# Pédiatrie en médecine nucléaire : Dosimétrie, Optimisation et Radioprotection

Marjolaine FOURCADE

Formation ACOMEN Pédiatrie Nucléaire

12-14 mars 2024

# Plan

- Introduction
- Dosimétrie
- Optimisation
- Radioprotection

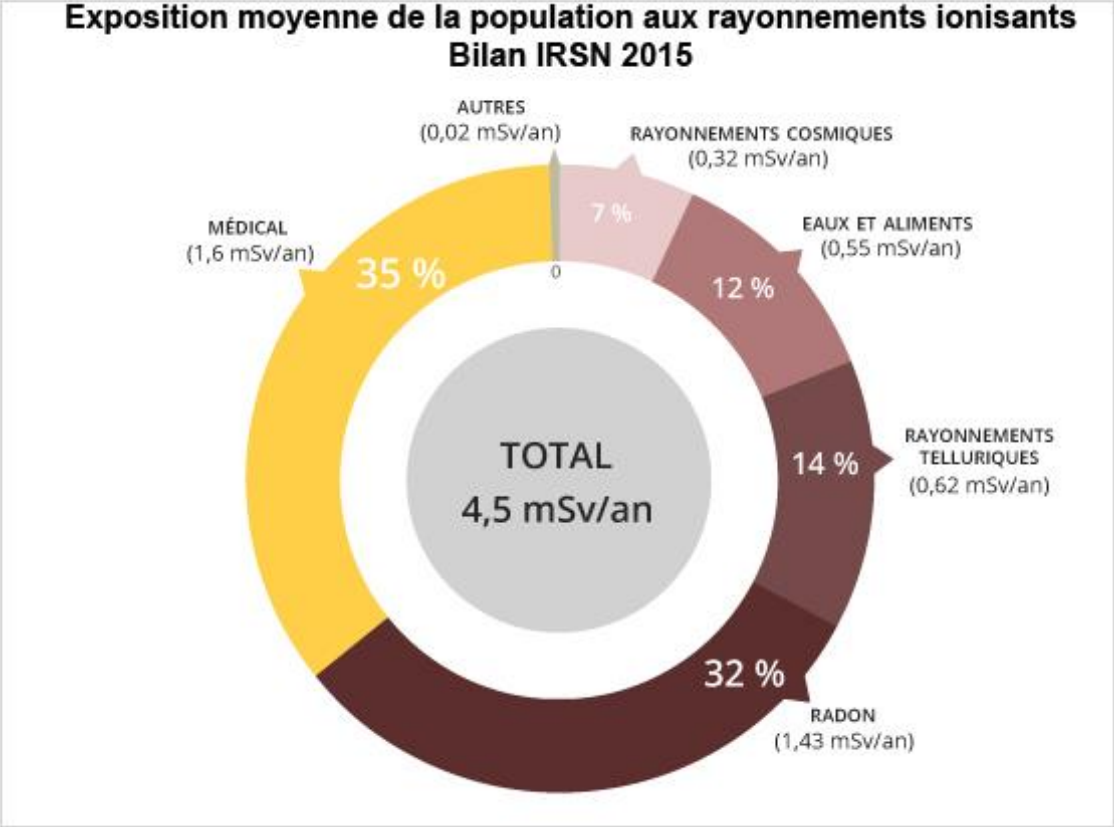
# Introduction

➡ **De plus en plus d'actes médicaux utilisent les rayonnements ionisants**

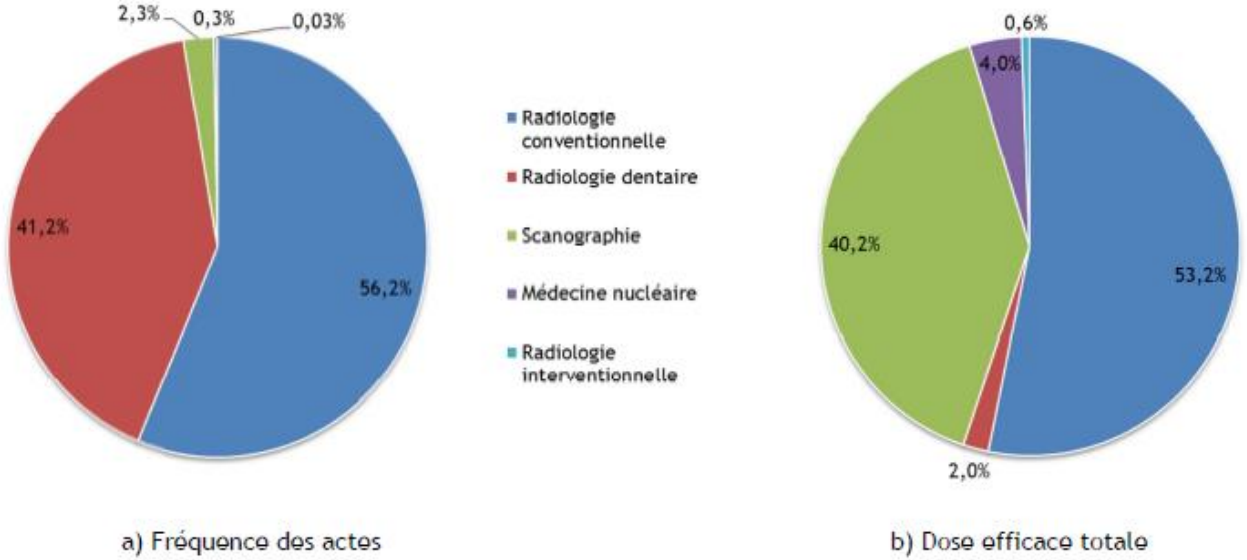
➔ Médical = 1ère source d'irradiation artificielle en France.
*(35%)*

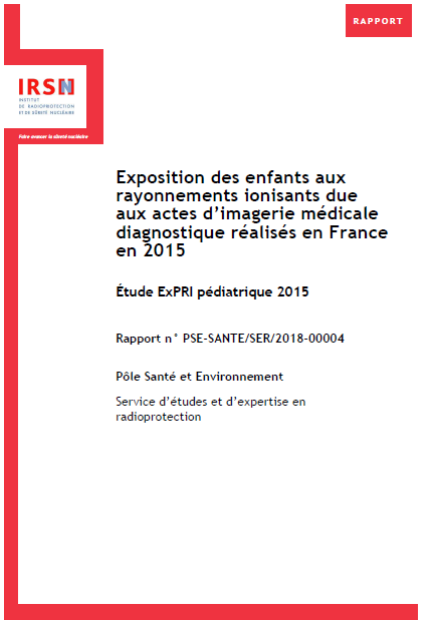
*Radioactivité naturelle 65%*

*Radioactivité artificielle 35%*



# Introduction





RAPPORT

IRSN

Exposition des enfants aux rayonnements ionisants due aux actes d'imagerie médicale diagnostique réalisés en France en 2015

Étude ExPRI pédiatrique 2015

Rapport n° PSE-SANTE/SER/2018-00004

Pôle Santé et Environnement

Service d'études et d'expertise en radioprotection

Répartition par modalité d'imagerie des actes diagnostiques et de la dose efficace totale en pédiatrie

# Introduction

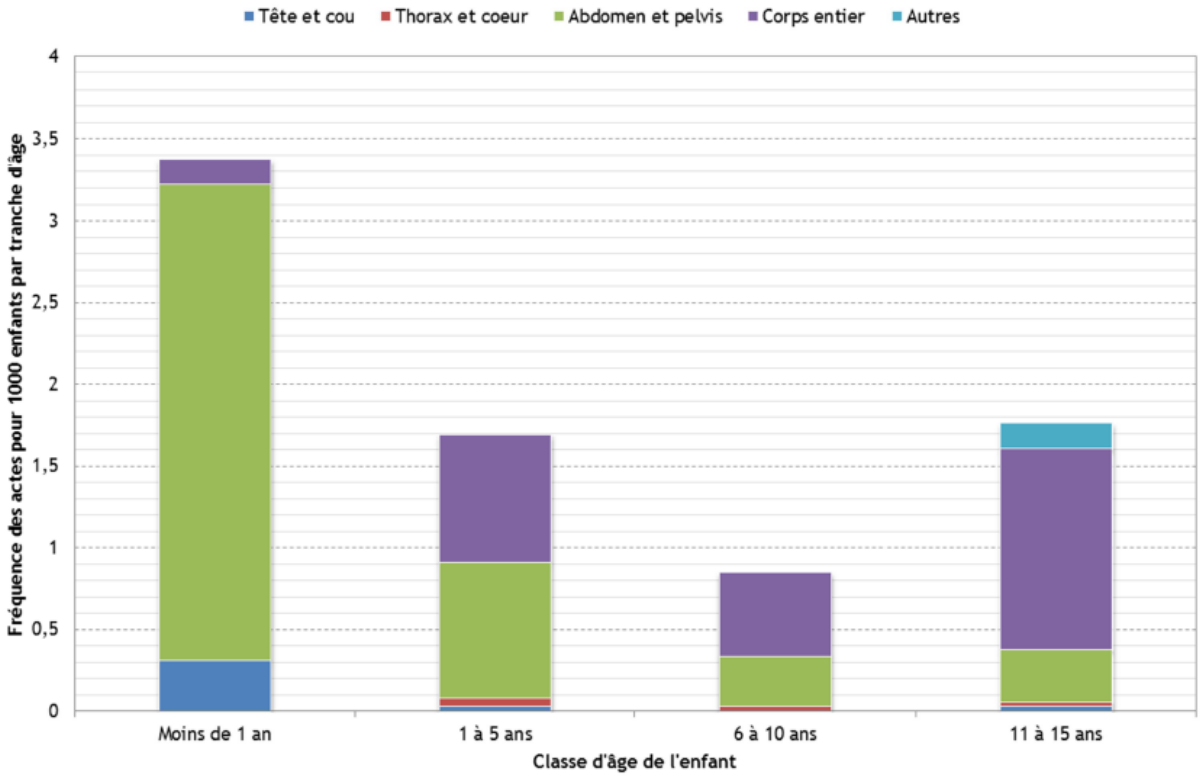
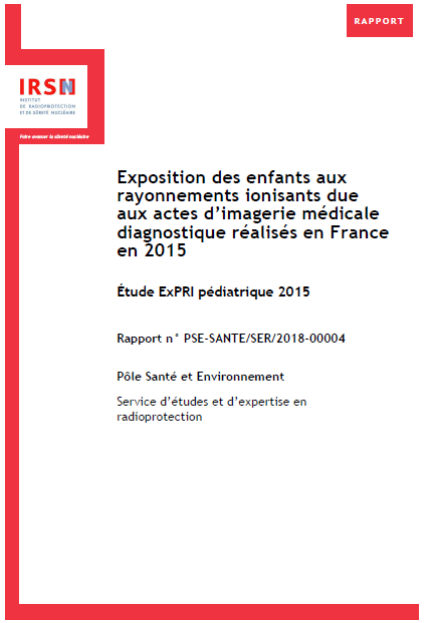



Figure 8. Fréquences d'actes de médecine nucléaire selon la région anatomique et la classe d'âge de l'enfant.



RAPPORT

IRSN

Exposition des enfants aux rayonnements ionisants due aux actes d'imagerie médicale diagnostique réalisés en France en 2015

Étude ExPRI pédiatrique 2015

Rapport n° PSE-SANTE/SER/2018-00004

Pôle Santé et Environnement

Service d'études et d'expertise en radioprotection

# Plan

- Introduction
- Dosimétrie
- Optimisation
- Radioprotection

# Dosimétrie

Les enfants sont plus sensibles aux rayonnements ionisants en raison de leurs organes et tissus en croissance et de leur espérance de vie plus longue.

## ➢ Définition de la dose efficace

L'indicateur dosimétrique pour évaluer l'exposition des enfants liée aux actes diagnostiques est la dose efficace exprimée en mSv.
La dose efficace est un indicateur du risque de détriment sanitaire à long terme (induction potentielle de cancers et d'effets héréditaires) lié à une exposition aux rayonnements ionisants. Cet indicateur est un outil qui permet d'évaluer un risque global au niveau de l'organisme entier, que celui-ci soit ou non exposé en totalité, en tenant compte du type de rayonnement (nature et énergie), et de la radiosensibilité propre à chaque organe exposé.

# Dosimétrie

## Grandeur Physique

Effets spécifiques des rayonnements

**Dose absorbée**

**Gray (Gy)**

$W_R$

## Grandeur de Radioprotection

Sensibilité des tissus ou organes

**Dose équivalente**

**Tissu ou l'organe**

**Sievert (Sv)**

$$H_{T,R} = W_R \times D_{T,R}$$

$W_T$

**Dose efficace**

**Organisme entier**

**Sievert (Sv)**

$$E = \sum_T W_T \times H_T$$

# Dosimétrie

## Table 2

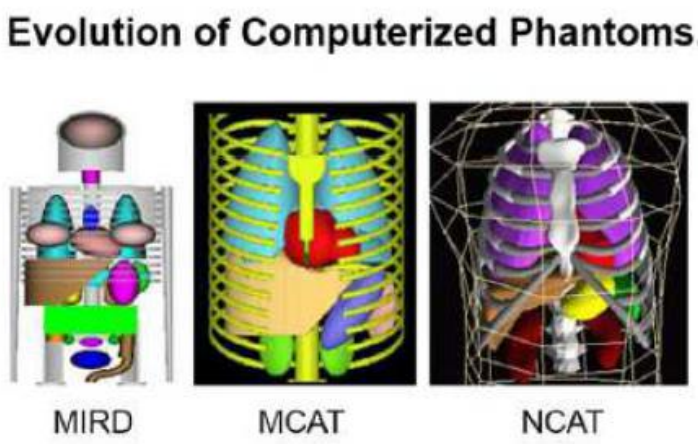
Effective Dose Organ Radiosensitivity Weights Based on ICRP Publication 103[22]

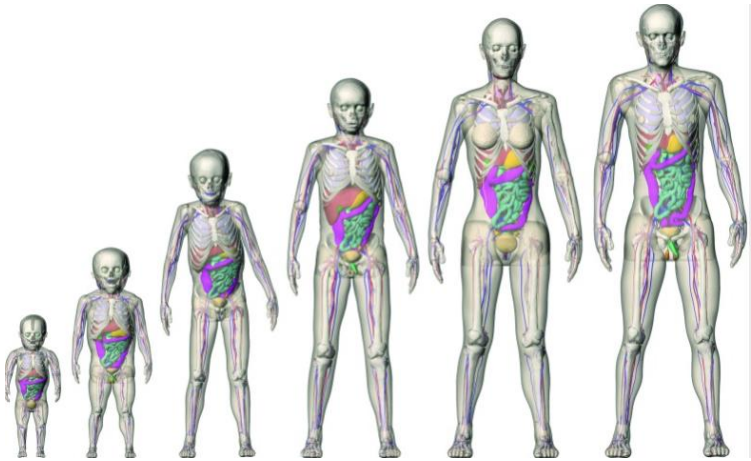
| Tissue or Organ | Effective Dose Weights |
|---|---|
| Gonads | 0.08 |
| Red bone marrow | 0.12 |
| Lung | 0.12 |
| Colon | 0.12 |
| Stomach | 0.12 |
| Breast | 0.12 |
| Bladder | 0.04 |
| Liver | 0.04 |
| Esophagus | 0.04 |
| Thyroid | 0.04 |
| Skin | 0.01 |
| Bone surface | 0.01 |
| Brain | 0.01 |
| Salivary glands | 0.01 |
| Remainder | 0.12 |
| Total | 1.00 |

# Dosimétrie

- La dose efficace reçue par les enfants est due à l'injection de radiopharmaceutiques et à l'utilisation du scanner quand il est couplé à l'examen scintigraphique.

- Les estimations dosimétriques sont faites grâce à des simulations sur fantômes pour le scanner et la scintigraphie



The pediatric reference set. Shown here are female newborn, male 1 year, female 5 years, male 10 years, female 15 years, and male 15 years.

# Dosimétrie

- La dose efficace due à l'injection d'un radiopharmaceutique

**DONNÉES BIOLOGIQUES**

*Source IRSN*

- Où est localisé le radiopharmaceutique ?
- Quel est le processus d'élimination du radiopharmaceutique ?

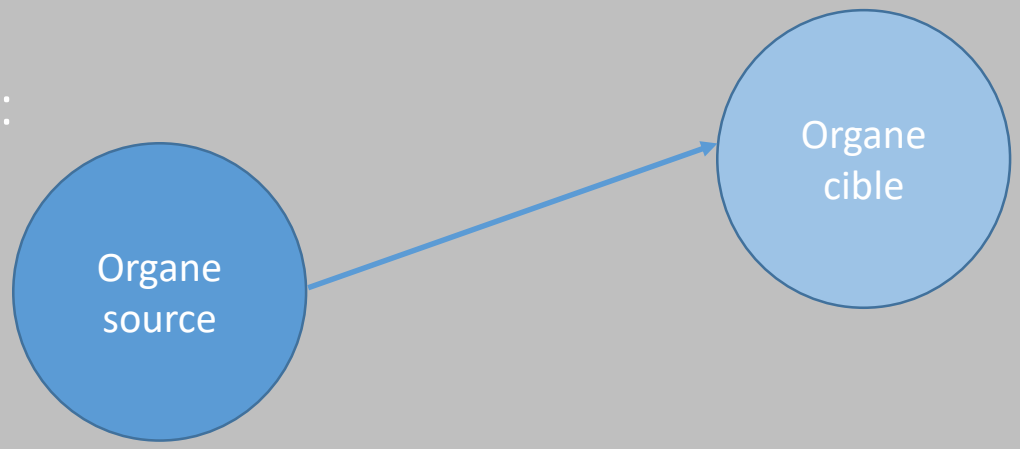
**DONNÉES PHYSIQUES**

- Quel dépôt d'énergie ?
- Dans quelle géométrie ?

*Source IRSN*

# Dosimétrie

MIRD :




MIRD à l'échelle de l'organe

*Avec Source : h  Cible : k*

$$\phi(k \leftarrow h) = \frac{E}{E_0}$$

$$\Phi(k \leftarrow h) = \frac{\phi(k \leftarrow h)}{m_k}$$

$$\bar{D}(k \leftarrow h) = \tilde{A}_h \sum_i \Delta_i \Phi_i(k \leftarrow h)$$

$$S(k \leftarrow h) = \sum_i \Delta_i \Phi_i(k \leftarrow h)$$

$$\bar{D}(k \leftarrow h) = \tilde{A}_h \times S(k \leftarrow h)$$

$E_0$ : énergie émise par l'organe source
E : énergie absorbée par l'organe cible
$\phi(k \leftarrow h)$: fraction absorbée
$\Phi(k \leftarrow h)$: fraction absorbée massique en $kg^{-1}$
$\Delta_i = n_i E_i$ Énergie moyenne émise par désintégration par les particules de type i en $Gy.kg.GBq^{-1}.s^{-1}$

$\bar{D}(k \leftarrow h)$: Dose absorbée moyenne en Gy
$\tilde{A}_h$: Activité cumulée en GBq.s
$S(k \leftarrow h)$: Facteur S en $Gy.GBq^{-1}.s^{-1}$

# Dosimétrie

- La dose efficace due à l'injection d'un radiopharmaceutique

| $^{123}I$ | IOFLUPANE (DaTSCAN®) injection intraveineuse | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | DOSE ABSORBÉE PAR UNITÉ D'ACTIVITÉ ADMINISTRÉE (µGy/MBq) | | | | |
| **Organes** | **Adulte** | **15 ans** | **10 ans** | **5 ans** | **1 an** |
| Vésicule biliaire | 180 | 210 | 270 | 470 | 1500 |
| Paroi du colon | 160 | 200 | 340 | 550 | 1000 |
| Paroi de l'intestin grêle | 63 | 80 | 130 | 210 | 380 |
| Cerveau | 29 | 29 | 30 | 34 | 46 |
| Ovaires | 37 | 49 | 76 | 110 | 200 |
| Testicules | 7,0 | 9,2 | 16 | 26 | 48 |
| Utérus | 23 | 30 | 50 | 78 | 140 |
| **Dose efficace (µSv/MBq)** | **48** | **62** | **98** | **158** | **298** |

Les doses absorbées sont tirées de la publication 106 de la CIPR [6].

# Dosimétrie

## ➢ La dose efficace due à l'injection d'un radiopharmaceutique

**DOSES EFFICACES POUR LE NOUVEAU-NE ET JUSQU'A 6 MOIS [1]**

| ORGANE OU PATHOLOGIE | RADIOPHARMACEUTIQUE | MODE D'ADMINISTRATION | DOSE EFFICACE (µSv/MBq) |
|---|---|---|---|
| CERVEAU | Examétazine-$^{99m}$Tc (HMPAO) | IV[3] | 110 |
| DIVERTICULE DE MECKEL | Pertechnétate de sodium-$^{99m}$Tc | IV[3] | 220 |
| FOIE / RATE | Sulfure colloïdal-$^{99m}$Tc | IV[3] | 110 |
| GLANDES SURRENALES | Métaiodobenzylguanidine-$^{123}$I (MIBG) | IV[3] | 170 |
| REFLUX GASTRO-OESOPHAGIEN | Sulfure de rhénium-$^{99m}$Tc | Per-os | 180 |
| REINS | Pentétate de technétium-$^{99m}$Tc (DTPA) | IV[3] | 37 |
| | Pertechnétate de sodium-$^{99m}$Tc | Intravésicale (cystographie) | 7,4 |
| | Succimère de technétium-$^{99m}$Tc (DMSA) | IV[3] | 82 |
| | Tiatide de technétium-$^{99m}$Tc (MAG3) | IV[3] | 49 |
| | Hippuran-$^{123}$I | IV[3] | 40 |
| SQUELETTE | Phosphates/Phosphonates-$^{99m}$Tc (MDP/HMDP) | IV[3] | 53 |
| THYROIDE | Pertechnétate de sodium-$^{99m}$Tc | IV[3] / Per-os | 220 |
| | Iodure de sodium-$^{123}$I | IV[3] / Per-os | 3 300 [2] |

[1] D'après T. SMITH et I. GORDON [10].
[2] Pour un taux de fixation thyroïdienne égal à 30 %.
[3] IV : Injection intra-veineuse.

Rapport SFPM n° 19 -2001: Dosimétrie des explorations diagnostiques en médecine nucléaire

# Dosimétrie

## Table 3

Effective Dose (in mSv) for Various Radiopharmaceuticals Based on Weight (Models Based on ICRP Publication 128[11])

| | 1 Year | 5 Year | 10 Year | 15 Year | Adult |
|---|---|---|---|---|---|
| Mass (kg) | 9.7 | 19.8 | 33.2 | 56.8 | 70 |
| 99mTc DMSA (3.5 mCi*) | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.2 | 1.1 |
| 99mTc-MDP (20 mCi*) | 2.8 | 2.9 | 3.9 | 4.2 | 4.2 |
| Tc-ECD (20 mCi*) | 4.1 | 4.6 | 5.3 | 5.9 | 5.7 |
| Tc-MAG3 (10 mCi*) | 1.1 | 1.3 | 2.1 | 2.7 | 2.6 |
| 18-FDG (10 mCi*) | 4.8 | 5.9 | 6.5 | 7.2 | 7.0 |

*Maximum administered activity.

Dose estimation in pediatric nuclear medicine, Fahey and al, Semin, Nucl, Med 2017

# Dosimétrie

- La dose efficace liée au CT :

Les facteurs principaux sont :

Les kV, les mAs, la longueur explorée, l'épaisseur de coupe acquise, l'utilisation des outils d'optimisation.

# Plan

- Introduction
- Dosimétrie
- Optimisation
- Radioprotection

# Optimisation

**Les 3 grands principes de la radioprotection :**

**Justification**

Une pratique exposant aux rayonnements ionisants ne peut être adoptée que si les avantages qu'elle procure sont supérieurs aux risques causés par l'exposition qu'elle engendre.

→ Tout acte doit être justifié

**Optimisation**

Toutes les expositions doivent être maintenues au niveau le plus bas que l 'on pourra raisonnablement atteindre …(principe ALARA)

***En diagnostic :*** compatible avec l'obtention de l'information diagnostique recherchée.

***En thérapie :*** délivrer la dose prescrite au volume cible tout en épargnant au mieux les tissus sains adjacents.

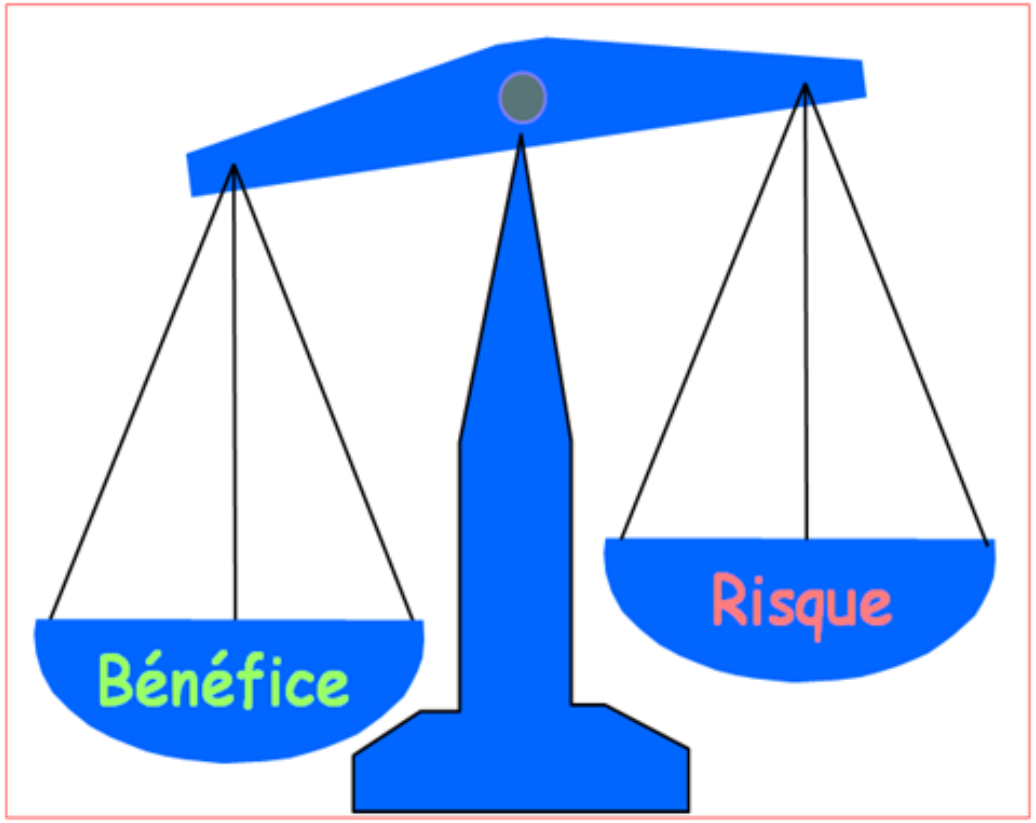
→ Tout acte doit être optimisé en dose

**Limitation**

Pas de limitation réglementaire de dose

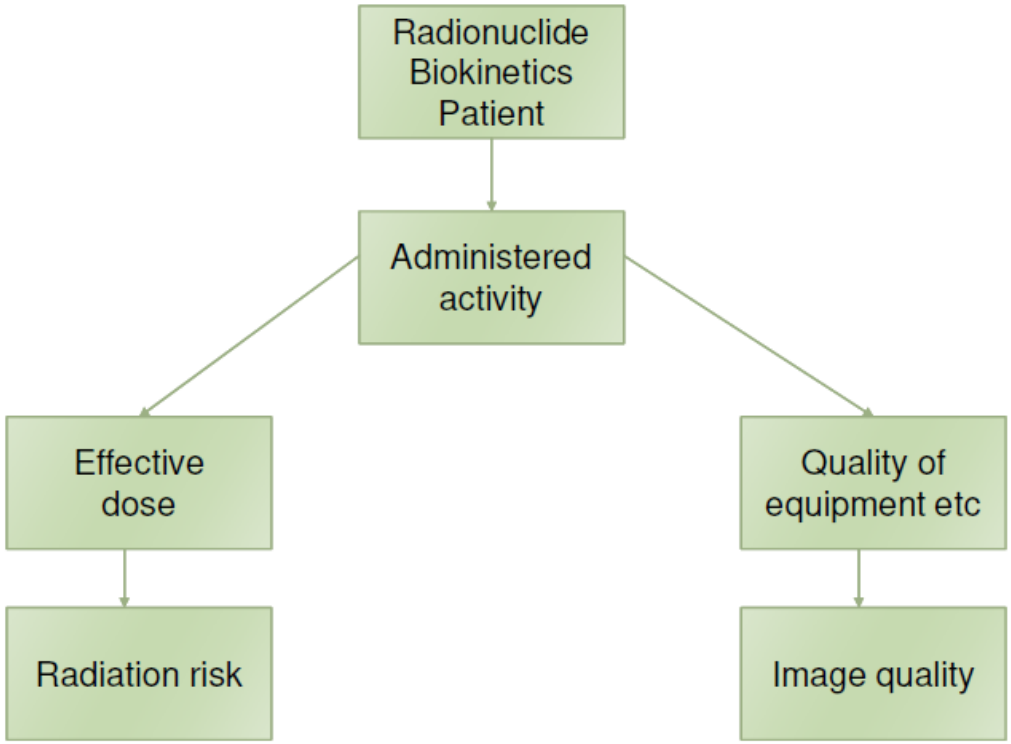
→ Ne pas compromettre l'efficacité diagnostique ou thérapeutique

# Optimisation



# Optimisation

➢ Comment optimiser l'examen ?




*IAEA Training Material on Radiation Protection in Nuclear Medicine*

- Choix du radiopharmaceutique
- Adaptation de l'activité
- Optimiser les paramètres d'acquisition et de reconstruction (CT et MN)
- Assurance qualité des équipements

=> Incidence sur la dose efficace

# Optimisation

- Comment optimiser l’activité du radiopharmaceutique injecté en fonction du radionucléide, de l'âge et de la morphologie de l’enfant?

  - EANM Dosage Card 2016

  - (www.eanm.org/publications/dosage calculator)

# Optimisation

## ➢ EANM Dosage Card 2016

- Choix du radiopharmaceutique
- **Adaptation de l'activité**
- Optimiser les paramètres d'acquisition et de reconstruction (CT et MN)
- Assurance qualité des équipements

=> Incidence sur la dose efficace

EANM — European Association of Nuclear Medicine — BIOMEDICAL IMAGING AND THERAPY FOR PERSONALIZED HEALTHCARE

### Dosage Card (Version 5.7.2016)

*Multiple of Baseline Activity*

| Weight kg | Class A | Class B | Class C | Weight kg | Class A | Class B | Class C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 1 | 1 | 1 | 32 | 3.77 | 7.29 | 14.00 |
| 4 | 1.12 | 1.14 | 1.33 | 34 | 3.88 | 7.72 | 15.00 |
| 6 | 1.47 | 1.71 | 2.00 | 36 | 4.00 | 8.00 | 16.00 |
| 8 | 1.71 | 2.14 | 3.00 | 38 | 4.18 | 8.43 | 17.00 |
| 10 | 1.94 | 2.71 | 3.67 | 40 | 4.29 | 8.86 | 18.00 |
| 12 | 2.18 | 3.14 | 4.67 | 42 | 4.41 | 9.14 | 19.00 |
| 14 | 2.35 | 3.57 | 5.67 | 44 | 4.53 | 9.57 | 20.00 |
| 16 | 2.53 | 4.00 | 6.33 | 46 | 4.65 | 10.00 | 21.00 |
| 18 | 2.71 | 4.43 | 7.33 | 48 | 4.77 | 10.29 | 22.00 |
| 20 | 2.88 | 4.86 | 8.33 | 50 | 4.88 | 10.71 | 23.00 |
| 22 | 3.06 | 5.29 | 9.33 | 52-54 | 5.00 | 11.29 | 24.67 |
| 24 | 3.18 | 5.71 | 10.00 | 56-58 | 5.24 | 12.00 | 26.67 |
| 26 | 3.35 | 6.14 | 11.00 | 60-62 | 5.47 | 12.71 | 28.67 |
| 28 | 3.47 | 6.43 | 12.00 | 64-66 | 5.65 | 13.43 | 31.00 |
| 30 | 3.65 | 6.86 | 13.00 | 68 | 5.77 | 14.00 | 32.33 |

$$A[MBq]_{\text{Administered}} = BaselineActivity \times Multiple$$

a) For a calculation of the administered activity, the baseline activity value has to be multiplied by the multiples given above for the recommended radiopharmaceutical class (see reverse).

b) If the resulting activity is smaller than the minimum recommended activity, the minimum activity should be administered.

c) The national diagnostic reference levels should not be exceeded!

**Examples:**

a) $^{18}$F FDP-PET Brain, 50 kg: activity to be administered [MBq] = 14.0 x10.71 [MBq] ~ 150 MBq

b) $^{123}$ImIBG, 3 kg: activity to be administered [MBq] = 28.0 x1 [MBq] = 28 MBq < 37 MBq (Minimum Recommended Activity) → **activity to be administered: 37 MBq**

*Recommended Amounts in MBq*

| Radiopharmaceutical | Class | Baseline Activity (for calculation purposes only) MBq | Minimum Recommended Activity[1] MBq |
|---|---|---|---|
| $^{123}$I (Thyroid) | C | 0.6 | 3 |
| $^{123}$I Amphetamine (Brain) | B | 13.0 | 18 |
| $^{123}$I HIPPURAN (Abnormal renal function) | B | 5.3 | 10 |
| $^{123}$I HIPPURAN (Normal renal function) | A | 12.8 | 10 |
| $^{123}$I mIBG | B | 28.0 | 37 |
| $^{131}$I mIBG | B | 5.6 | 35 |
| $^{18}$F FDG-PET torso | B | 25.9 | 26 |
| $^{18}$F FDG-PET brain | B | 14.0 | 14 |
| $^{18}$F Sodium fluoride | B | 10.5 | 14 |
| $^{67}$Ga Citrate | B | 5.6 | 10 |
| $^{68}$Ga-labelled peptides | B | 12.8 | 14 |
| $^{99m}$Tc ALBUMIN (Cardiac) | B | 56.0 | 80 |
| $^{99m}$Tc COLLOID (Gastric Reflux) | B | 2.8 | 10 |
| $^{99m}$Tc COLLOID (Liver/Spleen) | B | 5.6 | 15 |
| $^{99m}$Tc COLLOID (Marrow) | B | 21.0 | 20 |
| $^{99m}$Tc DMSA | B | 6.8 | 18.5 |
| $^{99m}$Tc DTPA (Abnormal renal function) | B | 14.0 | 20 |
| $^{99m}$Tc DTPA (Normal renal function) | A | 34.0 | 20 |
| $^{99m}$Tc ECD | B | 51.8 | 100 |
| $^{99m}$Tc HMPAO (Brain) | B | 51.8 | 100 |
| $^{99m}$Tc HMPAO (WBC) | B | 35.0 | 40 |
| $^{99m}$Tc IDA (Biliary) | B | 10.5 | 20 |
| $^{99m}$Tc MAA / Microspheres | B | 5.6 | 10 |
| $^{99m}$Tc MAG3 | A | 11.9 | 15 |
| $^{99m}$Tc MDP | B | 35.0 | 40 |
| $^{99m}$Tc Pertechnetate (Cystography) | B | 1.4 | 20 |
| $^{99m}$Tc Pertechnetate (Ectopic Gastric Mucosa) | B | 10.5 | 20 |
| $^{99m}$Tc Pertechnetate (Cardiac First Pass) | B | 35.0 | 80 |
| $^{99m}$Tc Pertechnetate (Thyroid) | B | 5.6 | 10 |
| $^{99m}$Tc RBC (Blood Pool) | B | 56.0 | 80 |
| $^{99m}$Tc Sesta MIBI/Tetrofosmin (Cancer seeking agent) | B | 63.0 | 80 |
| $^{99m}$Tc Sesta MIBI/Tetrofosmin[2] (Cardiac rest scan 2-day protocol min) | B | 42.0 | 80 |
| $^{99m}$Tc Sesta MIBI/Tetrofosmin[2] (Cardiac rest scan 2-day protocol max) | B | 63.0 | 80 |
| $^{99m}$Tc Sesta MIBI/Tetrofosmin[2] (Cardiac stress scan 2-day protocol min) | B | 42.0 | 80 |
| $^{99m}$Tc Sesta MIBI/Tetrofosmin[2] (Cardiac stress scan 2-day protocol max) | B | 63.0 | 80 |
| $^{99m}$Tc Sesta MIBI/Tetrofosmin[2] (Cardiac rest scan 1-day protocol) | B | 28.0 | 80 |
| $^{99m}$Tc Sesta MIBI/Tetrofosmin[2] (Cardiac stress scan 1-day protocol) | B | 84.0 | 80 |
| $^{99m}$Tc Spleen (Denatured RBC) | B | 2.8 | 20 |
| $^{99}$Tc TECHNEGAS (Lung ventilation)[3] | B | 49.0 | 100 |

# Optimisation

## ➢ NRD pédiatriques

- Mis en place par l'IRSN dès 2004 – l'Arrêté actuellement en vigueur est l'Arrêté du 23 mai 2019 : portant homologation de la décision n° 2019-DC-0667 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 18 avril 2019 relative aux modalités d'évaluation des doses de rayonnements ionisants délivrées aux patients lors d'un acte de radiologie, de pratiques interventionnelles radioguidées ou de médecine nucléaire et à la mise à jour des niveaux de référence diagnostiques associés.

- En médecine nucléaire, les grandeurs dosimétriques utilisées pour déterminer des niveaux de référence diagnostiques sont les **activités réellement administrées, exprimées en mégabecquerels (MBq),** et les **activités massiques (activités administrées divisées par le poids du patient)**, exprimées en mégabecquerels par kilogramme (MBq/kg).

  - Constat : Grande variabilité des doses délivrées pour un même examen
    → Nécessité de disposer de « références » comme outil d'optimisation

# Optimisation

- NRD pédiatriques

  - Périodicité : **Annuelle**

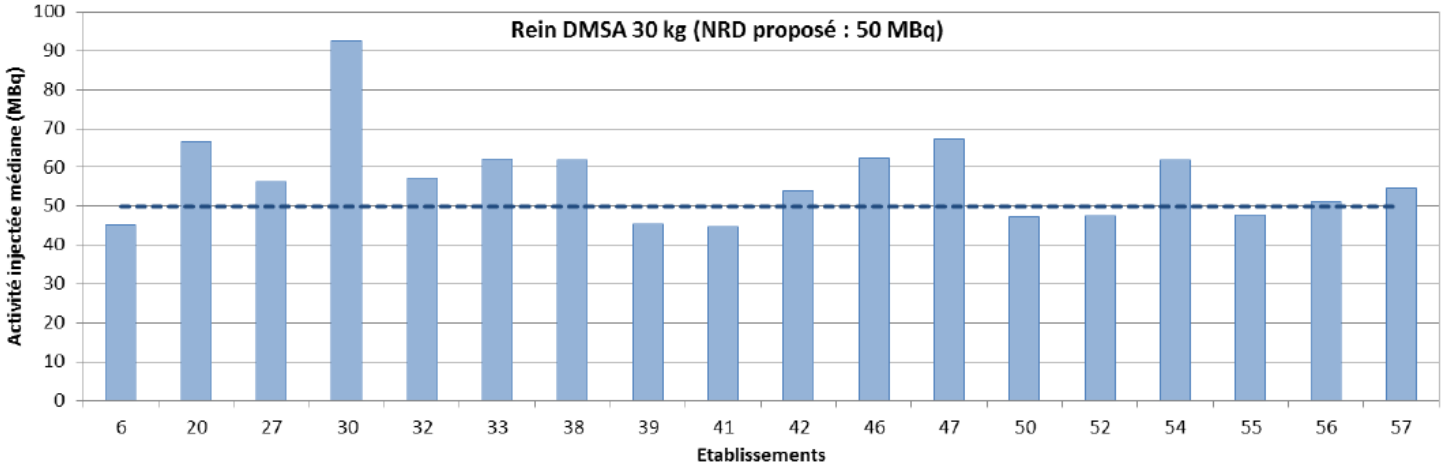
  Pour 2 examens réalisés dans le service :

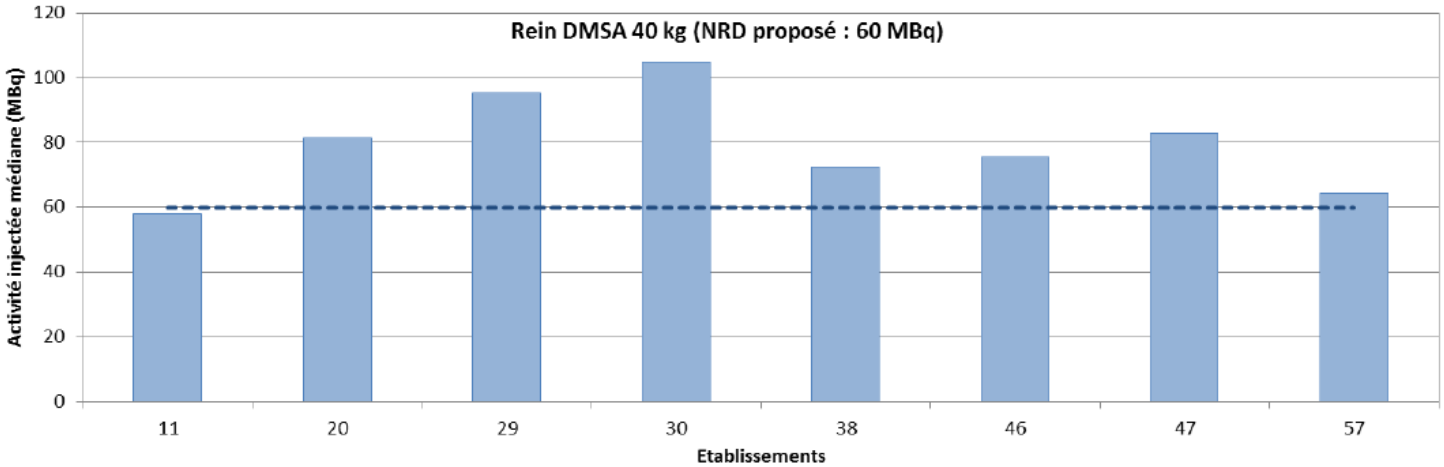
  - Recueil pour un même examen sur 30 patients consécutifs Paramètres du patient (Age, taille, poids..)
    - Recueil des données dosimétriques : l'activité en Médecine Nucléaire (et données relatives au scanner si examens couplés)

  - Analyse et transmission des données à **l'IRSN**

# Optimisation

# Optimisation



# Optimisation

- NRD pédiatriques

| Actes | Médicament radiopharmaceutique | Activité totale administrée (MBq) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 à <15 kg | 15 à <25 kg | 25 à <35 kg | 35 à <45 kg | 45 à <55 kg |
| Scintigraphie rénale dynamique | $^{99m}$Tc - mertiatide (MAG3) | 25 | 35 | 45 | 50 | - |
| Scintigraphie du cortex rénal | $^{99m}$Tc - acide dimercaptosuccinique (DMSA) | 20 | 35 | 50 | 60 | - |

| Actes | Médicament radiopharmaceutique | Activité totale administrée (MBq) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 à <15 kg | 15 à <25 kg | 25 à <35 kg | 35 à <45 kg | 45 à <55 kg |
| Scintigraphie du squelette | $^{99m}$Tc - oxidronate (HDP)<br>$^{99m}$Tc - sel tétrasodique d'acide 3,3-diphosphono-1,2-propane dicarboxylique (DPD) | 95 | 170 | 240 | 310 | 375 |
| Tomographie par émission de positons au $^{18}$F-fluorodesoxyglucose | $^{18}$F - fluorodesoxyglucose (FDG) | 40 | 70 | 100 | 125 | 150 |

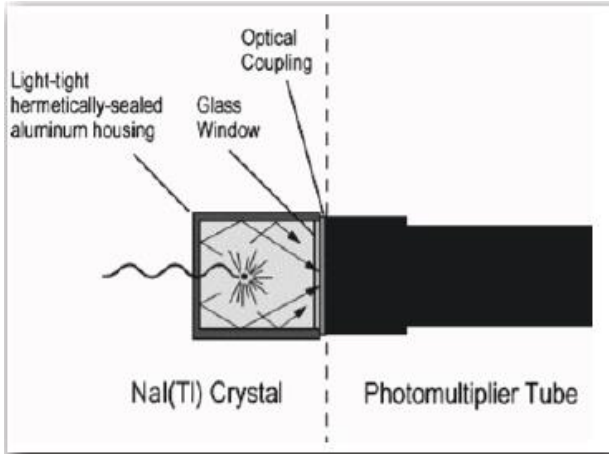
# Optimisation

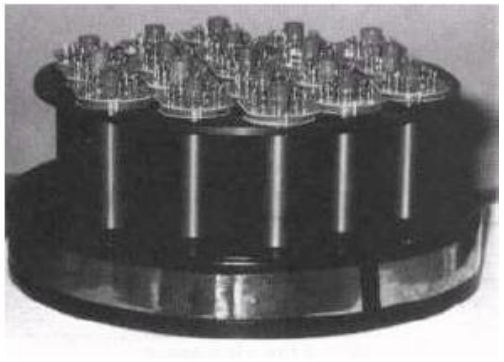
- Choix du radiopharmaceutique
- Adaptation de l'activité
- Optimiser les paramètres d'acquisition et de reconstruction (CT et MN)
- **Assurance qualité des équipements**

=> Incidence sur la dose efficace

Evolution des détecteurs : meilleure sensibilité => limitation de l'irradiation

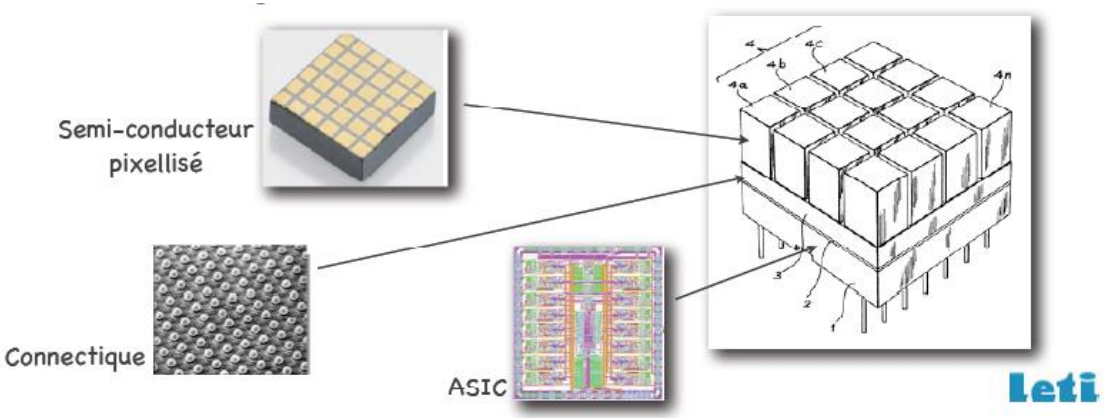
Caméra de Angers



Gamma-caméra de Anger 1963

Caméra à semi conducteurs

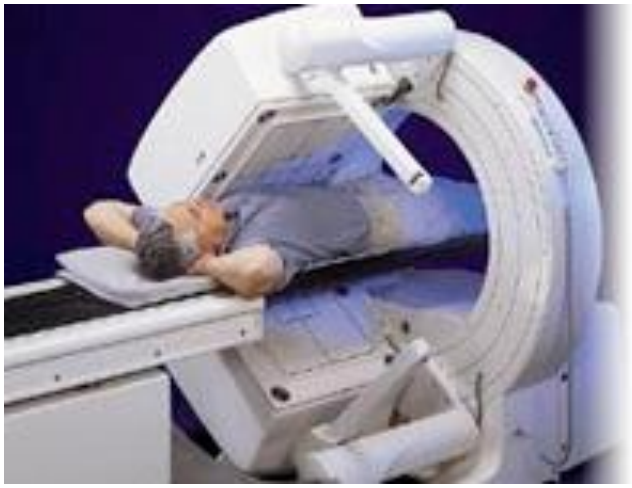


# Optimisation

- Choix du radiopharmaceutique
- Adaptation de l'activité
- Optimiser les paramètres d'acquisition et de reconstruction (CT et MN)
- **Assurance qualité des équipements**

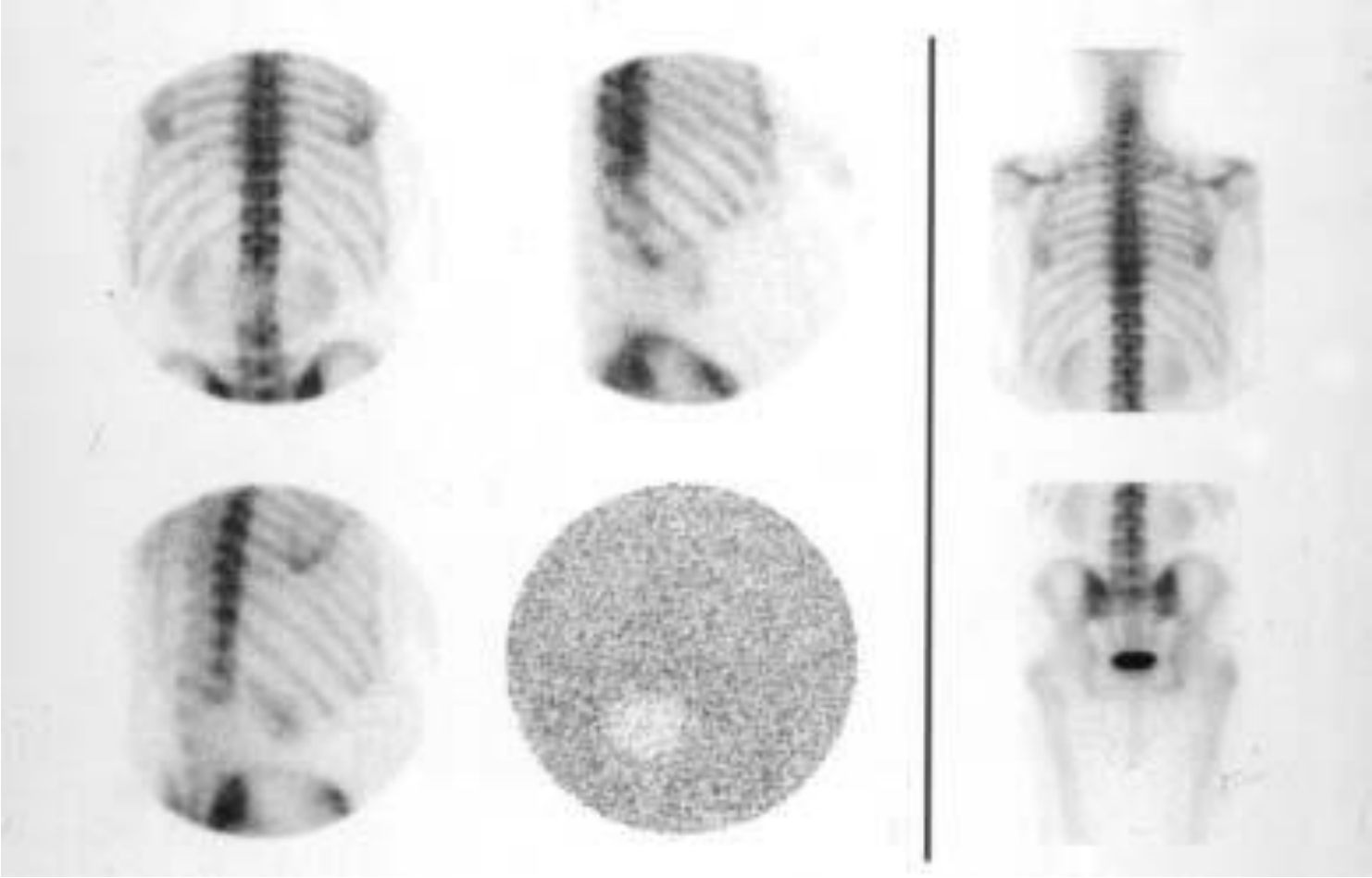
=> Incidence sur la dose efficace

- Contrôle qualité des appareillages selon la réglementation en vigueur



# Optimisation

Exemple d’examen réalisé alors que le contrôle de qualité est défaillant



# Optimisation

- **Choix du radiopharmaceutique**
- Adaptation de l'activité
- Optimiser les paramètres d'acquisition et de reconstruction (CT et MN)
- Assurance qualité des équipements

=> Incidence sur la dose efficace

| Examens scintigraphiques (sigle) | Dose efficace par unité d'activité administrée (µSv/MBq) | | |
|---|---|---|---|
| | CIPR103 (1) | CIPR 60 (2) Rapports SFPM | Écart relatif (%) (1-2)/2 |
| 18F-FDG | 17,1 | 19,0 | -10,0% |
| 18F-DOPA | 15,7 | 26,0 | -39,6% |
| 51Cr-EDTA | 1,4 | 2,1 | -31,9% |
| 99mTc-Colloides de petite taille (6 h p.i.) | 2,2 | 1,2 | 86,7% |
| 99mTc-MAA | 14,0 | 11,0 | 27,3% |
| 99mTc-MAG3 (normal) | 4,0 | 7,4 | -45,9% |
| 99mTc-MIBI (repos) | 6,6 | 8,5 | -22,2% |
| 99mTc-MIBI (effort) | 6,3 | 7,4 | -15,0% |
| $99mTcO_4^- Na^+$ | 15,8 | 12,0 | 31,7% |
| 99mTc-HMPAO-Leucocytes | 10,2 | 11,0 | -7,3% |
| 111In-Pentétréotide | 59,3 | 55,0 | 7,8% |
| 123I-Ioflupane | 36,5 | 48,0 | -24,0% |
| 123I-MIBG | 16,7 | 13,0 | 28,5% |
| 201Tl | 102,0 | 151,0 | -32,5% |

*EJNMMI Phys.* **1**, 9 (2014)

JM Vrigneaud, EPU RPP SFPM Paris 2018

# Optimisation

- **Choix du radiopharmaceutique**
- Adaptation de l'activité
- Optimiser les paramètres d'acquisition et de reconstruction (CT et MN)
- Assurance qualité des équipements

=> Incidence sur la dose efficace

| Radioélément | Période | Principales émissions en keV (γ)/X | Intensité en % |
|---|---|---|---|
| $^{99m}Tc$ | 6,007 h | 140,5 | 89 |
| $^{67}Ga$ | 3,259 j | 93,3<br>184,6<br>300,2 | 39<br>21<br>17 |
| $^{123}I$ | 13,21 h | 158,9 | 83 |
| $^{111}In$ | **2,804 j** | 171,3<br>245,3 | 90<br>94 |
| $^{201}Tl$ | **3,041 j** | 69<br>70,8<br>79,8<br>167,4 | 27<br>47<br>16<br>10 |
| $^{131}I$ | 8,02 j | 364,5<br>606 ($E_{bêta}$ max) | 81,6<br>90 |
| $^{18}F$ | 1,829 h | 511<br>634 ($E_{bêta}$ max) | 194<br>97 |

# Optimisation

- Choix du radiopharmaceutique
- Adaptation de l'activité
- **Optimiser les paramètres d'acquisition et de reconstruction (CT et MN)**
- Assurance qualité des équipements

=> Incidence sur la dose efficace

## ➢ Les examens sans CT :

Extrait du rapport SFMN - Guide du bon usage de la TDM en médecine nucléaire :

« Il y a un consensus actuel pour établir qu'il n'y a pas d'indication validée de la TDM couplée pour les examens scintigraphiques suivants :
- Scintigraphie rénale
- Scintigraphie thyroïdienne (pathologie bénigne)
- Scintigraphie myocardique, ventriculographie isotopique
- Scintigraphie pulmonaire
- Recherche de saignement digestif »

# Optimisation

- Choix du radiopharmaceutique
- Adaptation de l'activité
- **Optimiser les paramètres d'acquisition et de reconstruction (CT et MN)**
- Assurance qualité des équipements

=> Incidence sur la dose efficace

➢ Les examens nécessitant un CT :

Extrait du rapport SFMN - Guide du bon usage de la TDM en médecine nucléaire :

« Avant de programmer une TDM couplée, il est impératif de déterminer si l'acte scanographique est justifié pour répondre à la question clinique.
Il est nécessaire d'adapter le paramétrage de la TDM couplée lors des examens réalisés en pédiatrie. Ce paramétrage doit rester compatible avec les critères de qualités de l'image afin de permettre de répondre aux questions cliniques justifiant l'examen. »

# Optimisation

- Choix du radiopharmaceutique
- Adaptation de l'activité
- **Optimiser les paramètres d'acquisition et de reconstruction (CT et MN)**
- Assurance qualité des équipements

=> Incidence sur la dose efficace

## ➢ Les examens nécessitant un CT :

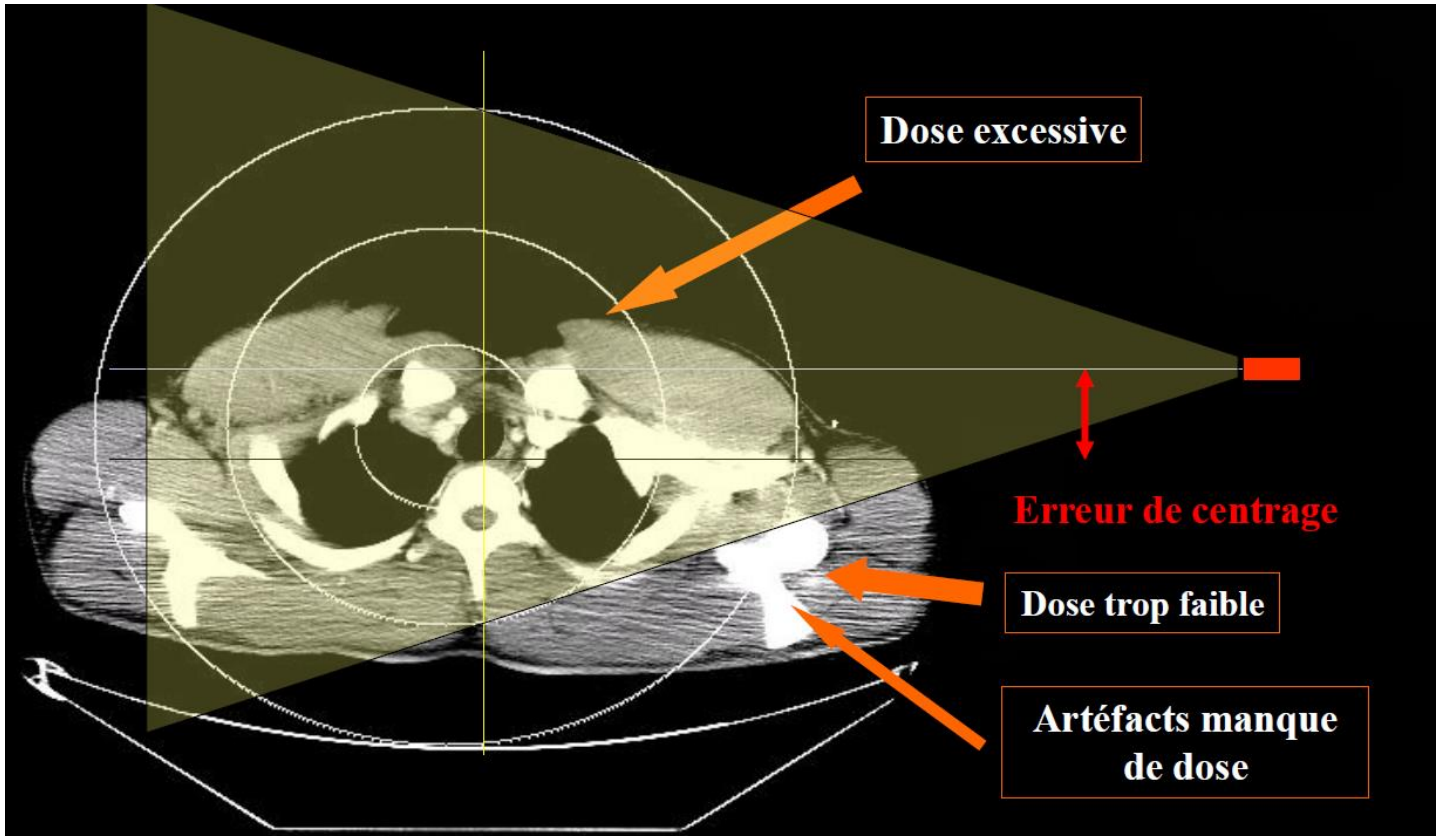
## Extrait du rapport SFMN - Guide du bon usage de la TDM en médecine nucléaire :

- Bien centrer le patient
- Optimiser le topogramme (dose et longueur adaptées)
- Choisir la tension la moins élevée en tenant compte du volume exploré: En pédiatrie, ces techniques d'acquisition à faible kV sont devenues la norme
- Diminuer la charge délivrée (par exemple en diminuant l'intensité mA, en baissant le temps de rotation et en augmentant le pitch)
- Limiter le volume exploré (champ de vue, nombre de coupes) à la plus petite région possible
- Adapter l'épaisseur de coupes à l'épaisseur de reconstruction souhaitée (coupes fines à utiliser avec précaution)

# Optimisation

« Bien centrer le patient »

Importance du **centrage** du patient sans quoi la répartition du faisceau sera hétérogène.




Patient excentré

# Optimisation

## « Choisir la tension la moins élevée »

***Le réglage des kV conditionne l'énergie du faisceau***

- *L'augmentation des kV augmente* ***la pénétration des photons***
- *L'augmentation des kV entraine une diminution* ***du contraste*** *(réduction des kV pour les tissus à faibles contrastes, abdomino-pelvien, cou…)*
- *L'augmentation des kV entraine une augmentation* ***de la dose*** *car la dose est proportionnelle à* $kV^2$
- ***Pour les enfants, en raison de leur morphologie, on va utiliser des tensions basses***

# Optimisation

*La morphologie du patient limite le choix des tensions et affecte le contraste*

*Pour les enfants (et patients minces), le choix de tensions basses rehausse le contraste et réduit la dose*

140 kV

120 kV

100 kV

80 kV

70 kV

# Optimisation

« Diminuer la charge délivrée (par exemple en diminuant l'intensité mA, en baissant le temps de rotation et en augmentant le pitch) »

***Le réglage des mAS conditionne la quantité de rayonnement émis***

- *L'augmentation des mAS augmente **le rapport signal sur bruit (S/B)***

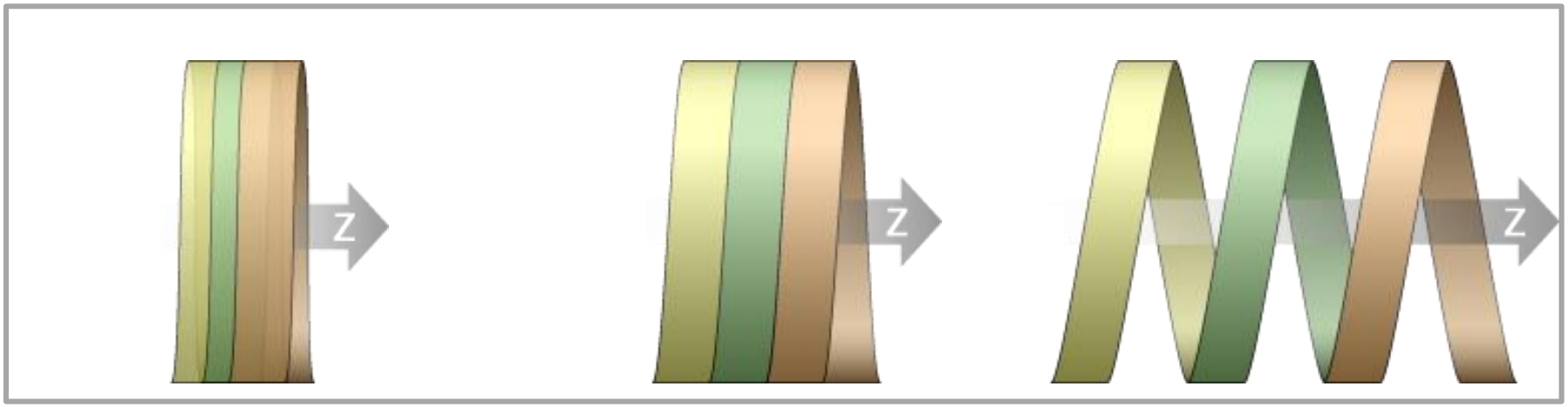
- *L'augmentation des mAs entraine une augmentation **du contraste sur bruit** (distinction de tissus de densités proches réduction possible pour des tissus à fort contraste spontané : sinus, parenchyme pulmonaire …)*

- *L'augmentation des mAS entraine une augmentation **de la dose** car la dose est proportionnelle au mAs*

- ***Pour les enfants, en raison de leur morphologie, selon la région explorée, on va privilégier une limitation des mAs***

# Optimisation

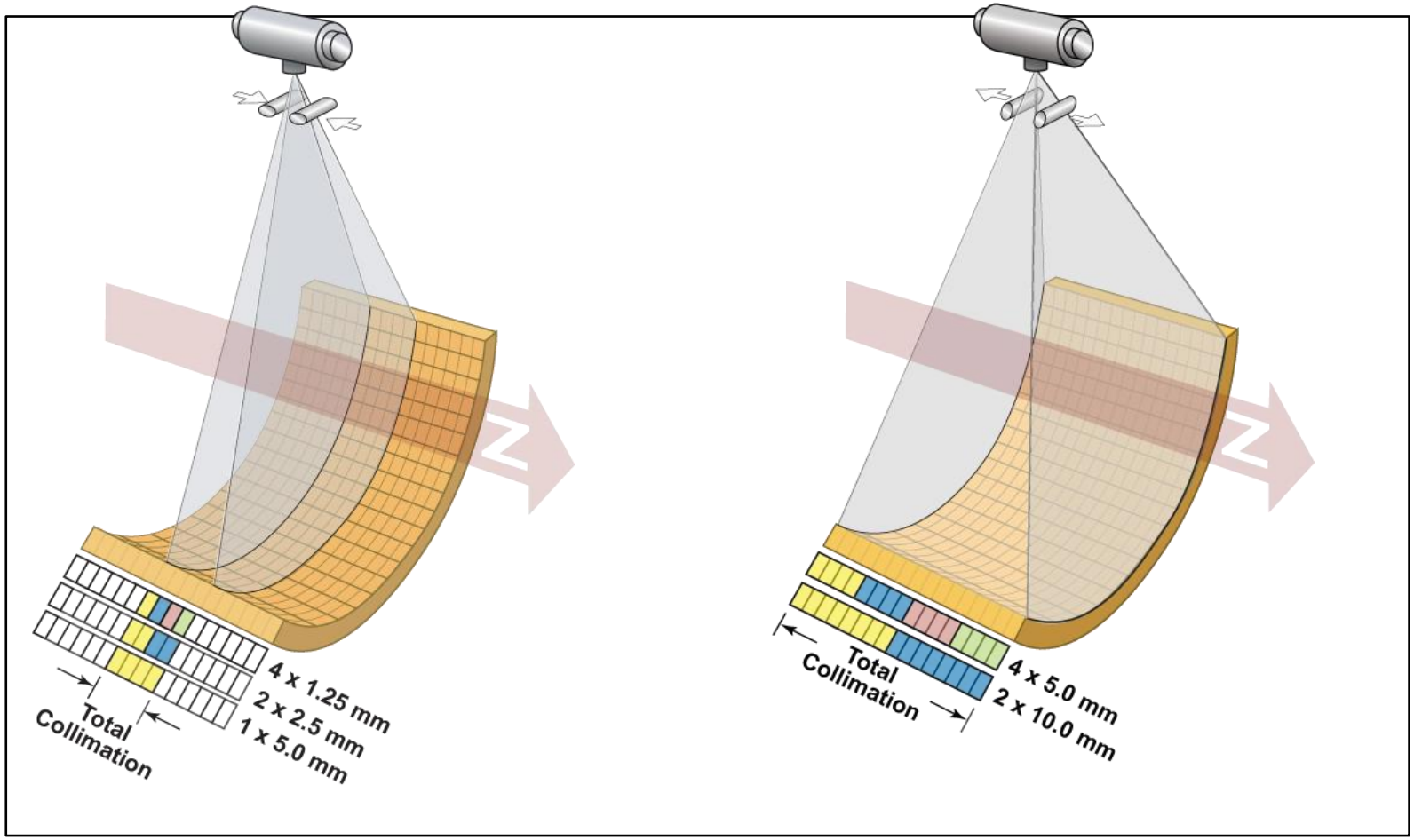
« Diminuer la charge délivrée (par exemple en diminuant l'intensité mA, en baissant le temps de rotation et en augmentant le pitch) »




| Pitch < 1 | Pitch = 1 | Pitch > 1 |
|---|---|---|
| Recouvrement du faisceau d'une rotation à la suivante | Pas de recouvrement, les coupes sont jointives | Certains angles ne sont pas couverts par le faisceau |

# Optimisation

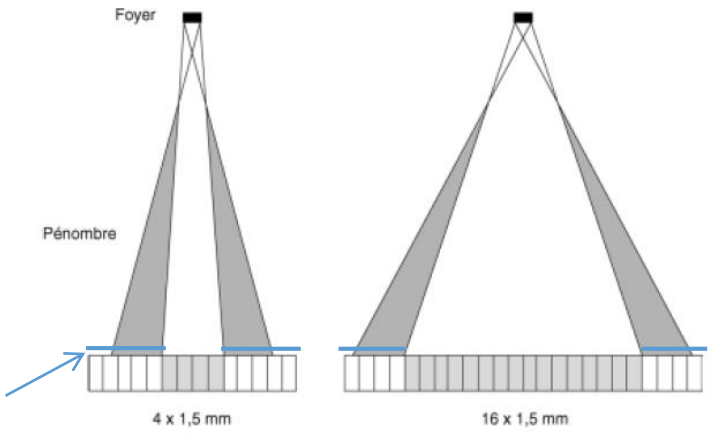
« Adapter l'épaisseur de coupes à l'épaisseur de reconstruction souhaitée (coupes fines à utiliser avec précaution) »



# Optimisation

« Adapter l'épaisseur de coupes à l'épaisseur de reconstruction souhaitée (coupes fines à utiliser avec précaution) »

*Le réglage de **la collimation à l'acquisition** conditionne la largeur du faisceau :*




***Exemple :***

- ***Collimation 4x1,5mm = 6 mm***
  *=> irradiation inutile =7x1,5mm=10,5mm/rotation*
  *⇒ pour une longueur de 6 cm(pitch =1) =10 rotations*
  *⇒ irradiation inutile = 100,5 mm*
- *Collimation 16x1,5mm = 24 mm*
  *=> irradiation inutile =7x1,5mm=10,5mm/rotation*
  *⇒ pour une longueur de 6 cm(pitch =1) => 2,5 rotations*
  *⇒ irradiation inutile = 26,25 mm*

- *Pour une longueur d'exploration fixée, la dose augmente quand on augmente la largeur du faisceau en raison de la pénombre= overbeaming (reste fixe quelle que soit la largeur du faisceau => plus de rotations pour une longueur explorée donnée).*
- *Seule la collimation secondaire élimine la pénombre mais n'a pas d'impact sur la dose*

# Optimisation

- Les examens nécessitant un CT :

Extrait du rapport SFMN - Guide du bon usage de la TDM en médecine nucléaire :

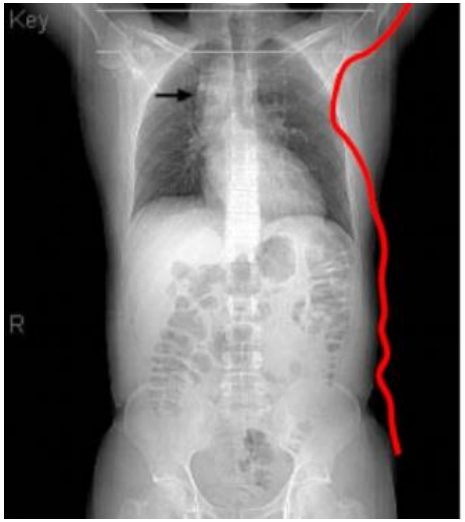
« De plus, il est recommandé d'utiliser **les systèmes de modulation automatique de la dose afin de réduire les doses délivrées**, bien que son intérêt soit très limité pour les nouveau-nés. Les techniques employées peuvent être basées sur la modulation en fonction du gabarit du patient, en fonction de l'atténuation selon la position en z et la modulation en temps réel en fonction de l'atténuation mesurée selon le plan de coupe xy. »

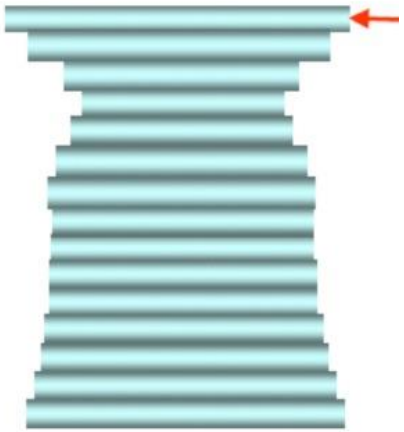
# Optimisation

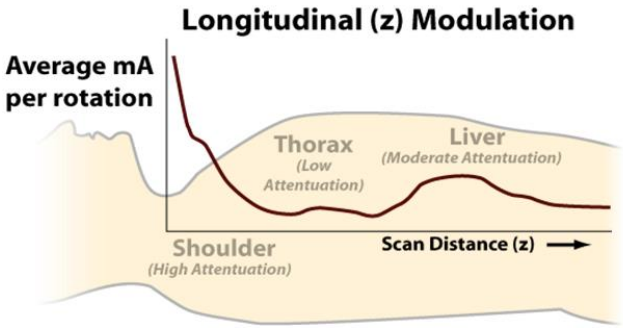
- Les examens nécessitant un CT :

Modulation d'intensité :

Adaptation des mA selon l'axe z. Les mA varient en fonction des variations d'atténuation selon l'axe des z (*permet de maintenir une même qualité d'image d'une coupe à la suivante).*Ces évaluations de variations d'atténuation sont estimées à partir du topogramme



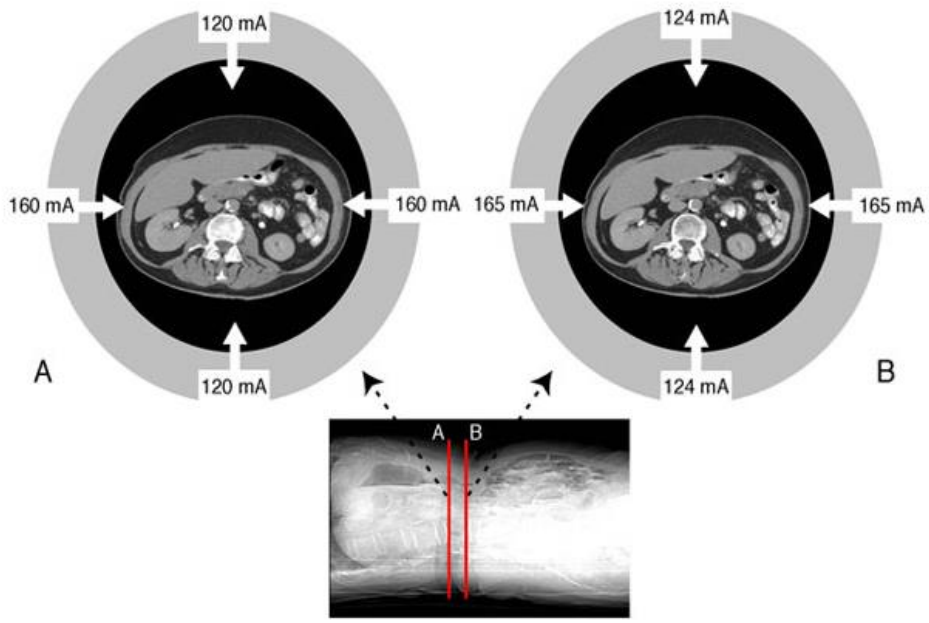


# Optimisation

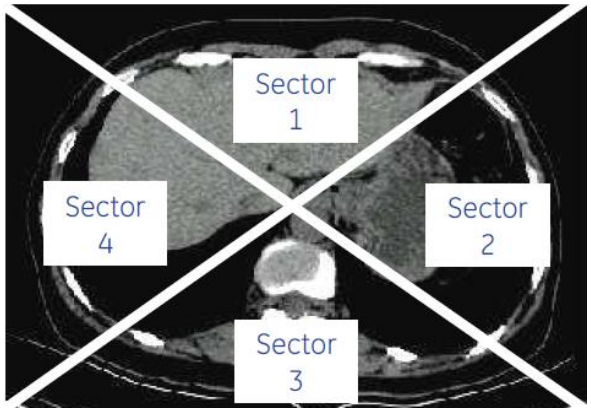
- Les examens nécessitant un CT :

Modulation d'intensité :

Adaptation des mA en x et y (à l'intérieur d'une coupe). Les mA sont modulés pendant une rotation du tube selon les différents angles : « modulation d'angle » *(permet de maintenir une même qualité d'image à l'intérieur d'une même coupe, pour toutes les régions anatomiques)*

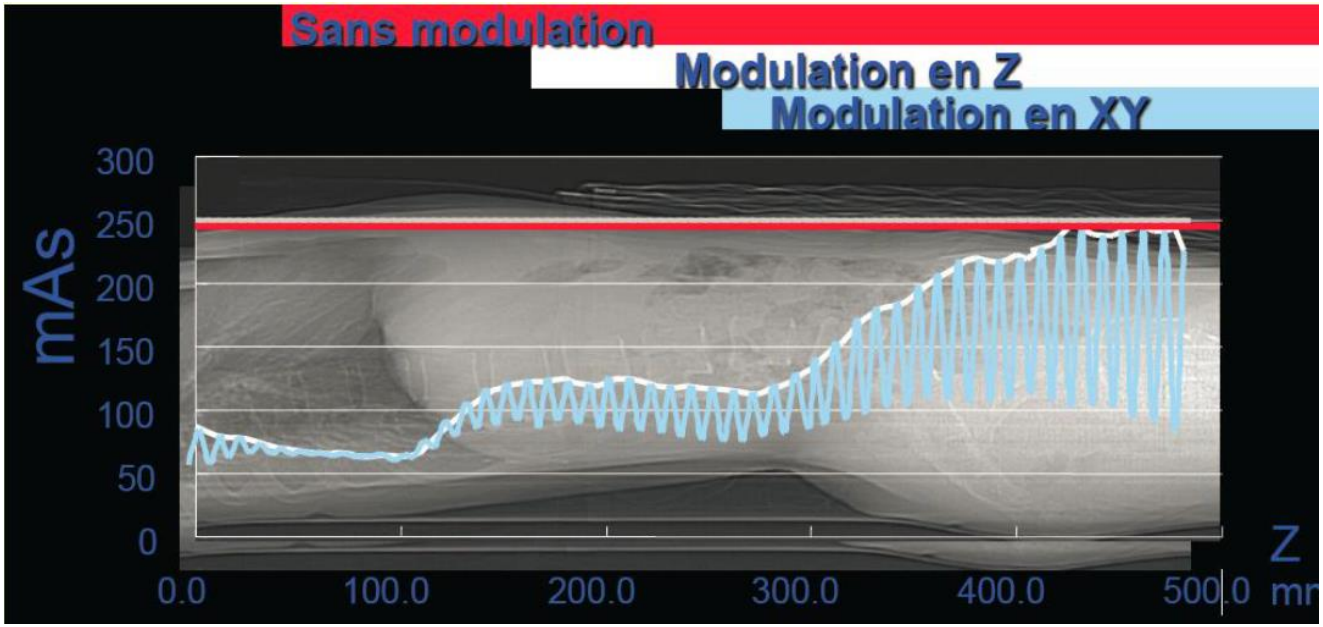



Modulation des mA dans 4 secteurs : SMART mA (GE)



# Optimisation

- Les examens nécessitant un CT :




| | Patient size | z-axis | angular |
|---|---|---|---|
| GE | Auto mA | | SmartmA |
| Philips | DoseRight ACS | DoseRight ZDOM | DoseRight DDOM |
| Siemens | CARE Dose 4D | | |

# Optimisation

## ➢ Les examens nécessitant un CT :

Paramétrages TEMP/TDM pour une scintigraphie osseuse en fonction de l'âge. Champ de vue abdomino pelvien. Caméra GE Health care. Discovery NM 670:

**Acquisition sur TAP**

| **Indication** | **0-2 ans<br>5-14 kg (cf HB si <5 kg)** | **3 - 7 ans<br>15-22 kg** | **8 -12 ans<br>23-40 kg** |
|---|---|---|---|
| Régions<br>Sens de l' acquisition<br>Position Respiratoire<br>Scout view<br>position des bras | TAP<br>CR - CA<br><br>**F 80 Kv / 10 mA**<br>haut | TAP<br>CR - CA<br><br>**F 80 Kv / 10 mA**<br>haut | TAP<br>CR - CA<br>inspiration<br>**F 80 Kv / 10 mA**<br>haut |
| **Paramètres CT**<br>Type acquisition<br>Temps rotation<br>Longueur rotation<br>Couverture du détecteur<br>Ep collimation (mm) / Interval<br><br>Pas et vitesse (Pitch)<br><br>SFov<br>Kv / mA<br><br>**ASIR**<br>Filtre Acquisition<br>Options recon<br><br>Filtre<br><br>**ASIR**<br><br>**CTDI recommandé (mGy)** | <br>Hélical<br>0,6s<br>entier<br>10.0 mm<br>1.25 / 0.625<br><br>1,375<br><br>**Large**<br>**80 KV / 140 mA**<br><br>**40**<br>**Standard**<br>Mode recon : plus (3000 /600)<br><br>**BONE PLUS**<br><br>**40**<br><br>**4** | <br>Hélical<br>0,6s<br>entier<br>10.0 mm<br>1.25 / 0.625<br><br>1,375<br><br>**Large**<br>**100 KV / 140 mA**<br><br>**40**<br>**Standard**<br>Mode recon : plus (3000 /600)<br><br>**BONE PLUS**<br><br>**40**<br><br>**5** | <br>Hélical<br>0,6s<br>entier<br>10.0 mm<br>1.25 / 0.625<br><br>1,375<br><br>**Large**<br>**120 KV / 140 mA**<br><br>**40**<br>**Standard**<br>Mode recon : plus (3000 /600)<br><br>**BONE PLUS**<br><br>**40**<br><br>**7** |
| **Films** | Envoi sur pacs | Envoi sur pacs | Envoi sur pacs |

Extrait du rapport SFMN - Guide du bon usage de la TDM en médecine nucléaire

# Optimisation

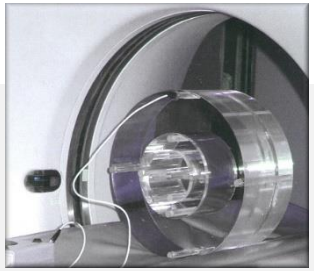
## ➢ Les examens nécessitant un CT :

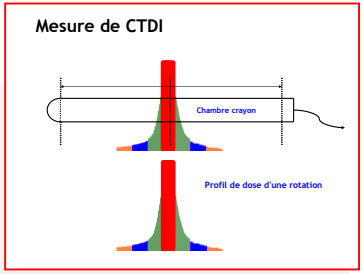
Paramétrages TEMP/TDM centré sur l'abdomen pour une scintigraphie 123I-MIBG en fonction de l'âge de l'enfant. Champ de vue abdomino pelvien. Caméra GE Health care. Discovery NM 670:

| **Indication** | **0-2 ans**<br>**5-14 kg (cf HB si <5 kg)** | **3 - 7 ans**<br>**15-22 kg** | **8 -12 ans**<br>**23-40 kg** |
|---|---|---|---|
| Régions | TAP | TAP | TAP |
| Sens de l' acquisition | CR - CA | CR - CA | CR - CA |
| Position Respiratoire | | | |
| Scout view | **F 80 Kv / 10 mA** | **F 80 Kv / 10 mA** | **F 80 Kv / 10 mA** |
| position des bras | bras le long du corps | bras le long du corps | bras le long du corps |
| **Paramètres CT** | | | |
| Type acquisition | Hélical | Hélical | Hélical |
| Temps rotation | 0,6s | 0,6s | 0,8s |
| Longueur rotation | entier | entier | entier |
| Couverture du détecteur | 20.0 mm | 20.0 mm | 20.0 mm |
| Ep collimation (mm) / Interval | 2.5 / 1.25 | 1.25 / 1 | 1.25 / 1 |
| Pas et vitesse (Pitch) | 1,375 | 1,375 | 1,375 |
| SFov | **Large** | **Large** | **Large** |
| Kv / mA | **100 KV / 140 mA** | **100 KV / 160 mA** | **120 KV / 100 mA** |
| **ASIR** | **40** | **40** | **40** |
| Filtre Acquisition | **Standard** | **Standard** | **Standard** |
| Options recon | Mode recon : plus (3000 /600) | Mode recon : plus (3000 /600) | Mode recon : plus (3000 /600) |
| Filtre | **Stnd** | **Stnd** | **Stnd** |
| **ASIR** | **40** | **40** | **40** |
| Options recon | Mode recon : Plus (400/40) | Mode recon : Plus (400/40) | Mode recon : Plus (400/40) |
| **CTDI NRD (mGy) (CTDI estimé)** | **4 (3.44)** | **5 (3.93)** | **7 (5.44)** |

Extrait du rapport SFMN - Guide du bon usage de la TDM en médecine nucléaire

# ***Rappel :*** *CTDI et PDL*






*Le CTDIvol est un* ***index dosimétrique*** *:*

- ***Ce n'est pas une dose patient*** *(en aucun cas une dose à la peau, une dose à un organe ou une dose efficace)*

- *C'est un index dosimétrique exprimé en mGy* ***mesuré sur un fantôme*** *soit de diamètre 16 cm (localisation tête) soit sur un fantôme de 32 cm (localisation corps)*

- *Ces* ***mesures sont faites par le constructeur en usine****, les valeurs reportées sur la console ne sont donc pas mesurées lors de l'examen réalisé.*

*La DLP n'est autre que la multiplication du CTDIvol par la longueur explorée, elle n'est pas non plus mesurée lors de l'examen.*

*Ces deux index dosimétriques sont utilisés pour :*

- *Comparer des protocoles similaires (sur 2 scanners distincts, utilisant des paramétrages différents et est nécessaire pour évaluer une dose à l'organe ou une dose efficace…)*

# Vigilance sur la dose relevée

Patient Name: [redacted]
Accession Numb[redacted]
Patient [redacted]
Exam Description: TEP CONTRASTE

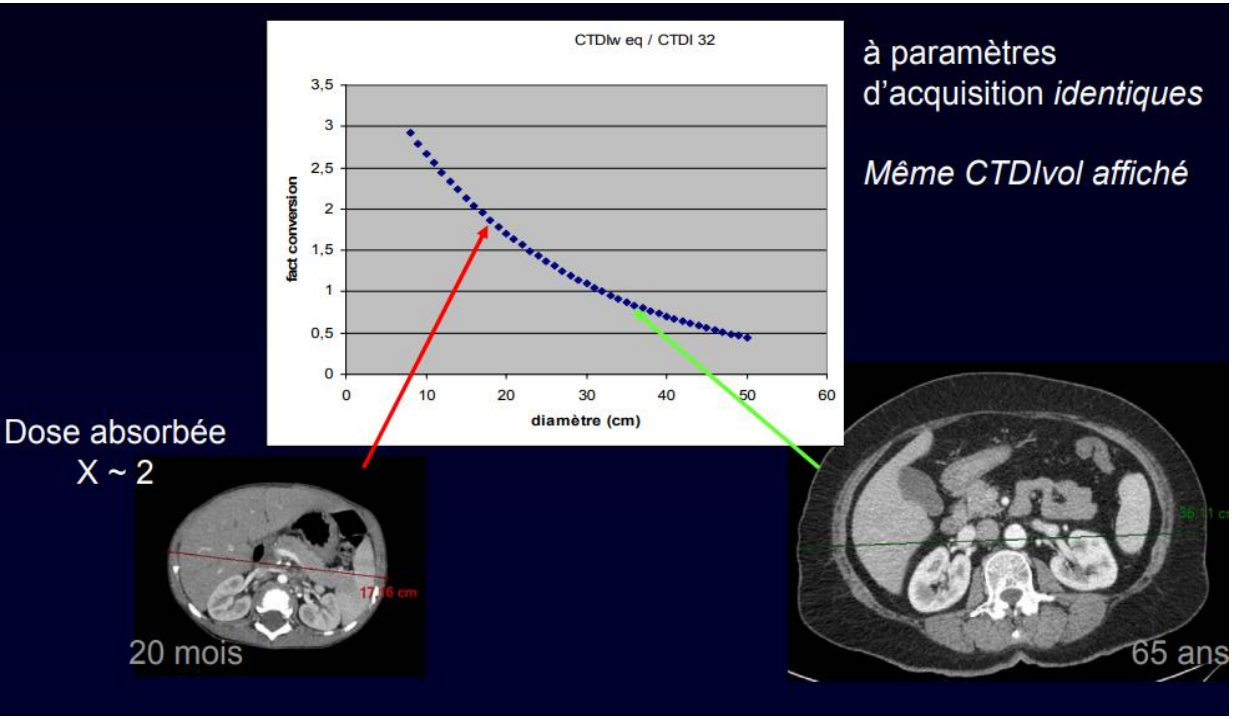
Exam no: 4558
1[redacted]
Discovery 710

Rapport de dose

| Series | Type | Scan Range (mm) | CTDIvol (mGy) | DLP (mGy-cm) | Phantom cm |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Scout | - | - | - | - |
| 2 | Scout | - | - | - | - |
| 3 | Helical | 146.250-1401.250 | 0.56 | 79.17 | Body 32 |
| | | | Total Exam DLP: | 79.17 | |

1/1

Les indicateurs de dose se réfèrent aux mesures sur les objets test ‘**Body 32** ou ‘’Head16’’




Forte sous estimation de la dose

Le SSDE : Size Specific Dose Estimates ou

ESTIMATEUR DE DOSE MORPHOLOGIQUE pour le tronc

*C. Barrau. Applications et protocoles d’exploration en TDM. Cours D.E.S Médecine Nucléaire 2023*

# Plan

- Introduction
- Dosimétrie
- Optimisation
- Radioprotection

# Radioprotection

- Réglementation relative aux locaux

## Décrets, arrêtés, circulaires

### TEXTES GÉNÉRAUX

**MINISTÈRE DES AFFAIRES SOCIALES, DE LA SANTÉ ET DES DROITS DES FEMMES**

**Arrêté du 16 janvier 2015 portant homologation de la décision n° 2014-DC-0463 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 octobre 2014 relative aux règles techniques minimales de conception, d'exploitation et de maintenance auxquelles doivent répondre les installations de médecine nucléaire *in vivo***

Article 10

*La salle d'attente dédiée aux patients auxquels des radionucléides ont été administrés*

La salle dédiée à l'attente des patients auxquels des radionucléides ont été administrés, située à l'écart des circulations, est adaptée au nombre de patients pris en charge, avec des espaces distincts pour l'attente des adultes et des enfants.

# Radioprotection

## ➢ Réglementation relative à la gestion des déchets

**3.2.4.1** *Contrôle à la sortie de l'établissement*

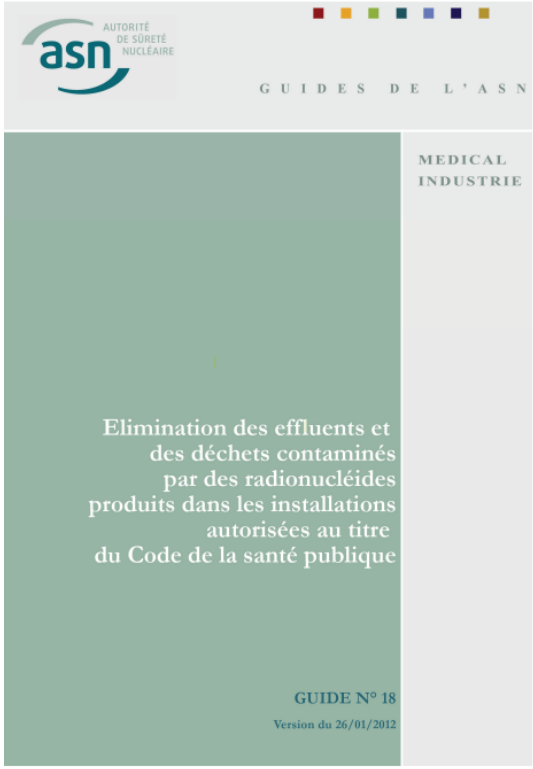
Pour les établissements de santé disposant d'une installation de médecine nucléaire utilisant des radionucléides à des fins de diagnostic in vivo ou de thérapie, un système de détection à poste fixe doit être installé à un endroit adapté permettant de contrôler l'ensemble des déchets produits par l'établissement afin de prévenir d'une présence fortuite de déchets radioactifs dans le circuit de gestion de déchets conventionnels. Le système de détection à poste fixe doit être adapté au volume du conteneur à contrôler.

Le processus de détection ne doit pas reposer sur une action manuelle et doit permettre notamment un fonctionnement en continu, un déclenchement automatique au passage d'un conteneur de déchets… L'automatisation de la mesure garantit le contrôle systématique de chaque sac ou conteneur de déchets ayant pour destination la filière d'élimination conventionnelle.

Le seuil du système de détection à poste fixe est fixé à 2 fois le bruit de fond. Il est précisé dans le plan de gestion.

Tout déclenchement du système de détection à poste fixe est enregistré et analysé ; ces enregistrements sont mis à la disposition de l'autorité administrative compétente (*cf. art. 14 de la décision [4]*).

La conduite à tenir en cas de déclenchement d'un système de détection à poste fixe doit être définie dans le plan de gestion. L'annexe 2 propose un exemple de conduite à tenir basée sur les dispositions retenues notamment par les centres d'enfouissement technique et les centres d'incinération de déchets dans une telle situation.



# Radioprotection

- Réglementation relative à la gestion des déchets

Étiquette patient

**PATIENT VENANT DE REALISER UNE SCINTIGRAPHIE EN MEDECINE NUCLEAIRE**

**Radioéléments :** ☐ Technétium
☐ Autres (thallium, Indium…)

**Protocole :**
- Placer un sac jaune dans la chambre du patient
- Élimination des déchets pouvant contenir des sécrétions (couches, …) dans les sacs jaunes pendant 24h pour le technétium et 72h pour les autres (*hors Iode protocole spécifique*)

Date de début …../…../…..
Date de fin …../…../…..  (*inclus*)

En cas de questions veuillez contacter le service de médecine nucléaire :
GDC : 3.37.87
LAP : 3.84.64

# Radioprotection

## ➢ Exposition à proximité d'un enfant

Les examens les plus courants réalisés chez les enfants en médecine nucléaire :

- Scintigraphie osseuse au $^{99m}$Tc : activité moyenne injectée de 170 MBq pour un enfant de 20 kg
- Scintigraphie rénale au $^{99m}$Tc : activité moyenne injectée de 34 MBq pour un enfant de 20 kg
- Scintigraphie à la MIBG $^{123}$I : activité moyenne injectée de 130 MBq pour un enfant de 20 kg

Sur la base des valeurs des débits d'équivalent de dose mesurés lors de la sortie des patients (extrait de documents INRS) et de calculs effectués par la Cellule de Radioprotection du CHU (logiciel DOSIMEX) , il est possible d'estimer les doses pour 10 min de présence à 30 cm de l'enfant :

| EXAMEN | Estimation de la dose reçue à 30 cm de l'enfant pour 10 min de présence sans tablier plombé | Estimation de la dose reçue à 30 cm de l'enfant pour 10 min de présence avec tablier plombé |
|---|---|---|
| Scintigraphie osseuse | 5 µSv | 2,5 µSv |
| Scintigraphie rénale | 1 µSv | 0,5 µSv |
| Scintigraphie MIBG $^{123}$I | 4 µSv | 2 µSv |

# Radioprotection

- Exposition à proximité d'un enfant

## Cas de la femme enceinte dans le personnel:

**Décret no 2018-437 du 4 juin 2018 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants**
*Art. R. 4451-7.* – En cas de grossesse, l'exposition de l'enfant à naître, pendant le temps qui s'écoule entre la déclaration de la grossesse et le moment de l'accouchement, est maintenue aussi faible que raisonnablement possible et, en tout état de cause, la dose équivalente reçue par l'enfant demeure inférieure à **1 mSv**.

**Extrait CIPR 84 "Grossesse et Irradiation médicale"**

« La limite de dose recommandée concerne la dose fœtale et n'est pas directement comparable à la dose mesurée sur un dosimètre individuel. »

En raison de l'atténuation, la dose lue sur le dosimètre porté à la poitrine est de l'ordre de **3 à 4 fois** supérieure à la dose fœtale pour une exposition liée à un examen de médecine nucléaire (hors $^{18}F$).

# Radioprotection

- Exposition à proximité d'un enfant

## Cas de la femme enceinte dans le personnel:

Pour atteindre une dose de 4 mSv mesurée par un dosimètre opérationnel (correspondant à une dose d'environ 1 mSv au fœtus), la femme enceinte devrait prendre en charge plus **800 patients** pendant **la durée de sa grossesse, sans tablier plombé**.

**En portant un tablier plombé** cette limite ne pourrait être atteinte que pour la prise en charge de plus de **1600 patients**.

# Radioprotection

## ➢ Exposition à proximité d'un enfant

- Les doses reçues liées à des enfants ayant préalablement passé une scintigraphie sont extrêmement faibles et de l'ordre de l'irradiation naturelle.

- Les recommandations classiques de radioprotection restent d'usage pour la prise en charge d'un enfant ayant passé une scintigraphie : port du tablier plombé (réduction de la dose d'un facteur 2) et port du dosimètre opérationnel et passif sous le tablier plombé.

Recommandation radioprotection

Sous tablier plombé

# Radioprotection

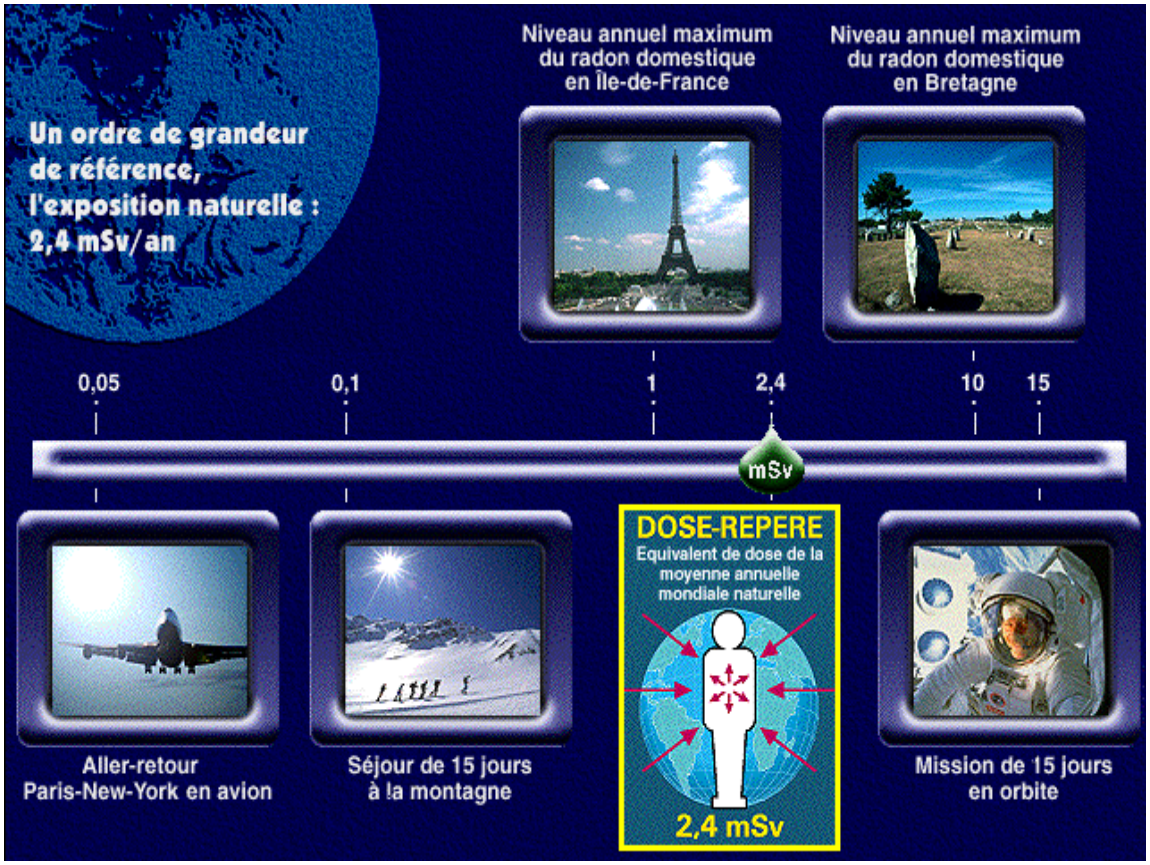
- Communication avec les parents sur la radioprotection de leur enfant

  - Le médecin nucléaire évalue le bénéfice apporté par l'examen à l'enfant
  - les doses de rayonnements sont faibles, le médecin utilise la plus faible dose de rayonnement requise pour obtenir les informations nécessaires au diagnostic
  - l'élimination du radiotraceur se fait par les urines ou les selles (boire beaucoup)
  - les doses de rayonnements reçues sont proches de l'irradiation naturelle annuelle (quelques mSv/an) à laquelle nous sommes tous exposés

# Radioprotection

- Communication avec les parents sur la radioprotection de leur enfant

## Exposition naturelle



# Radioprotection

## Remarque :

## Allaitement

| MRP | Activité utilisée pour le calcul (MBq) | Temps d'interruption temporaire de l'allaitement (heure) |
|---|---|---|
| $^{18}$F-FDG | 300 | 0 |
| $^{81m}$Kr | 2500 | 0 |
| $^{111}$In – pentétréotide | 220 | 0 |
| $^{123}$I | 10 | Arrêt définitif |
| $^{201}$Tl | 40 | 0 |
| $^{201}$Tl | 110 | 24 |
| $^{99m}$Tc-HDP | 700 | 0 |
| $^{99m}$Tc-Technegas | 40 | 0 |
| $^{99m}$Tc-MAA | 240 | 24 |
| $^{99m}$Tc-MIBI | 300 | 0 |
| $^{99m}$Tc-MIBI | 800 | 0 |
| $^{99m}$Tc-DMSA | 120 | 0 |
| $^{99m}$Tc-MAG3 | 200 | 0 |
| $^{99m}$Tc-DTPA | 370 | 0 |
| $^{99m}$Tc-Pyrophosphate | 850 | 0 |
| $^{99m}$Tc-Tc04 $^{-}$ Na$^{+}$ | 80 | 48 |
| $^{99m}$Tc-nanocolloïdes | 200 | 0 |
| $^{99m}$Tc-HMPAO | 500 | 0 |

Recommandations générales d'interruption temporaire de l'allaitement

# Radioprotection

## Remarque :

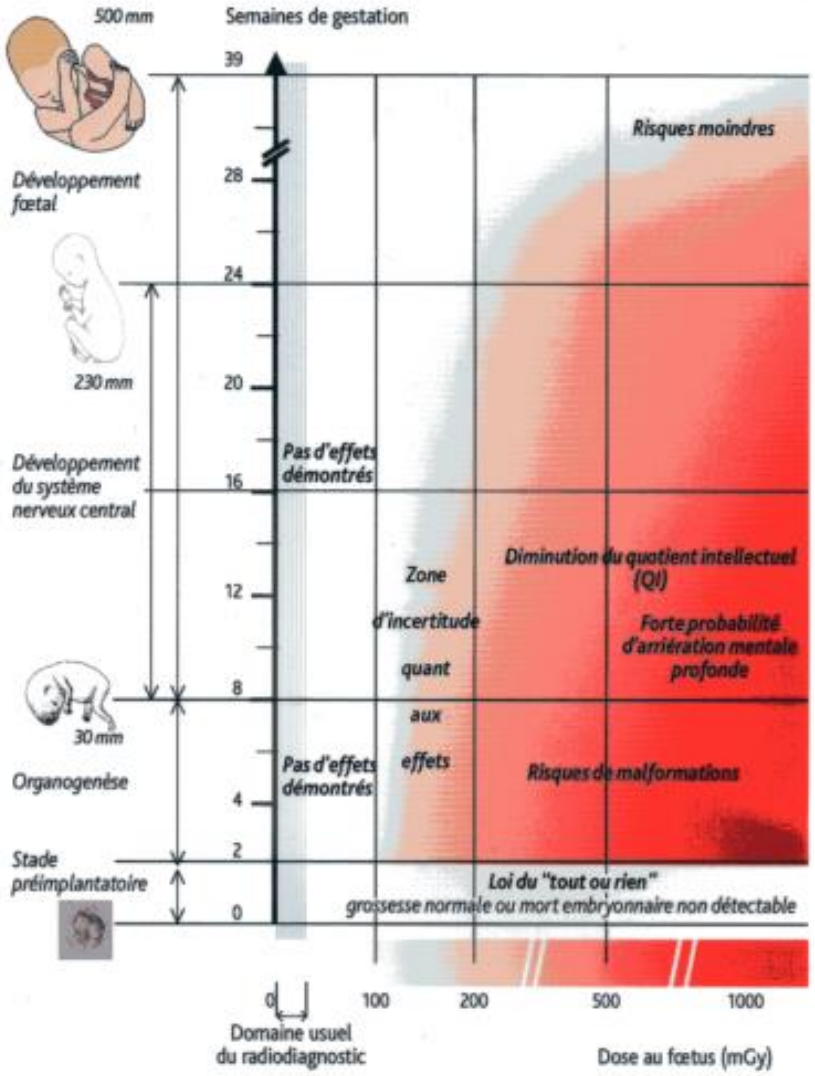
## Grossesse

| Radionucléide | Procédure | Radioactivité en MBq | Début de grossesse mGy | A terme mGy |
|---|---|---|---|---|
| $^{99m}$Tc | Scintigraphie osseuse phosponate | 750 | 4,6 - 4,7 | 1,8 |
| $^{99m}$Tc | Perfusion pulmonaire (MAA) | 200 | 0,4 – 0,6 | 0,8 |
| $^{99m}$Tc | Ventilation pulmonaire (aérosol) | 40 | 0,1 – 0,3 | 0,1 |
| $^{99m}$Tc | Scintigraphie de la thyroïde (pertechnétate) | 400 | 3,2 – 4,4 | 3,7 |
| $^{99m}$Tc | Globules rouges | 930 | 3,6 -6 | 2,5 |
| $^{99m}$Tc | Colloïde hépatique | 300 | 0,5 – 0,6 | 1,1 |
| $^{99m}$Tc | Fonction rénale (DTPA) | 750 | 5,9 – 9,0 | 3,5 |
| $^{67}$Ga | Abcès/tumeur | 190 | 14 - 18 | 25 |
| $^{123}$I | Captation thyroïdienne (1) | 30 | 0,4 – 0,6 | 0,3 |
| $^{131}$I | Captation thyroïdienne (1) | 0,55 | 0,03 – 0,04 | 0,15 |
| $^{131}$I | Recherche de métastase (1) | 40 | 2,0 – 2,9 | 11,0 |

**(1) Les doses thyroïdiennes fœtales sont beaucoup plus élevées que la dose corporelle totale fœtale, à savoir 5 à 15 mGy/MBq pour $^{123}$I et 0,5 à 1 Gy / MBq pour $^{131}$I**

# Radioprotection

## Remarque :



# MERCI