



Radioprotection en pédiatrie

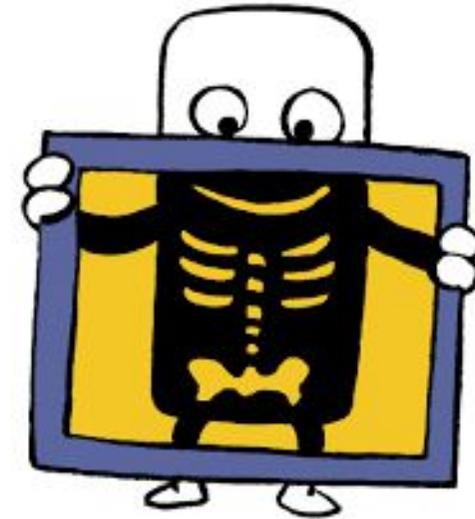
Clémence Dufour

PH, service d'Imagerie Pédiatrique

Hôpital Femme Mère Enfant , Lyon

Irradiation en pédiatrie

- Etat des lieux
- Risques ?
- Principes de radioprotection



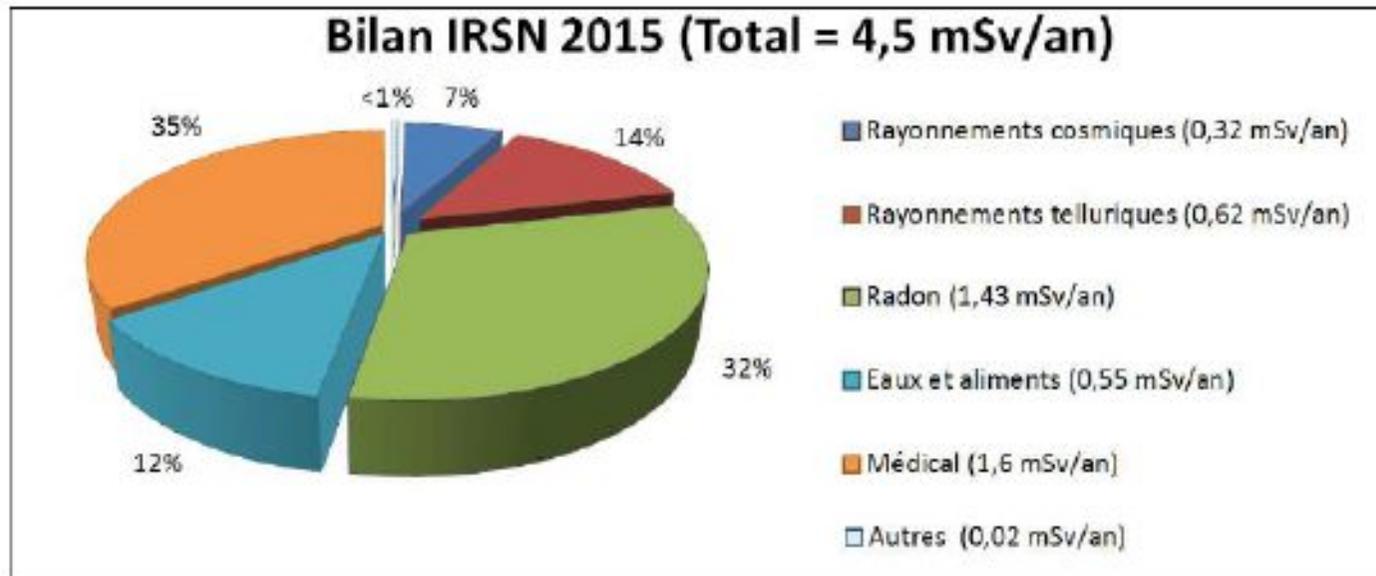
*Parce que leur corps est plus petit, parce que leurs organes sont en croissance, les enfants sont particulièrement sensibles aux risques liés aux rayonnements ionisants...
... D'où la nécessité de réduire au minimum les doses reçues lors d'examens en radiographie et scanographie.*

Irradiation en pédiatrie : Etat des lieux

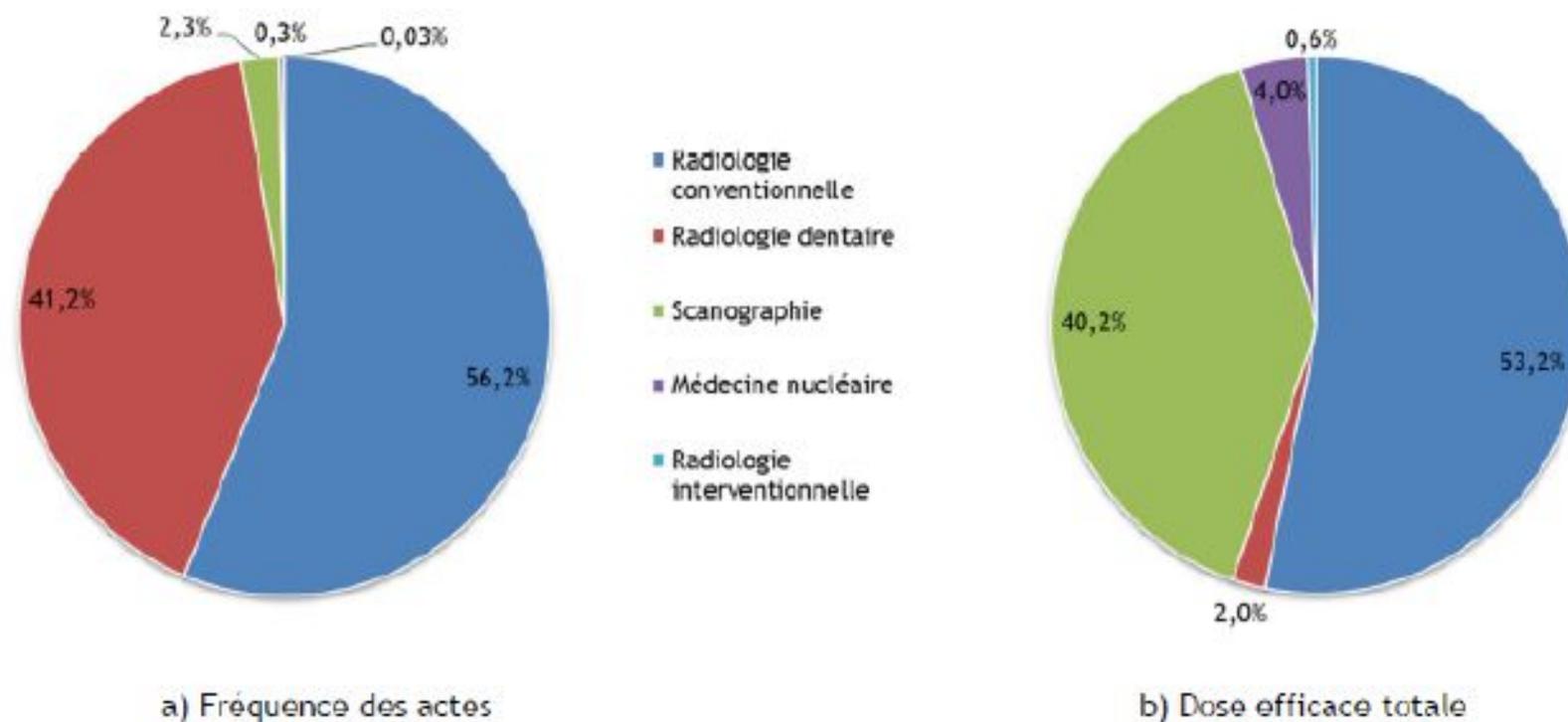
En France :

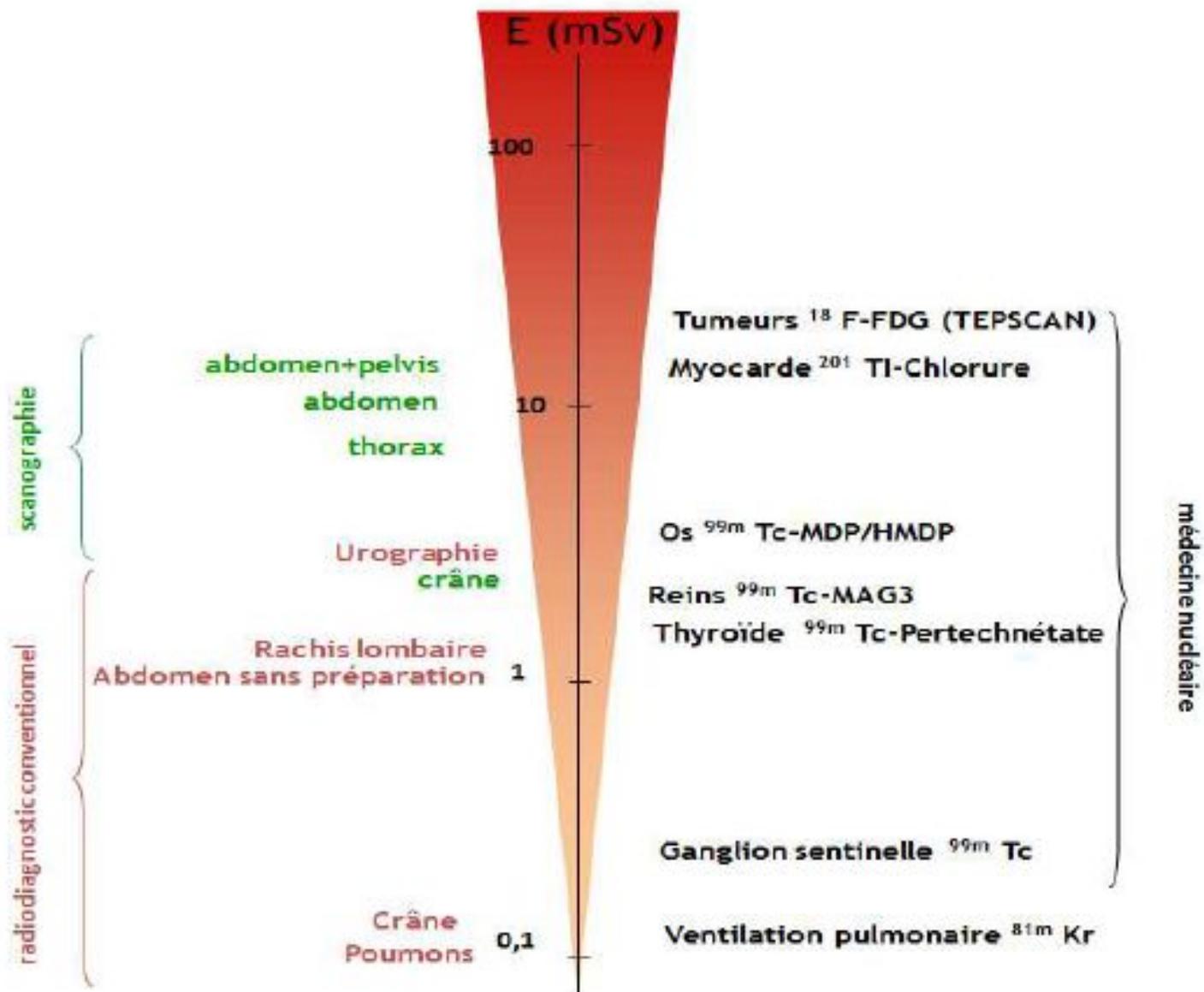
La proportion d'enfants ayant bénéficié d'au moins un acte diagnostique atteint 31 % (+2 %).

La dose efficace annuelle moyenne s'élève à 0,135 mSv par enfant (en baisse).



La Figure 1 présente, par modalités d'imagerie, les fréquences de réalisation des actes et la répartition de la dose efficace totale associée, tout âge et sexe confondus.





Quelques ordres de grandeur des doses efficaces reçues lors d'examens diagnostiques

Table 4. Typical effective doses for diagnostic imaging examinations and their equivalence in terms of number of chest X-rays and duration of exposure to natural background radiation^a

| Diagnostic procedure | Equivalent number of chest X-rays | Equivalent period of exposure to natural radiation ^b | Typical effective dose (mSv) |
|---|-----------------------------------|---|------------------------------|
| Chest X-ray (single PA film) | | | |
| Adult | 1 | 3 days | 0.02 ^c |
| 5-year-old | 1 | 3 days | 0.02 ^c |
| CT head | | | |
| Adult | 100 | 10 months | 2 ^c |
| Newborn | 200 | 2.5 years | 6 |
| 1-year-old | 185 | 1.5 years | 3.7 |
| 5-year-old | 100 | 10 months | 2 ^d |
| 10-year-old | 110 | 11 months | 2.2 |
| Paediatric head CT angiography ^f | 250 | 2 years | 5 |
| CT chest | | | |
| Adult | 350 | 3 years | 7 ^c |
| Newborn | 85 | 8.6 months | 1.7 |
| 1-year-old | 90 | 9 months | 1.8 |
| 5-year-old | 150 | 1.2 years | 3 ^d |
| 10-year-old | 175 | 1.4 years | 3.5 |
| CT abdomen | | | |
| Adult | 350 | 3 years | 7 ^c |
| Newborn | 265 | 2.2 years | 5.3 |
| 1-year-old | 210 | 1.8 years | 4.2 |
| 5-year-old | 185 | 1.5 years | 3.7 |
| 10-year-old | 185 | 1.5 years | 3.7 |

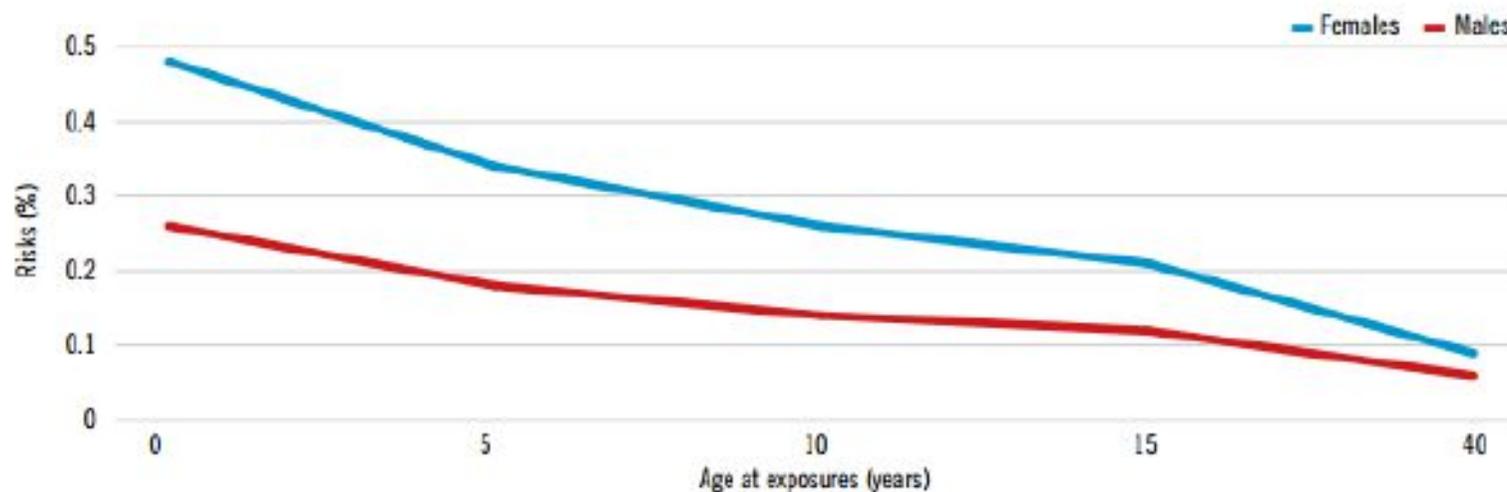
Quels risques ?

- Risques stochastiques
 - Cancers radio-induits
 - Dose cumulée
 - Enfants plus sensibles
 - Espérance de vie longue



- *Leukaemia and myeloid malignancy among prospectively analysed cohorts of persons exposed to low doses (< 100 mSv) of ionising radiation at ages under 21 years.* Little MP et al. Lancet Haematol. 2018 Aug;5(8):e346-e358.
- *Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study.* Mark S Pearce et al. Lancet. 2012 Aug 4; 380(9840): 499–505
- *Estimating cancer risks from pediatric CT: going from the qualitative to the quantitative.* David J. Brenner. Pediatr Radiol (2002) 32: 228–231
- *Thyroid doses and risk to paediatric patients undergoing neck CT examinations.* Spampinato MV, Tipnis S, Tavernier J, Huda W. Eur Radiol. 2015
- *EPI-CT: design, challenges and epidemiological methods of an international study on cancer risk after paediatric and young adult CT.* Bosch de Basea M, Pearce MS, Kesminiene A, et al. J Radiol Prot Off J Soc Radiol Prot. 2015;35:611–628.

Figure 8: Lifetime attributable risk of cancer incidence as a function of sex and age at exposure for a single whole-body dose of 10 mSv, based on estimates for the USA population



Source: BEIR (2006)

Figure 9: Sex-averaged lifetime attributable risk of cancer incidence associated with radiation exposure during head and abdominal CT, as a function of the age at exposure

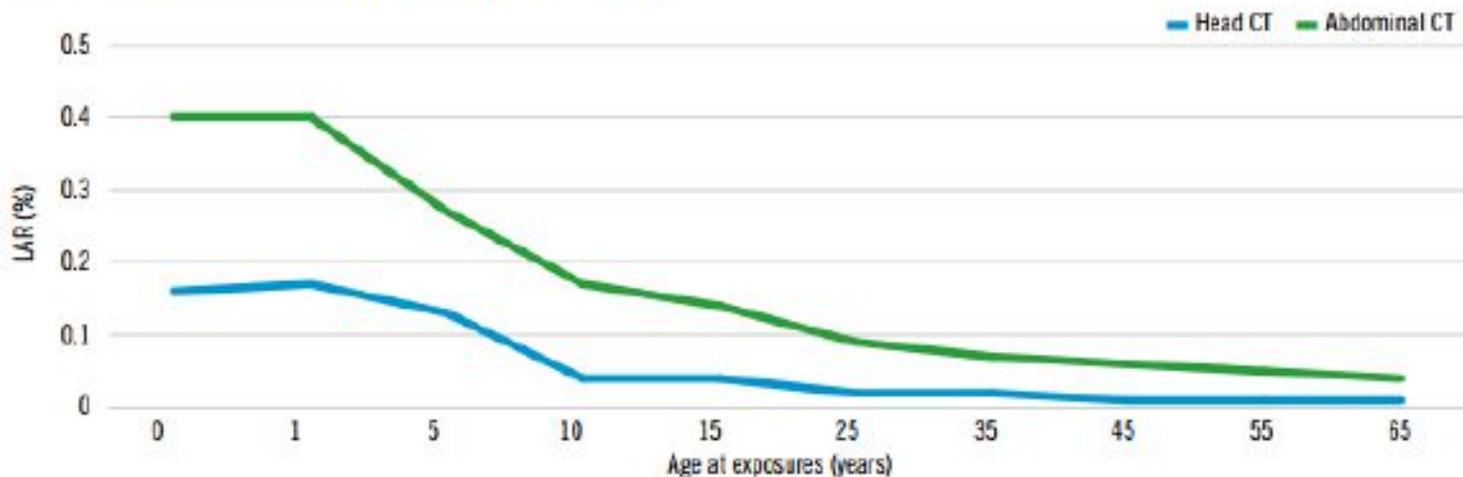


Table 8. Proposed qualitative presentation of risk at three different ages for some common paediatric examinations based on data presented in this section

| Examination | Age 1 year | Age 5 years | Age 10 years |
|-------------------|------------|-------------|--------------|
| Dental Intra-oral | NA | Negligible | Negligible |
| Chest X-ray | Negligible | Negligible | Negligible |
| Head CT | Low | Low | Low |
| Chest CT | Low | Low | Low |
| Abdominal CT | Moderate | Low | Low |
| FDG PET CT | Moderate | Moderate | Moderate |

NA, not applicable; FDG, fludeoxyglucose; PET, positron emission tomography

| Risk qualification | Approximate level of additional risk of fatal cancer |
|--------------------|--|
| Negligible | < 1 in 1 000 000 |
| Minimal | Between 1 in 1 000 000 and 1 in 100 000 |
| Very low | Between 1 in 100 000 and 1 in 10 000 |
| Low | Between 1 in 10 000 and 1 in 1 000 |
| Moderate | Between 1 in 1 000 and 1 in 500 |

Problématique

- Enfants radiosensibles
 - Risque faible mais présent
 - + 5% examens /an
 - Variation importante des pratiques
 - Excès de doses / taille ou âge
 - Scanner = peu d'examens mais dose ++
- comment optimiser ??



Principes de radioprotection en pédiatrie

- **Justification des procédures ++**

Un **examen utile** est un examen dont le résultat (positif ou négatif) modifiera la prise en charge du patient ou confortera le diagnostic.

L'examen a-t-il déjà été fait ?
Peut-on le remplacer par un **examen non irradiant** ?



Principes de radioprotection en pédiatrie

- **Justification des procédures ++**
 - Choix de la bonne modalité
 - Échographie ++

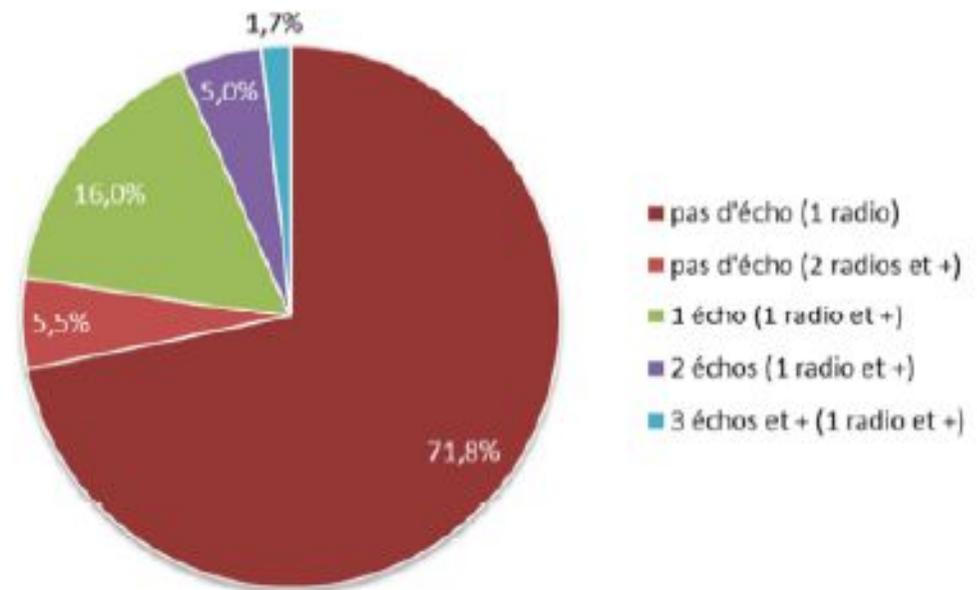


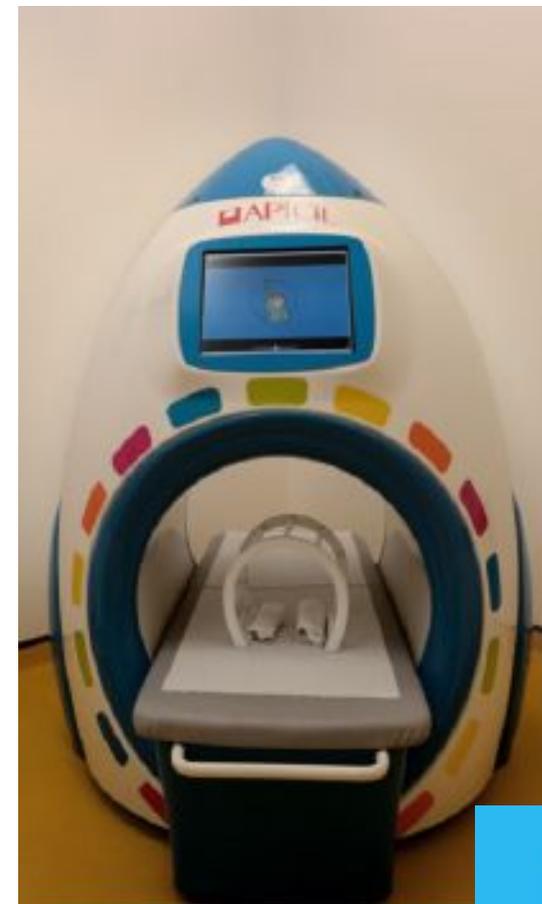
Figure 12. Proportion des enfants ayant bénéficié d'une ou plusieurs échographies de la hanche antérieurement à la radiographie du bassin réalisée avant l'âge de 6 mois.

Principes de radioprotection en pédiatrie

- **Justification des procédures ++**

- Choix de la bonne modalité

- Échographie ++
- IRM
- GBU



Principes de radioprotection en pédiatrie

- **Optimisation :**

- **ALARA** “As Low As Reasonably Achievable”
- Qualité image “minimale” nécessaire à l’interprétation pour niveau d’exposition le plus faible



Optimisation en radiographie standard

- Paramètres techniques **adaptés à l'âge/poids**
 - ! À l'excès d'exposition qui ne "se voit pas" en radiographie numérique (ancien cliché "trop noir")
 - **Tension** adaptée à l'indication
 - Augmenter les Kv si compatible avec l'information cherchée
 - > 60kV
 - Pour une dose constante au niveau du détecteur, la dose au patient diminue quand l'énergie du rayonnement augmente
 - Diminuer la **charge** (mAs) :
 - Dose directement proportionnelle à l'intensité (mA) et au temps d'exposition (s).
 - Temps de pose court



Optimisation en radiographie standard

- Limiter l'utilisation des scopies
 - Centrage manuel et lumineux
 - Scopie pulsée
- **Protéger les organes génitaux** chez le garçon par un **cache plombé adapté à l'âge**, chaque fois que ceux-ci sont dans le champ
 - Pas d'intérêt si hors du champs (> 5 cm)
 - Fille position aléatoire des ovaires



Optimisation en radiographie standard

- Grille antidiffusante : inutile et facteur d'excès d'exposition chez l'enfant et l'adolescent mince
 - Améliore le contraste en ↓ rayonnement diffusé
 - Mais ↑ dose délivrée au patient
- Filtration additionnelle (élimine les composantes “basses énergies” des faisceaux)
- **Collimation** : limiter l'exposition à la zone à examiner
 - PDS ! **Surface exposée**
 - Les diaphragmes doivent limiter au strict nécessaire la zone à irradier



Optimisation en radiographie standard

- **Nombre de clichés**
 - Réduit au **minimum pour interprétation**
 - Exemples :
 - Profil thoracique non systématique (choix entre profil droit/gauche)
 - Expiration si pneumothorax visible en inspiration
 - Rachis lombaire : face/profil en 1ère intention
 - Pas de bassin en plus (rachis de face incluant cotyle/têtes fémorales)
 - Pas de clichés comparatifs systématiques



Optimisation en radiographie standard

- **Alternatives**

- Rachis : Système EOS

- Dose divisée par 2 à 10



Optimisation en scanner

- **Réussir l'acquisition du 1er coup !**
 - Accueil, prise en charge de l'enfant
 - Contention



Optimisation en scanner

- Réussir l'acquisition du 1er coup !

- Positionnement

- Calcul erroné des doses à délivrer
- Modification de l'ombre de projection du topogramme



ex : trop haut dans l'anneau => patient « large » => ↗ CTDIvol
Surirradiation glandes mammaires, Défaut de signal postérieur

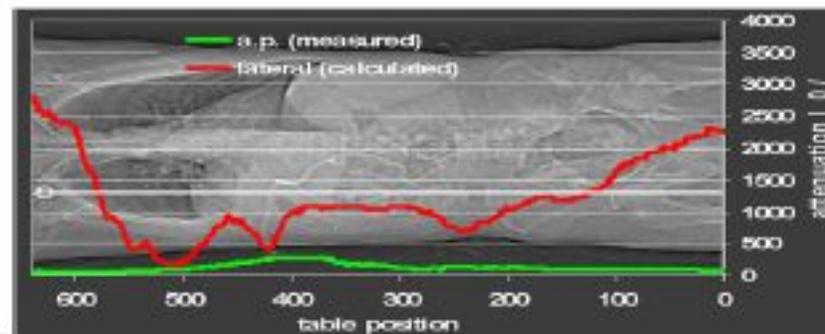
Optimisation en scanner

- **Ajuster les paramètres à la taille de l'enfant**
 - Réglage de la tension
 - Réglages automatisés aléatoires en pédiatrie
 - **Protocoles établis à kV fixes par tranche de poids**
 - < 40 kg : 80 kV
 - > 40 kg : 100 kV
 - Variation dose proportionnelle à kV^2
 - Adapter les mAs de référence en fonction du kV pour obtenir un signal/bruit constant



Optimisation en scanner

- **Modulation automatique d'intensité**
 - Dose modulée en fonction de la région à irradier
 - Gain de dose de 20 à 30 %
 - Inconvénients
 - Augmente l'irradiation aux épaules et pelvis (thyroïde, gonades)
 - Limiter le champ au strict nécessaire



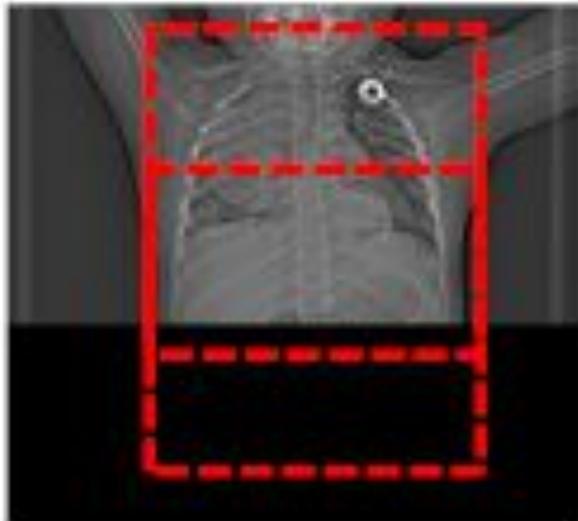
Optimisation en scanner

- **Adapter les protocoles**
 - Spécificités pédiatriques++
 - Limiter le nombre d'hélices
 - Exemples
 - Scanners AP 3 temps
 - Spires sans et avec injection
 - **Etablir des protocoles dédiés à la pédiatrie**
 - Minimum pour répondre à la question



Optimisation en scanner

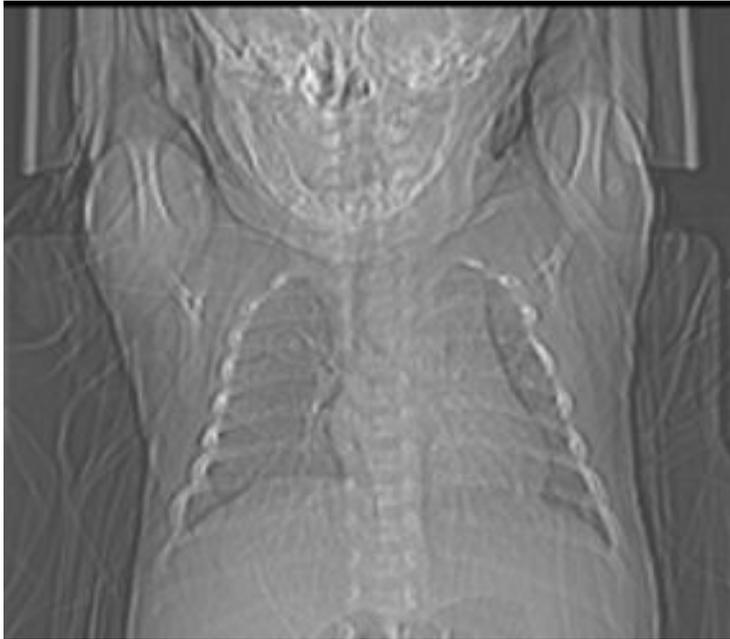
- **Limiter le volume irradié**
 - Topogramme placé précisément
 - Pas de boite “au hasard”



Optimisation en scanner

- Refaire un topogramme si
 - La totalité de l'hélice n'est pas comprise dans le topogramme
 - Le patient n'est pas bien positionné sur le topogramme
 - Si un objet est présent sur le topogramme et doit être retiré





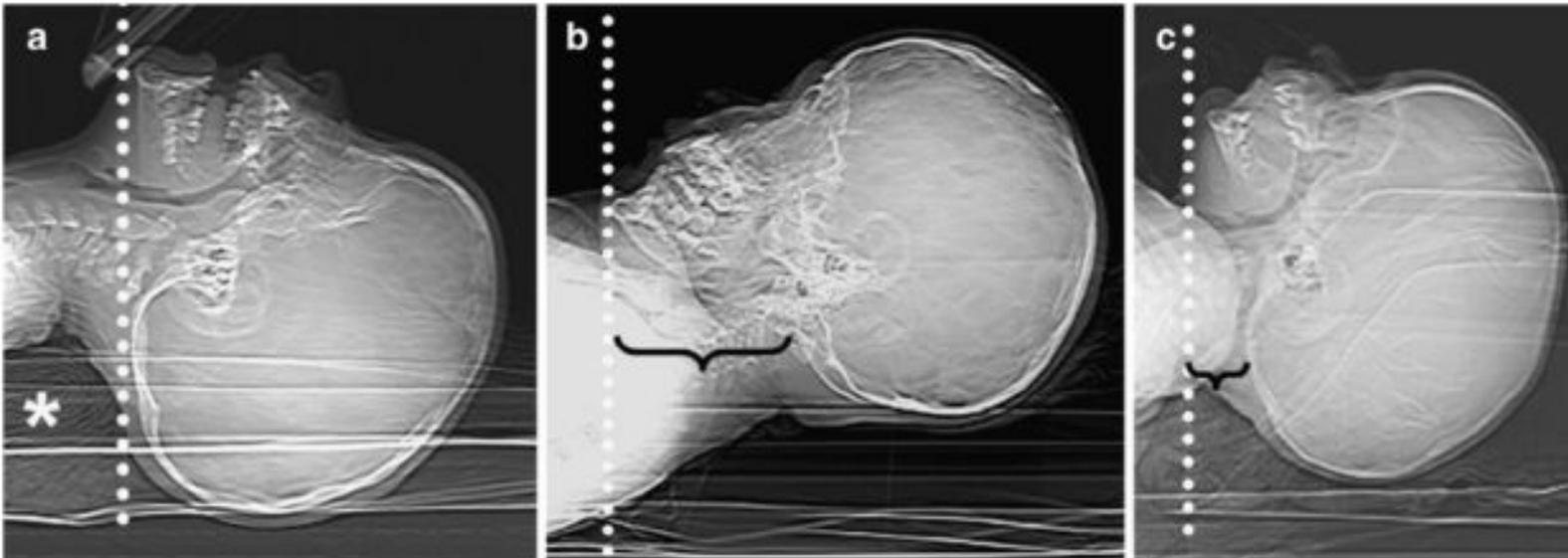
44 mAs – 80 KV
DLP 17 mGy.cm



62 mAs – 80 KV
DLP 24 mGy.cm

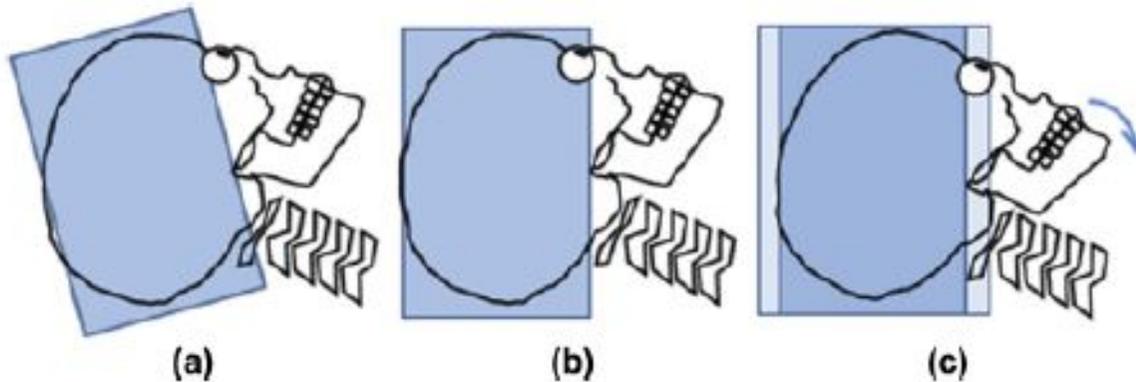
Optimisation en scanner

- **Limiter le volume irradié**
 - "minimum" à explorer
 - Cale sous les épaules pour défléchir la tête
 - Limite la longueur de l'hélice
 - Evite l'irradiation de la thyroïde (cranio-facial)



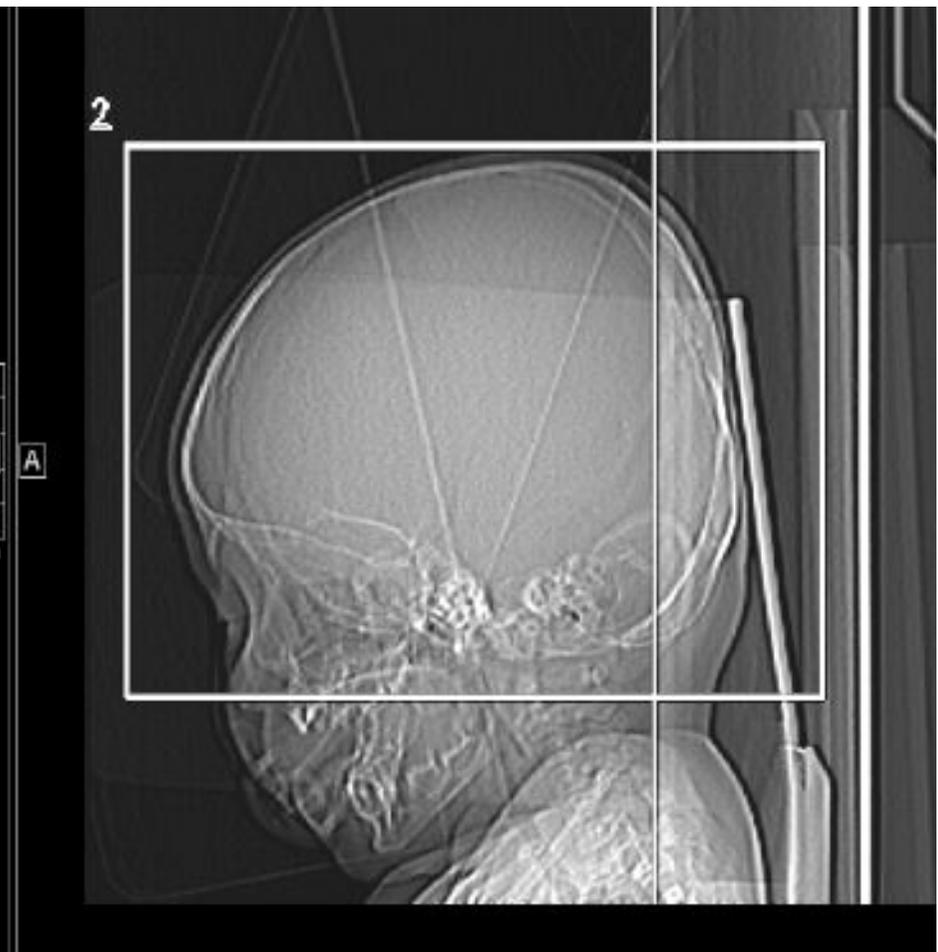
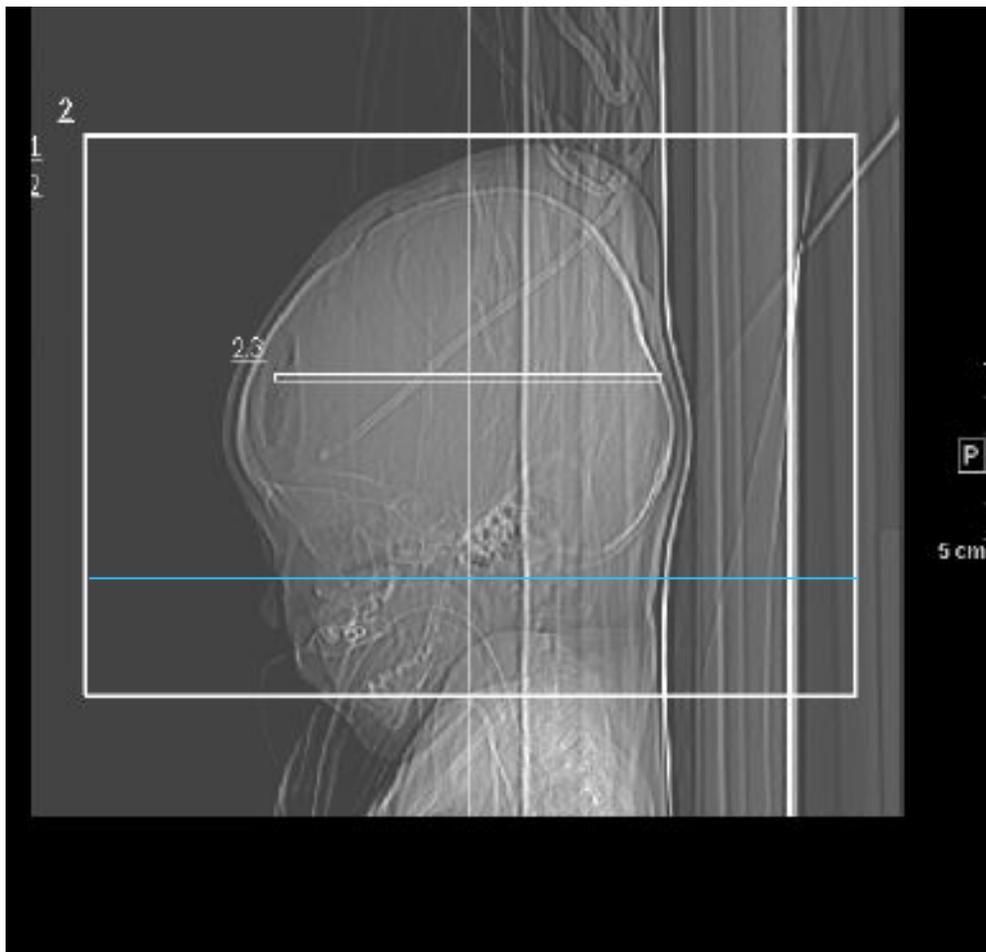
Optimisation en scanner

- **Limiter le volume irradié**
 - "minimum" à explorer
 - Hyperflexion
 - Evite l'irradiation des cristallins



Radiation dose to the lens from CT of the head in young people

R.W. Harbron^{a,b,*}, E.A. Ainsbury^c, S.G.R. Barnard^c, C. Lee^d, K. McHugh^e,
A. Berrington de González^d, S. Edyvean^c, M.S. Pearce^{a,b}



| Dose | | | | | | |
|------|-----------------------|--------------------|-----|----|---------------|--------------|
| # | Libellé d'exploration | Mode d'exploration | mAs | kV | CTDIvol [mGy] | DLP [mGy*cm] |
| 1 | M RADIO | Surview | 80 | 80 | 0.025 | 0.6 |
| 2 | CEREBRAL | Hélicoïdal | 250 | 80 | 9.8 | 213.1 |

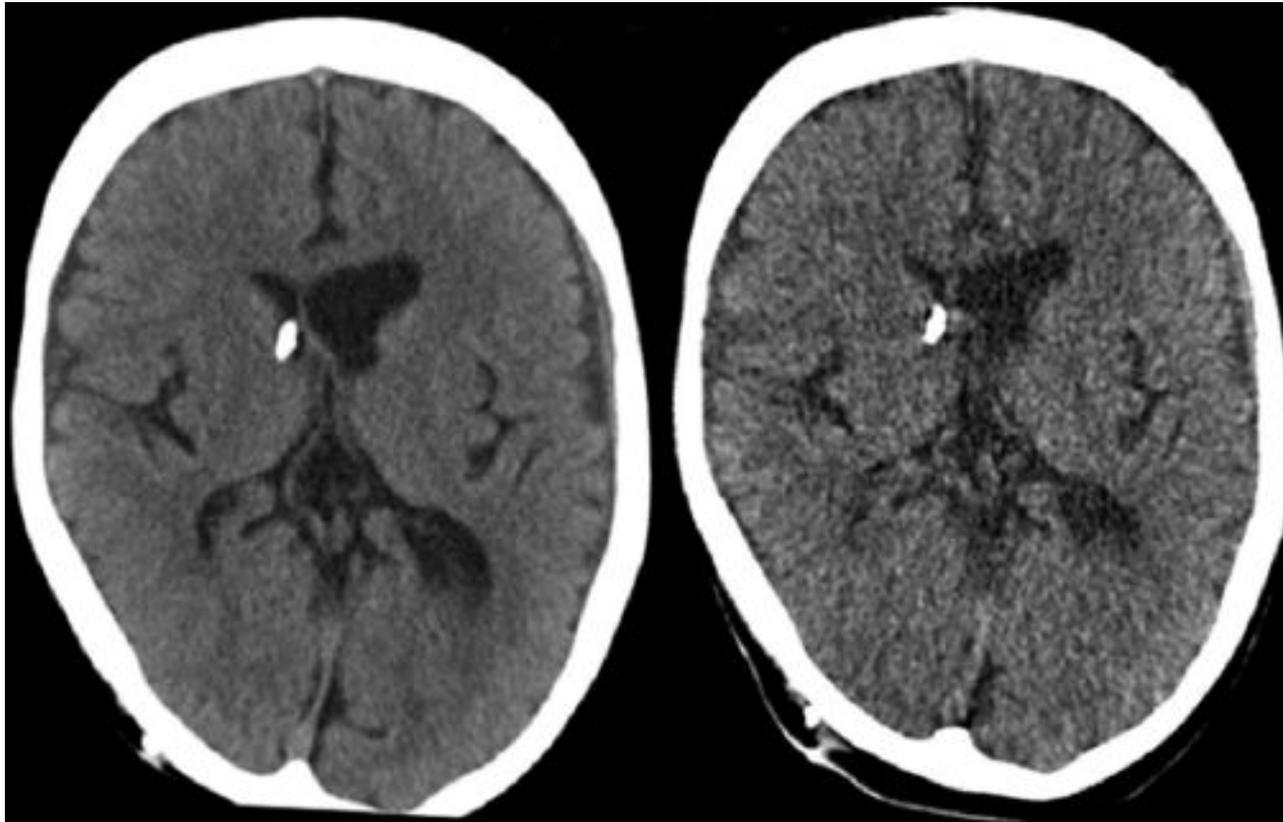
| Dose | | | | | | |
|------|-----------------------|--------------------|-----|----|---------------|--------------|
| # | Libellé d'exploration | Mode d'exploration | mAs | kV | CTDIvol [mGy] | DLP [mGy*cm] |
| 1 | M RADIO | Surview | 80 | 80 | 0.025 | 0.6 |
| 2 | CEREBRAL | Hélicoïdal | 250 | 80 | 9.8 | 174.8 |



Optimisation en scanner

- Dose minimale nécessaire au diagnostic

DLP
1165
mGy.cm



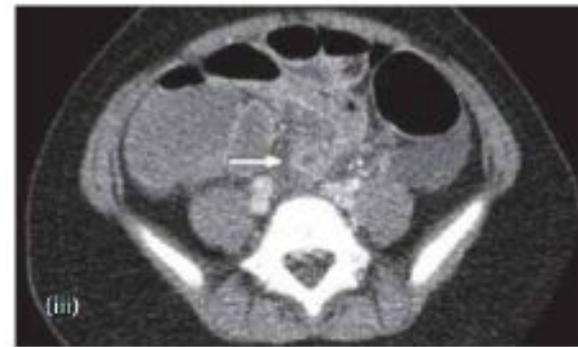
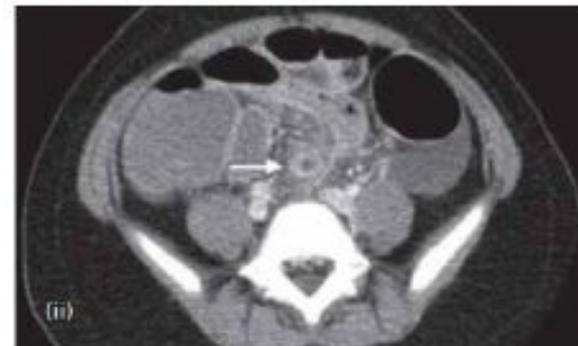
DLP 251
mGy.cm



Figure 14: Influence of the assumed simulated dose reduction (e.g. added noise, no repeat scanning) on the resulting image

a: 11-year-old child with normal appendix. (i) unadjusted tube current; (ii) 50% tube current reduction; and (iii) 75% tube current reduction. All scans show air-filled appendix (see arrows) in cross section.

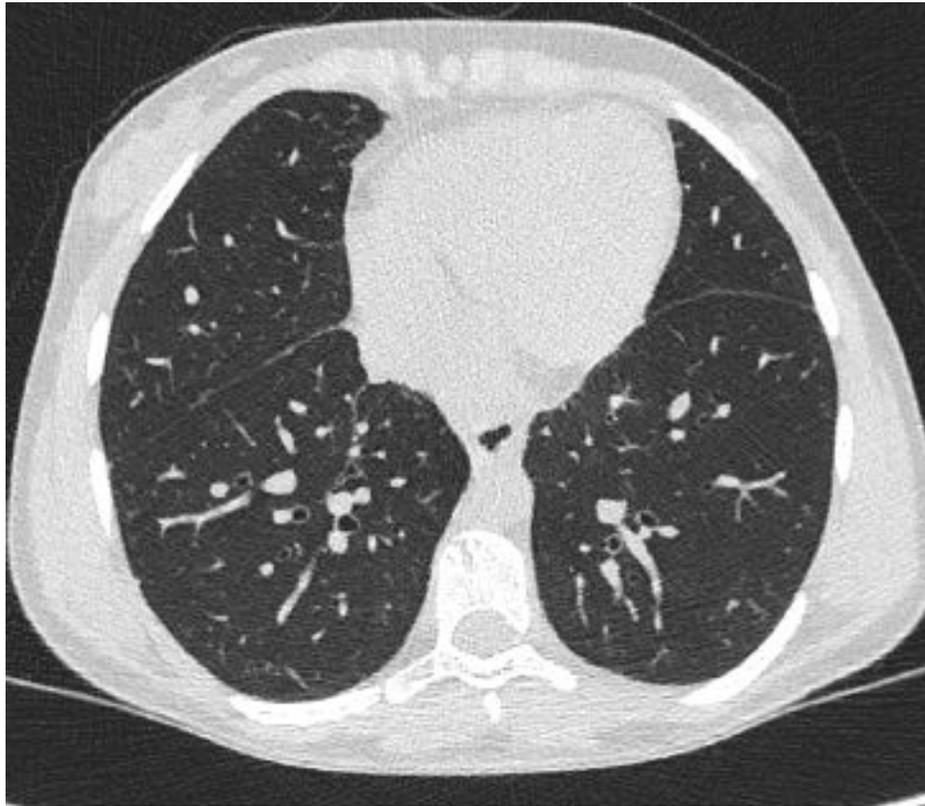
b: 3-year-old child with acute appendicitis. (i) conventional tube current; (ii) 50% tube current reduction; and (iii) 75% tube current reduction. Arrows show thickened appendix. Note also that bowel obstruction is readily evident in all tube current examinations.



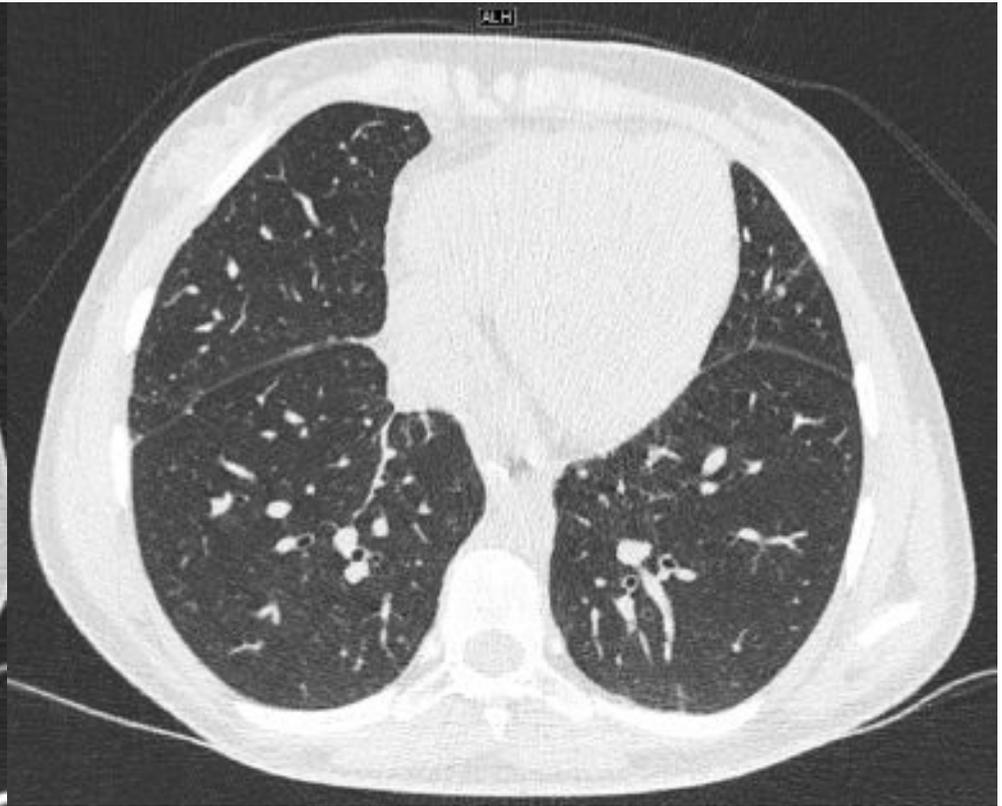
↓ 50%

↓ 75%





100kV
35mAs
DLP 45
CTDI 1,4



100kV
60mAs
DLP 83
CTDI 2,5



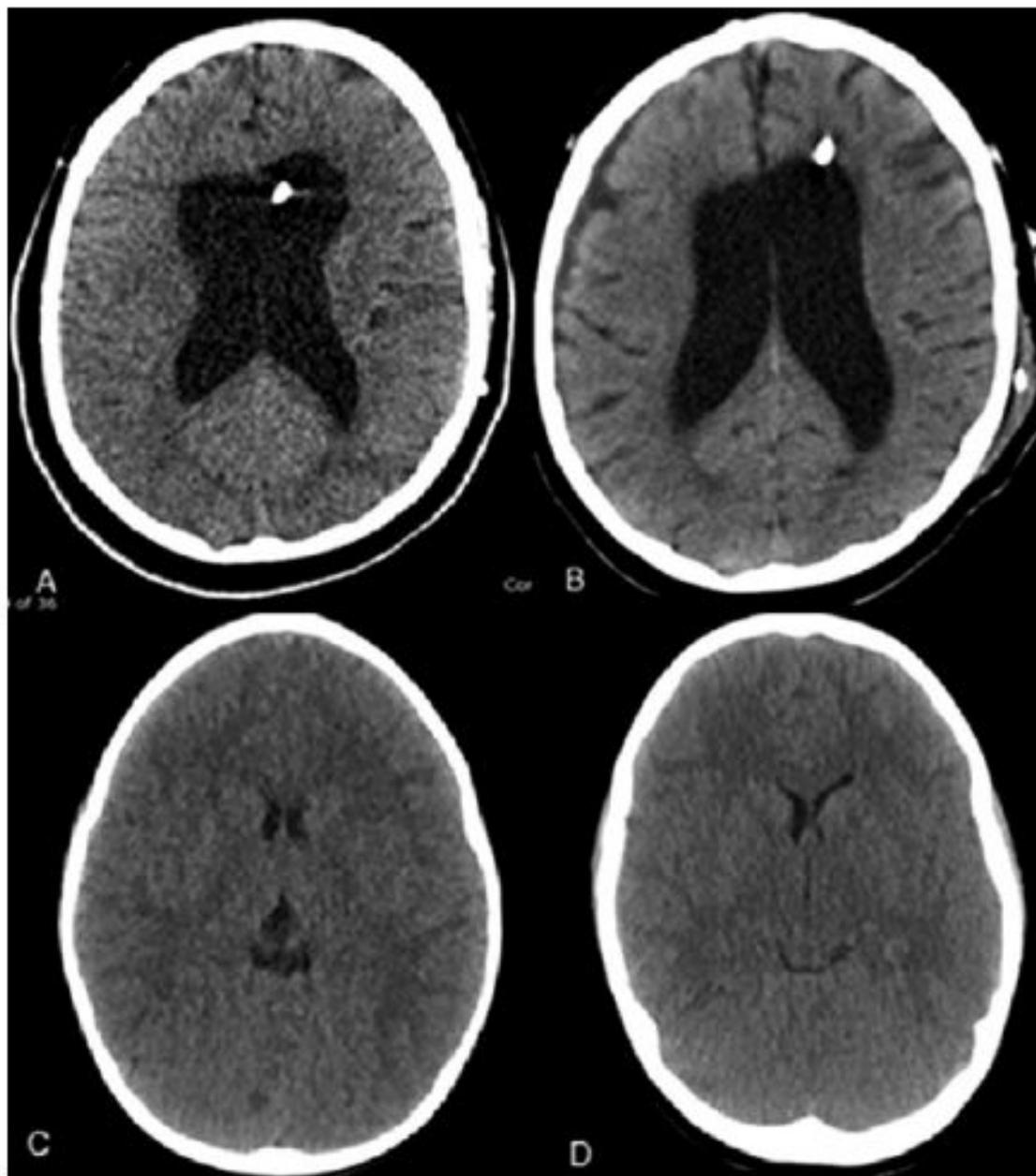


Figure 13. A, C, Standard low-dose, and B, D, full-dose axial head CT images in A, B, a patient with hydrocephalus, and C, D, a patient with normal ventricles. The estimated effective dose for the low-dose protocol is 0.47 mSv (2.9 months background radiation) versus 1.3 mSv (5.2 months background radiation) for the full-dose protocol. Estimated effective dose is reduced by 36% while maintaining diagnostic quality for most clinical indications, particularly ventricular shunt evaluation.



Optimisation en scanner

- **Reconstruction itérative ++**
 - Réduction de dose ++ > 50%
 - Permet de réduire le bruit de l'image sans nuire à sa qualité ni à la visualisation des détails



Principes de radioprotection en pédiatrie

- **Limitation:**

- Ne pas dépasser les limites fixées par la réglementation
- Respect des **NRD**
 - Mise à jour mai 2019



Tableau 2.2a. – NRD, en termes de PDS, en radiologie pédiatrique pour une incidence unique (une acquisition)

| Actes | Catégorie de poids (kg) | Age indicatif | Niveau de référence diagnostique (PDS en mGy.cm ²) |
|--|-------------------------|----------------|--|
| Thorax de face (antéro-postérieur) | 3 - <5 | 0 - 1 mois | 9 |
| Thorax de face (antéro-postérieur) | 5 - <10 | 1 mois - 1 an | 13 |
| Thorax de face (postéro-antérieur) | 10 - <20 | 1 an - 5 ans | 19 |
| Thorax de face (postéro-antérieur) | 20 - <30 | 5 ans - 10 ans | 35 |
| Bassin (antéro-postérieur) | 15 - <25 | 4 - 8 ans | 120 |
| Bassin (antéro-postérieur) | 35 - <50 | 12 - 18 ans | 510 |
| Abdomen sans préparation | 3 - <6 | 0 - 3 mois | 20 |
| Abdomen sans préparation | 6 - <20 | 3 mois - 5 ans | 80 |
| Abdomen sans préparation | 20 - <30 | 5 - 10 ans | 280 |
| Rachis en totalité, une incidence de face (hors technologie chambre à fil) | 30 - <50 | 10 - 18 ans | 800 |

Mise à jour mai 2019



Tableau 3.2. – NRD en scanographie pédiatrique, selon les catégories de poids (kg), pour une acquisition. L'âge est donné à titre indicatif.

| Actes | 0 à <10 kg (0 à 1 an) | | 10 à <20 kg (1 à 5 ans) | | 20 à <30 kg (5 à 10 ans) | | 30 à <50 kg (10 à 18 ans) | |
|----------------|--------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
| | IDSV (mGy) | PDL (mGy.cm) | IDSV (mGy) | PDL (mGy.cm) | IDSV (mGy) | PDL (mGy.cm) | IDSV (mGy) | PDL (mGy.cm) |
| Encéphale | 20 | 320 | 22 | 360 | 26 | 470 | * | * |
| Rochers | * | * | 43 | 240 | 51 | 330 | * | * |
| Thorax | 1,1 | 20 | 1,3 | 26 | 1,4 | 40 | * | * |
| Abdomen-pelvis | * | * | 2 | 65 | 2,5 | 95 | 4 | 180 |

* Pas de NRD pour ces actes

Tableau 2.2b. – NRD, en termes de PDS, en radiologie pédiatrique pour un acte complet (l'acte complet comprend l'ensemble des acquisitions réalisées en radiographie et radioscopie)

| Actes | Catégorie de poids (kg) | Age indicatif | Niveau de référence diagnostique (PDS en mGy.cm ²) |
|--|-------------------------|----------------|--|
| Cystographie rétrograde | 3 - <10 | 0 - 1 an | 550 |
| Cystographie rétrograde | 10 - <20 | 1 - 5 ans | 1 000 |
| Transit oeso-gastro-duodénel (TOGD) | 3 - <15 | 0 - 3 ans | 150 |
| Lavement opaque | 3 - <5 | 0 - 1 mois | 300 |
| Lavement opaque | 5 - <20 | 1 mois - 5 ans | 400 |
| Rachis en totalité, deux incidences (technologie chambre à fils) | 30 - <50 | 10 - 18 ans | 850 |

Protocoles d'injections

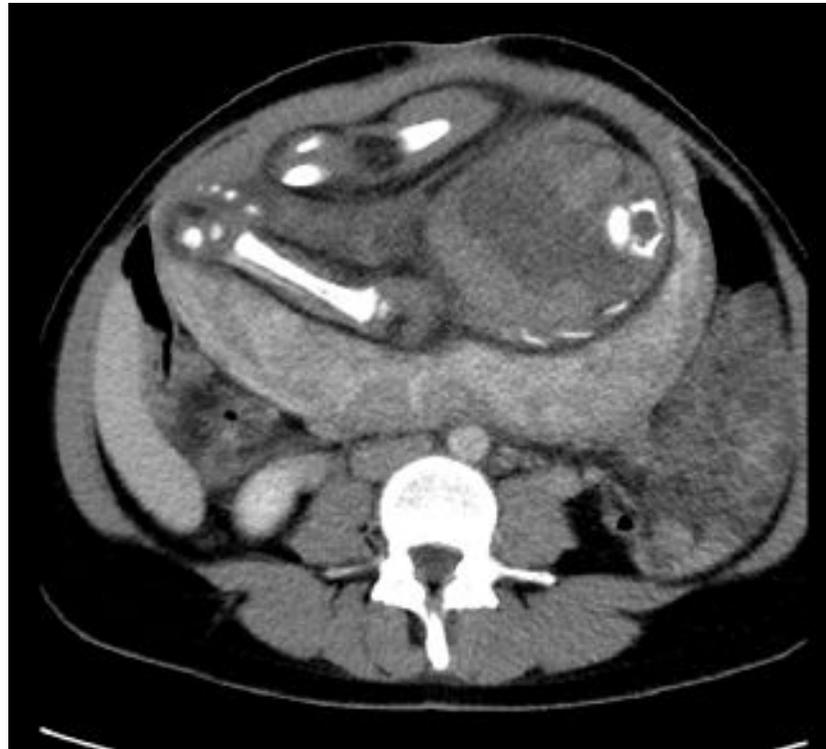
- **Quels produits ?**
 - PCI non ioniques, de basse osmolarité
 - Xénétix 350 en standard,
 - Iopamiron 400 si bilan vasculaire
- **Quel volume ?**
 - En fonction du poids : 1,5 cc / Kg en moyenne
 - Etudes vasculaires: 2 cc / Kg
- **Quel débit ?**
 - En fonction du catheter...

| Couleur KT | Taille KT | Débit injection |
|------------|-----------|-----------------|
| Jaune | 24G | 1 à 1.5 ml/sec |
| Bleu | 22G | 2 ml/sec |
| Rose | 20G | 3 ml/sec |
| Vert | 18G | 4 ml/sec |



Irradiation et grossesse

- Rapport bénéfique/risque
 - **Aucune contre indication absolue**
- Principe ALARA



Irradiation et grossesse

- Pour un **scanner thoracique** (exemple EP)
 - Irradiation maternelle : **2.3 mSv** (low dose) à 10 mSv (standard) selon les machines et les protocoles
 - Dose délivrée au foetus < à **1 m Sv**
 - **Sein radiosensibles** pendant la grossesse ↑risque de cancer de 1.5 % chez une femme de 25 ans
- Pour un **scanner abdomino-pelvien** (ex appendicite)
 - Irradiation maternelle : entre **3 mSv** et **20 mSv** en low dose selon le morphotype de la patiente
 - Dose délivrée au foetus : entre **6 et 32 mSv**
- **Irradiation naturelle annuelle moyenne: environ 3 mSv**

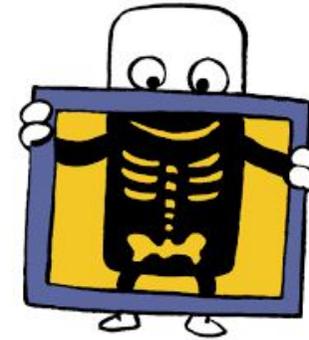


Irradiation et grossesse

- Risque de cancer chez l'enfant à venir
 - Peu accentué
 - ↑ de 0.05 % par tranche de 10 mGy reçue pour un scanner thoracique.
 - Maximum pour le scanner abdomino-pelvien (RR x 2)

Conclusion

- Enfants = radiosensibles ++
- **Justification** des actes
- **Optimisation de la dose**
 - Beaucoup de **bon sens**
 - **Echographie** et **IRM** = 0 mSv
 - Dose minimale suffisante pour répondre à la question... surdose inutile
- Respect des NRD



Merci pour votre attention

