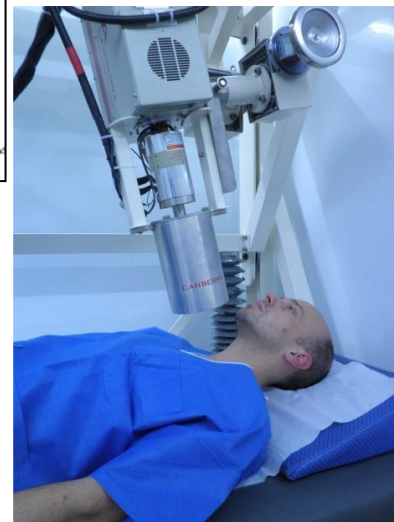
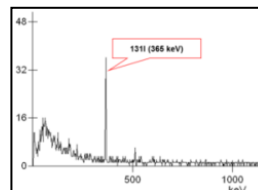


# Mesure thyroïdienne de l'iode radioactif



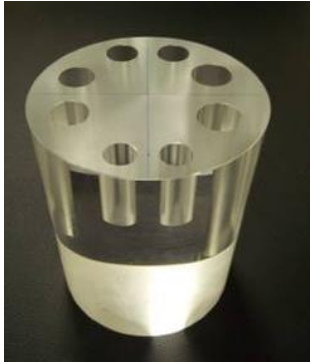
© Kim Kyung Hoon/Reuters, The Guardian 26 Dec. 2011

- Utilisation de spectromètre : identification du pic photoélectrique de l'iode et quantification
- Utilisation de radiamètre/débitmètre : quantification sans identification
- Quantification de l'activité retenue au moment de la mesure



# Mesure thyroïdienne de l'iode radioactif

Un étalonnage préalable est nécessaire avec un fantôme mimant la thyroïde



b



Set 2



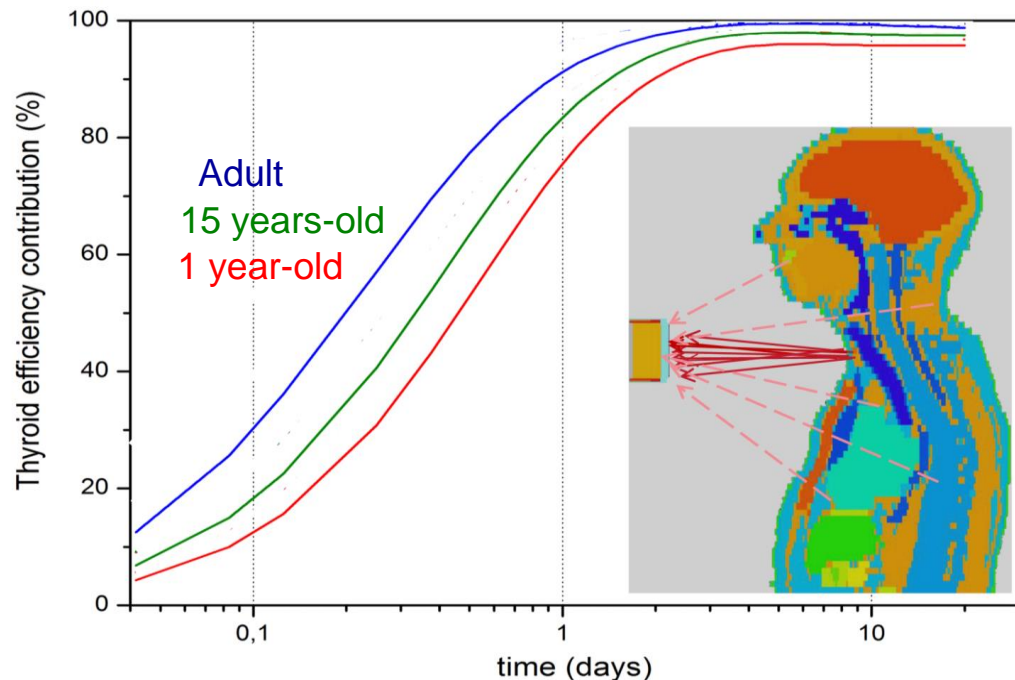
Spectromètre :  $^{133}\text{Ba}$  (356 keV vs. 365 keV pour  $^{131}\text{I}$ )

Radiamètre : mélange  $^{133}\text{Ba}$  +  $^{137}\text{Cs}$  + filtres [1]

[1] M. Isaksson et al. Radiation Measurements, 128, art. no. 106115, 2019.

# Mesure thyroïdienne de l'iode radioactif

Quand réaliser la mesure : influence extra-thyroïdienne



- Simulation pour 5 ans, 15 ans, adulte
- 4 spectromètres avec divers blindage et collimateurs
- A 48h les contributions extra-thyroïdiennes peuvent encore être de l'ordre de 20% [1].

[1] Gómez-Ros et al. Radiation Measurements, 125:96-105, 2019.

# Mesure thyroïdienne de l'iode radioactif

Quand réaliser la mesure : influence d'autres radionucléides [1]

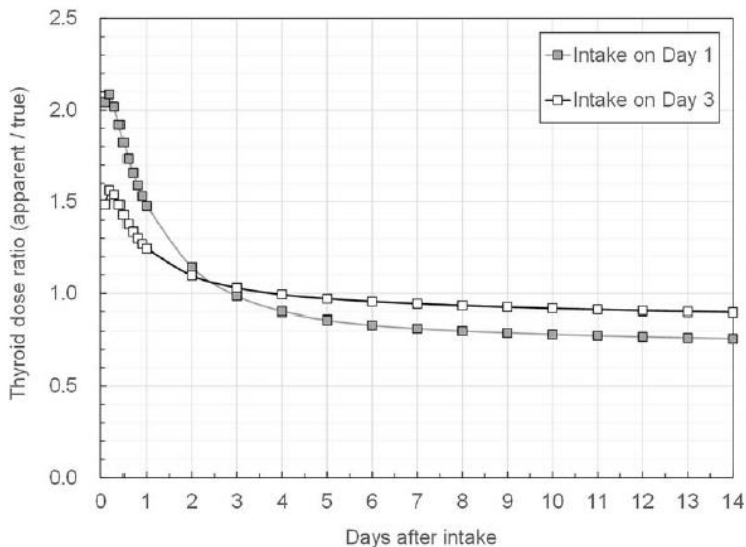


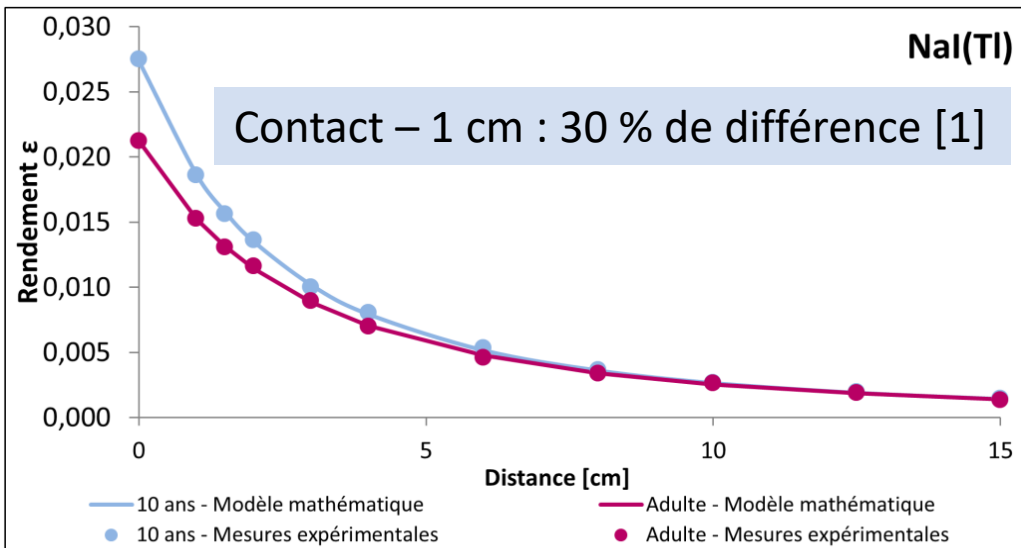
Figure 1. Exterior view of TCS-172 survey meter

- Radiamètre TCS-172
- Contribution de  $^{132}\text{Te}$  et  $^{133}\text{I}$  selon l'inventaire du réacteur 1 de Fukushima.
- Etalonnage pour l'iode-131
- Pour des mesures avant 48h la dose est surévaluée d'un facteur 1,25–2.
- Et encore on ne prend pas en compte le  $^{137}\text{Cs}$ ...

[1] Kotaro et al. Radiation Protection Dosimetry, 2023, 1–7  
<https://doi.org/10.1093/rpd/ncad304>

# Mesure thyroïdienne de l'iode radioactif

## Influence de la distance détecteur -- thyroïde



➤ Forte variation du rendement pour un faible déplacement fantôme détecteur

➤ Entre le contact et 1 cm: **30%** quel que soit le volume thyroïdien

## NUMERICAL SIMULATION OF DIRECT MEASUREMENT TO DETERMINE THYROID $^{131}\text{I}$ CONTENT OF TWO TEPCO WORKERS CONSIDERING INDIVIDUAL TISSUE THICKNESS

Kotaro Tani\*, Osamu Kurihara, Eunjo Kim, Kazuo Sakai and Makoto Akashi  
National Institute of Radiological Sciences, 4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba-city, Chiba 263-8555, Japan

Différence de 2,5 cm : facteur 1,9 sur l'activité estimée dans la thyroïde [2].

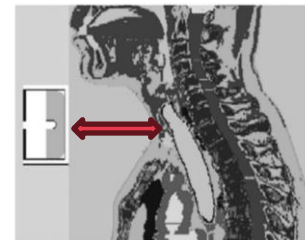


Figure 2. Numerical simulation model incorporat

C'est une question de géométrie (non pas d'atténuation)

[1] T Beaumont, Thèse de doctorat, Université Paris-Sud, 2018.

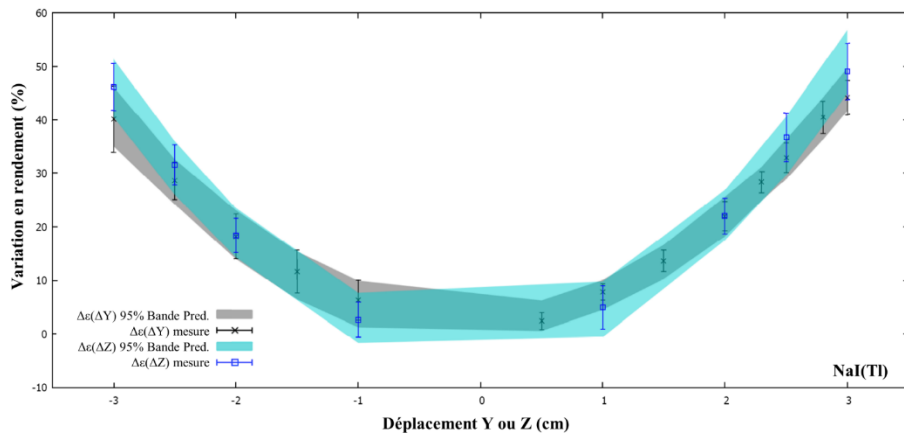
[2] Kotaro et al, Radiation Protection Dosimetry, 170:373 – 376, 2018



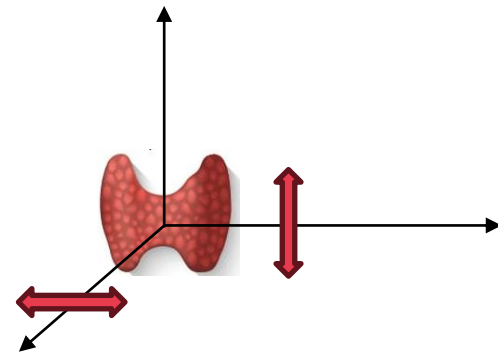
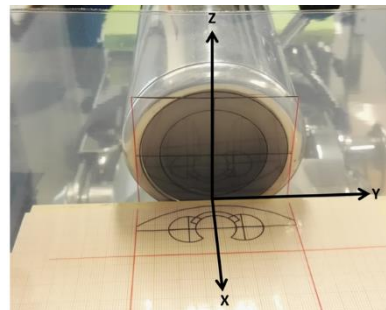
# Mesure thyroïdienne de l'iode radioactif

## Écarts par rapport à la position de référence

- Thèse Tiffany Beaumont [1]



- Liu et al : 1 cm  $\sim$ 6,5% [2]
- Kunishima et al : négligeable [3]



- La variation du rendement est sensiblement la même quel que soit le volume
- Recoupement partiel des incertitudes: même ordre de grandeur en Y et Z (Bande de prédiction 95%)
- Incertainces négligeables: déplacement de 1 cm  $\rightarrow$  **2,5%** (Y ou Z) contre **30%** (X)

[1] T Beaumont, Thèse de doctorat, Université Paris-Sud, 2018.

[2] Liu et al. Radiation Measurements, 164, art. 106946, 2023

[3] Kunishima et al. Health Physics, 116(5):647 – 656, 2019

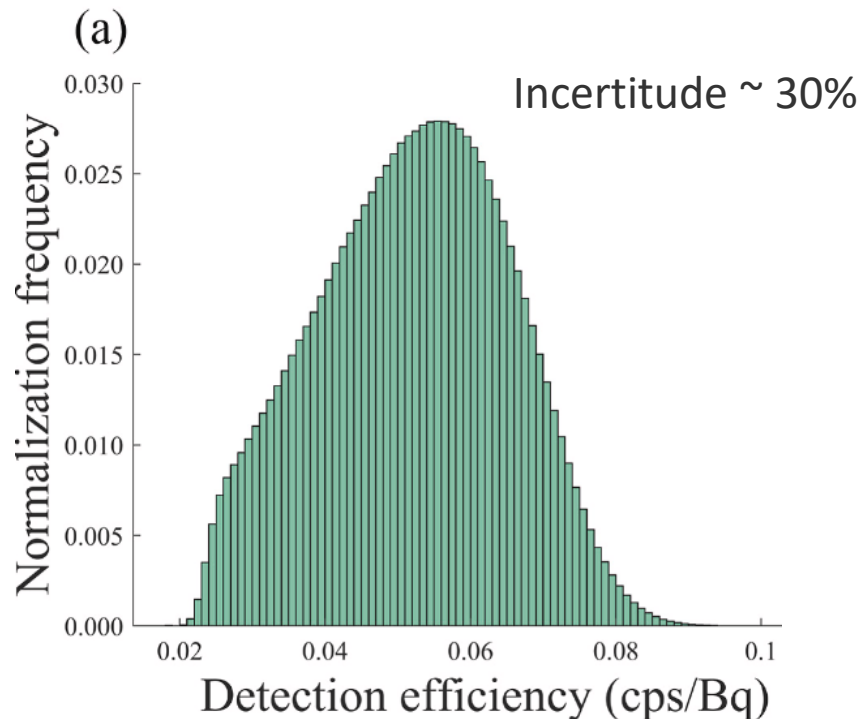
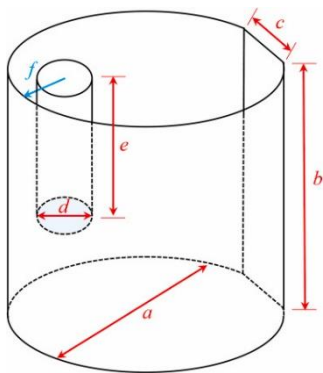
# Mesure thyroïdienne de l'iode radioactif

## Incertitudes combinées [1]

### Variation

- du volume
- de l'épaisseur de tissu
- de la position des détecteurs

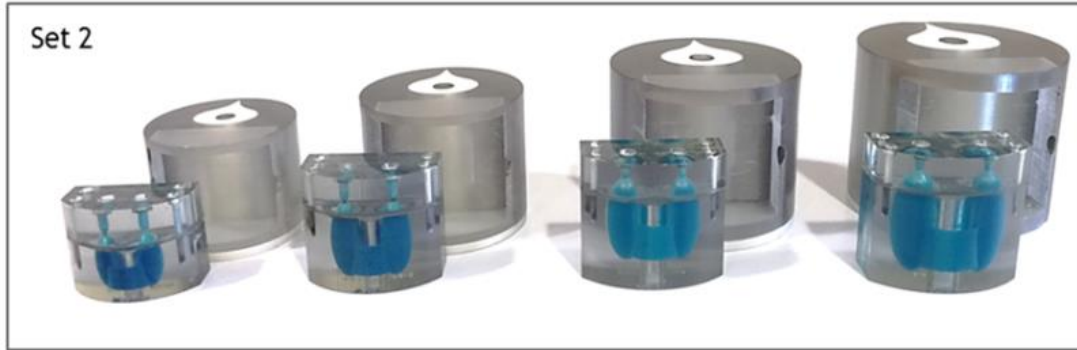
Génération d'un espace des configurations  
et simulation Monte-Carlo



[1] Liu et al. Radiation Measurements, 164, art. 106946, 2023

# Mesure thyroïdienne de l'iode radioactif

Cas des enfants : prise en compte du volume



5 ans  
 $3,2 \text{ cm}^3$

10 ans  
 $7,5 \text{ cm}^3$

15 ans  
 $11,4 \text{ cm}^3$

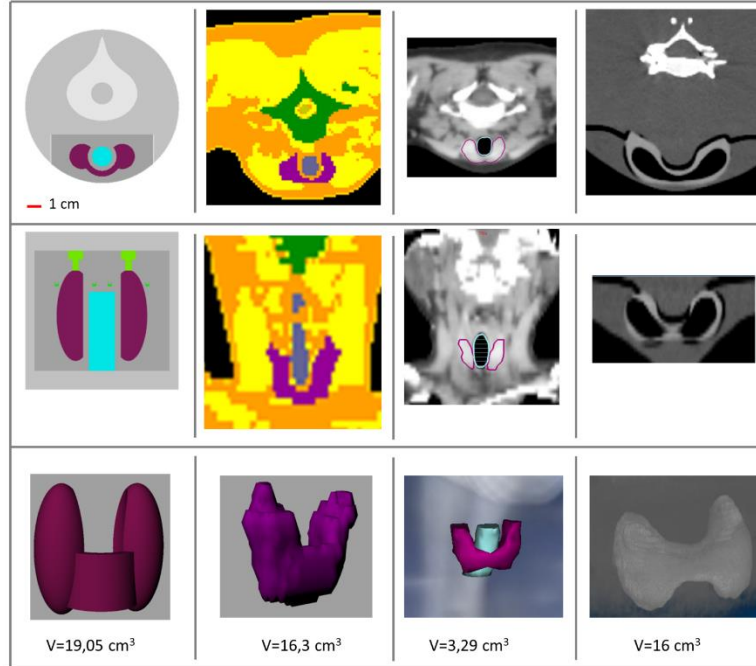
Homme adulte  
 $19 \text{ cm}^3$

Fantôme thyroïde-cou adulte développé

Fantôme voxelisé de la femme de référence CIPR

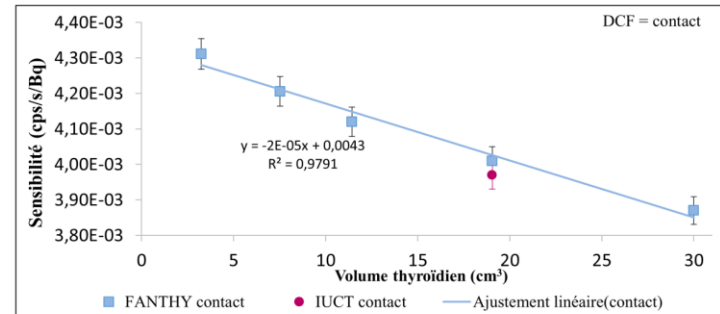
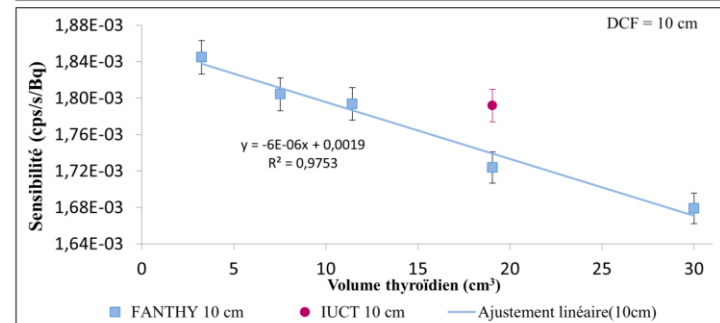
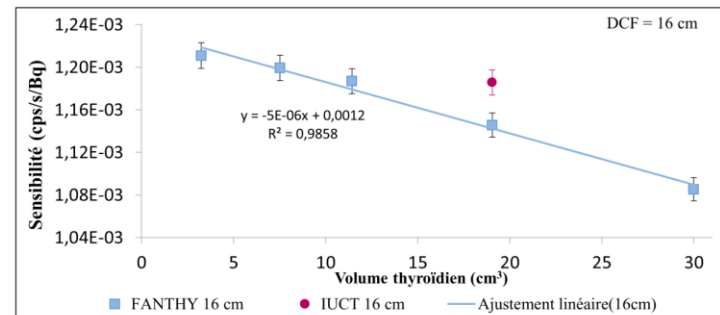
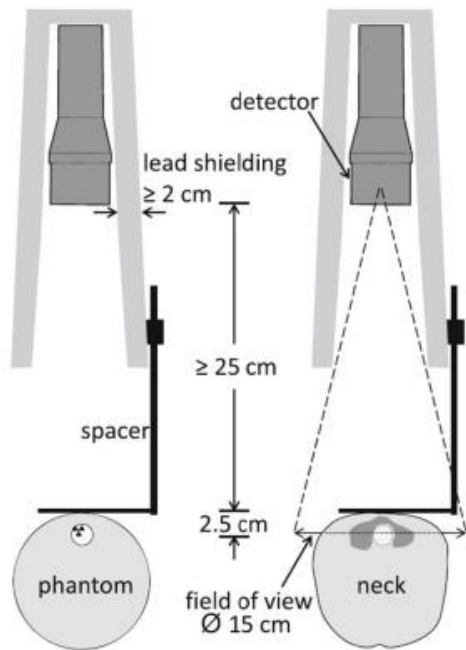
Scanner d'un enfant de 6 ans

Scanner du fantôme RSD



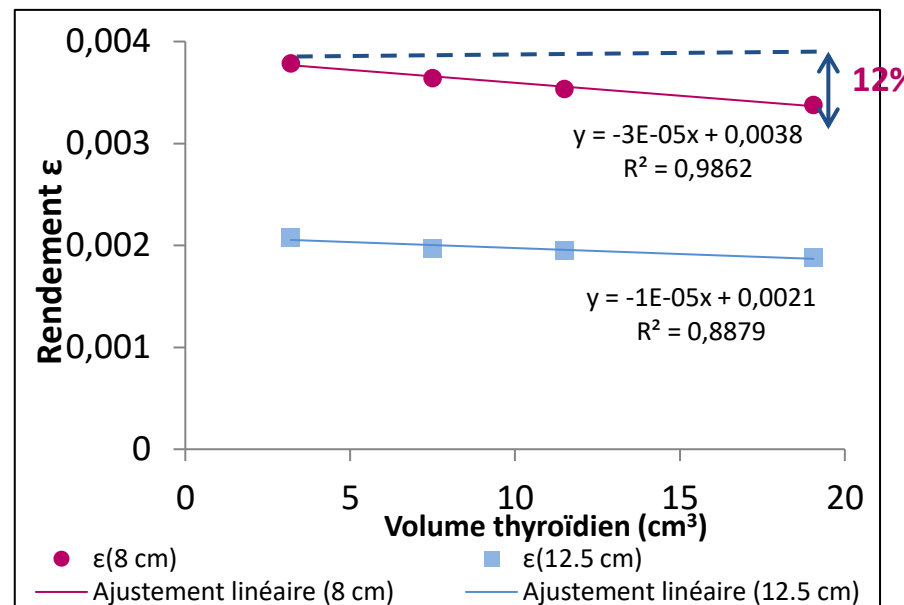
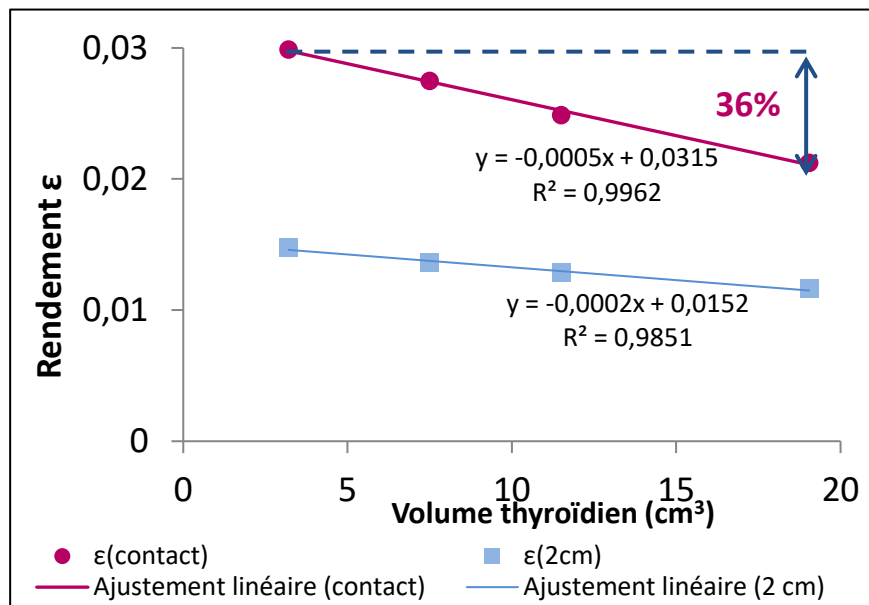
# Mesure thyroïdienne de l'iode radioactif

Cas des enfants : prise en compte du volume



# Mesure thyroïdienne de l'iode radioactif

## Cas des enfants : prise en compte du volume



➔ Relation linéaire entre le rendement et le volume thyroïdien à toutes les distances étudiées

➔ *Autres volumes thyroïdiens : détermination du rendement par extrapolation*

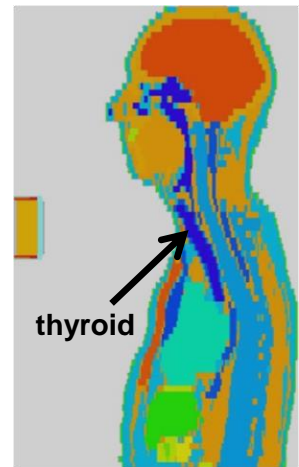
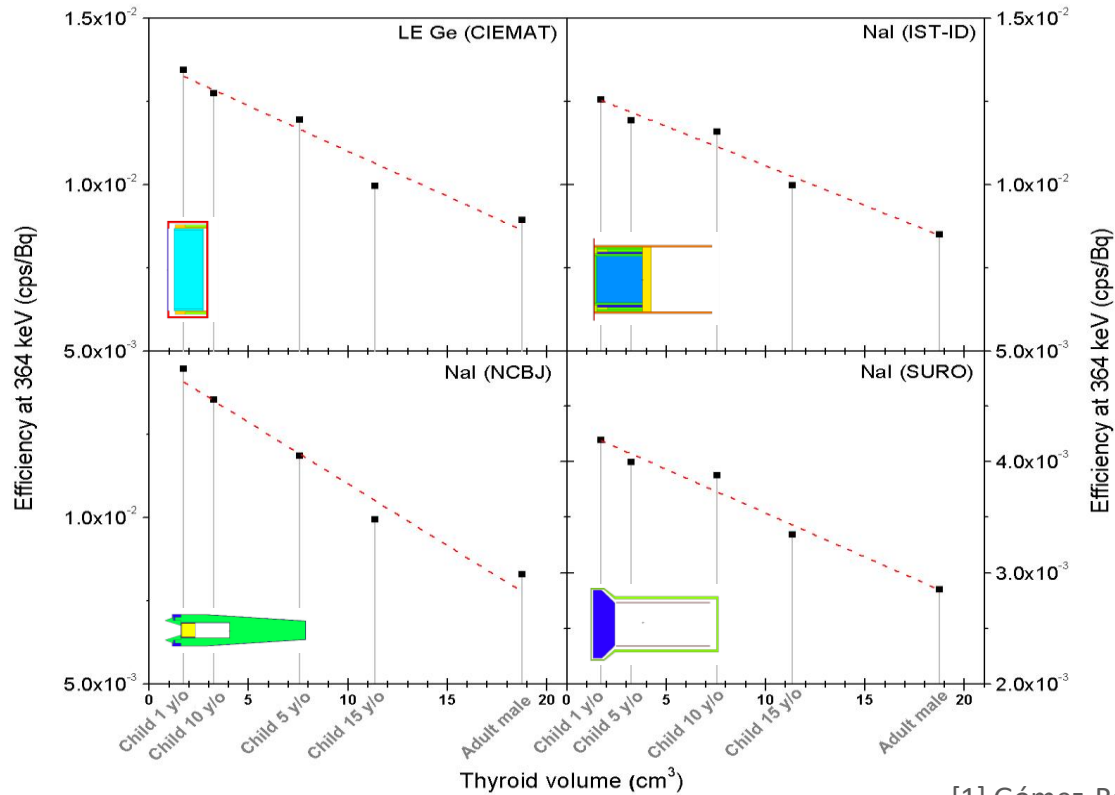
➔ Différence en rendement **5 ans VS adulte** : 36% au contact, 12% à 8 cm

➔ *Étalonnage actuel inadapté aux enfants*

T Beaumont, Thèse de doctorat, Université Paris-Sud, 2018.

# Mesure thyroïdienne de l'iode radioactif

Cas des enfants : prise en compte du volume



[1] Gómez-Ros et al. Radiation Measurements, 125:96-105, 2019.

# Mesure thyroïdienne de l'iode radioactif

## Cas des enfants : prise en compte du volume

- Pour les spectromètres et les radiamètres l'efficacité varie linéairement avec le volume
- Selon le détecteur et la distance de comptage, utiliser un étalonnage adulte pour un enfant peut conduire à des erreurs de 10 à 60%

*NB : étude de 6 travailleurs de TEPCO ayant reçu une forte dose  
volume thyroïdien compris entre 6 et 28 cm<sup>3</sup> [1]*

[1] Kunishima et al. Health Physics, 116(5):647 – 656, 2019

# Mesure thyroïdienne de l'iode radioactif

Cas des enfants : développement de détecteurs adaptés



Pavel Fojtik, SURO



# Mesure thyroïdienne de l'iode radioactif

Cas des enfants : développement de détecteurs adaptés



LaBr3

2,5 x 2,54 cm x 2,5 cm

$H_{\text{Thyroïde}}$  : 13 mSv (150s, avec bruit de fond conséquent) [1]



Cristal GAGG \*

$H_{\text{Thyroïde}}$  : 10 mSv (180s, avec bruit de fond conséquent) [2]

[1] Nishino et al. Rad. Meas., 134, art. 106292, 2020

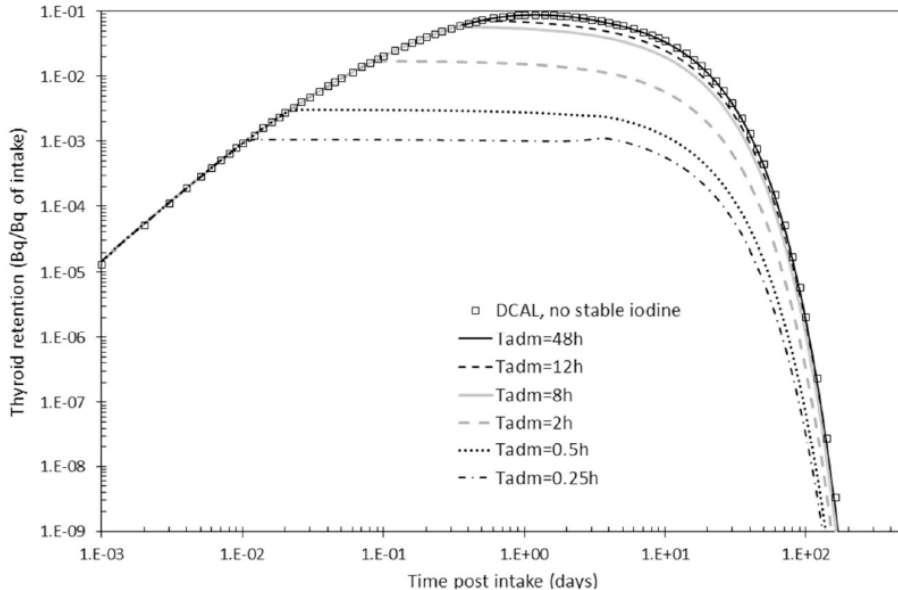
[2] Yajima et al. Rad. Meas., 150, art. 106683, 2022

\* gadolinium aluminium gallium garnet

# Interprétation des mesures : cas de l'iode stable

Malgré la prise d'iode stable, il se peut que la mesure thyroïdienne soit positive [1,2], notamment si l'iode stable est pris trop tard.

Dans ce cas, on doit interpréter la mesure en prenant en compte la biocinétique de l'iode <sup>131</sup> qui est modifiée par l'excès d'iode stable



Solution pratique :

Facteur de correction de la dose qui dépend de la date de la mesure et de la date de la prise d'iode stable [3]

[1] Balonov, Radiat. Protect. Dosim. 105 (1–4), 593–599, 2003

[2] Likhtarov, Health Phys, 106(3):370-396, 2014

[3] Broggio et al Radiation Measurements 127 art. 106144, 2019

# Interprétation des mesures : l'iode-131 comme traceur

La mesure ne détectera pas nécessairement les radionucléides à vie-courte, ni les radionucléides minoritaires.

Si la composition du rejet est connue on peut déduire l'incorporation des autres radionucléides de celle de l'iode.

La dose totale est obtenue par un facteur de correction, indépendant de la date de mesure, appliqué à la dose due à l'iode-131.

## **INITIAL EVALUATION OF INDIVIDUAL DOSES IN THE EARLY PHASE OF A NUCLEAR REACTOR ACCIDENT BASED ON *IN-VIVO* MONITORING DATA AND SIMULATED RADIOLOGICAL CONSEQUENCES**

Cécile Challeton-de Vathaire\*, Emmanuel Quentric, Damien Didier, Eric Blanchardon, Estelle Davesne, Alain Rannou, Michelle Agarande, Valérie Renaud-Salis and Didier Franck  
Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), PSE-SANTE/SDOS/LEDI, PSE-SANTE/SESUC/BMCA, PSE-SANTE, PSE-ENV/SAME, BP 17, 92260 Fontenay-aux-Roses, France

\*Corresponding author: [cecile.challetondevathaire@irsn.fr](mailto:cecile.challetondevathaire@irsn.fr)

Challeton-de Vathaire et al., Radiat. Protect. Dosim. 185 (1), 111–123, 2019

# CONCLUSION

En cas d'urgence, ou si de très nombreuses mesures doivent être réalisées, on ne peut certainement pas viser une très grande précision.

Néanmoins on peut se prémunir de certains écueils :

- ne pas réaliser les mesures trop tôt
- disposer d'un étalonnage pour les enfants
- réaliser des spectroscopies, au moins pour une partie de la population

Treize ans après l'accident de Fukushima des détecteurs dédiés à la mesure des très jeunes enfants semblent prêts à être utilisés.

# Remerciements

## **IRSN**

T. Beaumont

D. Franck

C. Challeton de Vathaire

## **QST/NIRS**

O. Kurihara

E. Kim

## **Eurados WG7**

Collaborateurs du projet **CATHyMARA**