

Connaissance des doses délivrées aux patients en radiodiagnostic

Sébastien Lichtherte

Certified Medical Physicist

Head of Medical Physics Department – AV Controlatom

Keeping the doses low by setting the standards high

Plan du cours

- Unités en radioprotection
- Risque des faibles doses
- Grossesse et exposition médicale
- Optimisation des doses

Grandeurs et unités en radioprotection

Keeping the doses low by setting the standards high

Grandeurs et unités en radioprotection (1)

- L'activité (A)
 - Unité : le becquerel (Bq) ou anciennement le Curie (Ci)
 - (Pour rappel $1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$)
 - Activité : Nbre de désintégrations par seconde
 - Souvent exprimée sous la forme d'activité massique (Bq/g ou Bq/m^3)

Grandeurs et unités en radioprotection (2)

– Exemples :

- Activité massique naturelle du corps humain: 0,1 Bq/g
- Activité massique de U-238: $3,72 \cdot 10^4$ Bq/g
- Activité massique de l'eau douce: 0,0001 Bq/g
- Activité massique de l'eau de mer: 0,01 Bq/g
- Activité massique de l'eau de mer (Fukushima): 47 Bq/g
- Activité massique naturelle de l'air ambiant: 20 Bq/m³
- Activité massique nuage de Tchernobyl: 100000 Bq/m³

Grandeurs et unités en radioprotection (3)

- La dose absorbée (D)
 - Unité : le gray (Gy)
 - Rapport de l'énergie moyenne déposée par unite de masse ($D = E/m$)
 - Grandeur physique utilisable quels que soient le rayonnement et le milieu considérés.

Grandeurs et unités en radioprotection (4)

- La dose dans l'air (D_{air})
 - Unité : le gray (Gy)
 - Facilement mesurable à l'aide d'une chambre d'ionisation.
 - Indépendante de l'objet radiographié.
 - Caractérise une installation radiologique (FDD, kV, filtration,...)

Grandeurs et unités en radioprotection (5)

- La dose d'entrée (D_e)
 - Unité : le gray (Gy)
 - Facilement mesurable à l'aide d'un dosimètre placé sur la peau du patient.
 - Intègre le rayonnement rétrodiffusé par le patient (20 à 40% de la D_{air}).
 - Facteur de rétrodiffusion (FRD) varie donc 1.2 à 1.4.

Grandeurs et unités en radioprotection (6)

- La dose d'entrée (D_e)

- $D_e = D_{\text{air}} \times \text{FRD}$

- $D_e = 0,15 \times (U/100)^2 \times Q \times (1/\text{DFP})^2$

- U = tension en kV

- Q = charge en mAs

- DFP = Distance Foyer (!!!) – Peau en mètre

Grandeurs et unités en radioprotection (7)

- La dose équivalente (H)
 - Unité : sievert (Sv) jusqu'en 2005 ; gray ou « gray pondéré » ensuite.
 - $H = D \times W_r$
 - W_r = facteur de pondération du rayonnement
 - W_r exprime la plus grande efficacité à induire un effet nocif.

Rayonnement	W_r
Electromagnétique (X ou γ)	1
Electrons et β	1
Protons	5
Neutrons (selon énergie)	5 à 20
ions lourds, α , autres	20

Keeping the doses low by setting the standards high

Grandeurs et unités en radioprotection (8)

- La dose efficace (E)
 - Unité : sievert (Sv).
 - $E = H \times Wt$
 - Wt = facteur de pondération tissulaire
 - Wt tient compte du fait que les tissus sont d'autant plus sensibles qu'ils sont moins différenciés et que leur activité mitotique est plus grande.
 - Son (Wt) utilisation est censée donner son importance réelle à chaque organe dans la genèse des effets néfastes d'une irradiation.

Grandeurs et unités en radioprotection (9)

- La dose efficace (E)

- W_t = permet d'estimer le risque stochastique d'une exposition aux RI.
- $W_t = 1$: une exposition du corps entier s'exprimera par la même valeur en Sv et en Gy car $E = D$

Tissu ou organe	w_t d'après la CIPR 60	w_t d'après la CIPR 103
Gonades	0,20	0,08
Moelle osseuse rouge	0,12	0,12
Côlon	0,12	0,12
Poumon	0,12	0,12
Estomac	0,12	0,12
Sein	0,05	0,12
Foie	0,05	0,04
Œsophage	0,05	0,04
Thyroïde	0,05	0,04
Peau	0,01	0,01
Surface des os	0,01	0,01
Glandes salivaires	–	0,01
Cerveau	–	0,01
.....
$\sum w_t$	1,00	1,00

Keeping the doses low by setting the standards high

Grandeurs et unités en radioprotection (10)

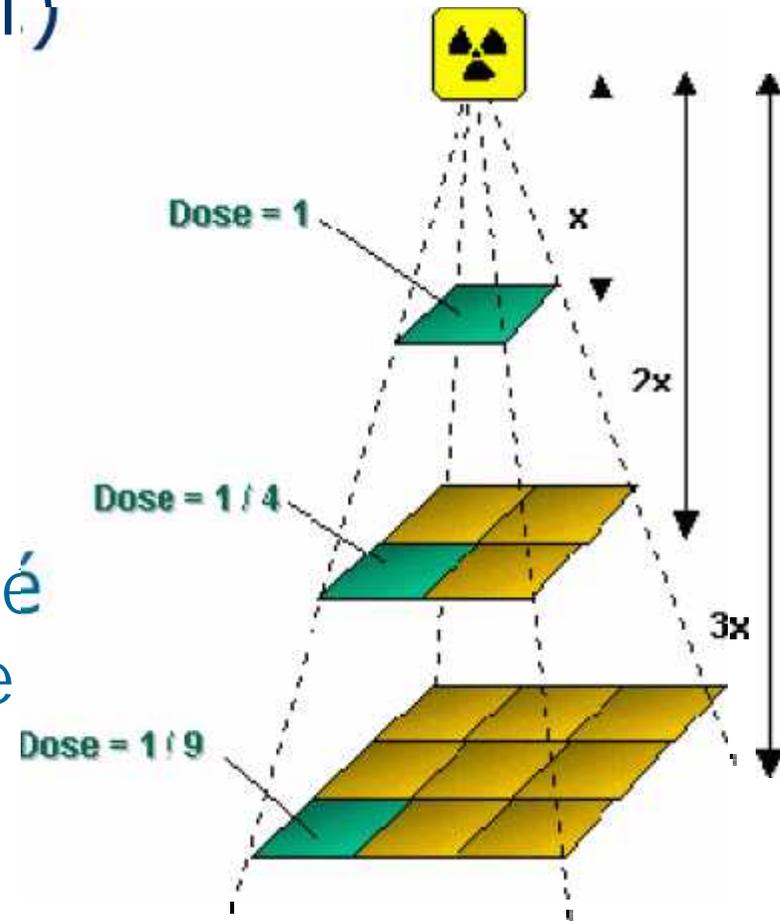
- La dose efficace (E)
 - Indicateur des risques des effets aléatoires non directement mesurables.
 - E permet de traduire une irradiation locale en terme d'exposition globale du corps entier.
 - Exemple : une dose équivalente de 100 mGy délivrée au poumon correspond à une dose efficace de 12 mSv.

Grandeurs dosimétriques spécifiques en radiodiagnostic (1)

- Le Dose Area Product (DAP)
 - Unité : dose x surface (Gy.cm^2 ; $\mu\text{Gy.m}^2$)
 - DAP est utilisé en radiologie conventionnelle (hors CT, mammo)
 - DAP tient compte de la surface (donc du volume) irradiée (ex : effets de 6 Gy sur 10 cm^2 ou sur le corps entier sont différents !).
 - DAP est indépendant de la distance entre la source et la surface d'entrée.

Grandeurs dosimétriques spécifiques en radiodiagnostic (2)

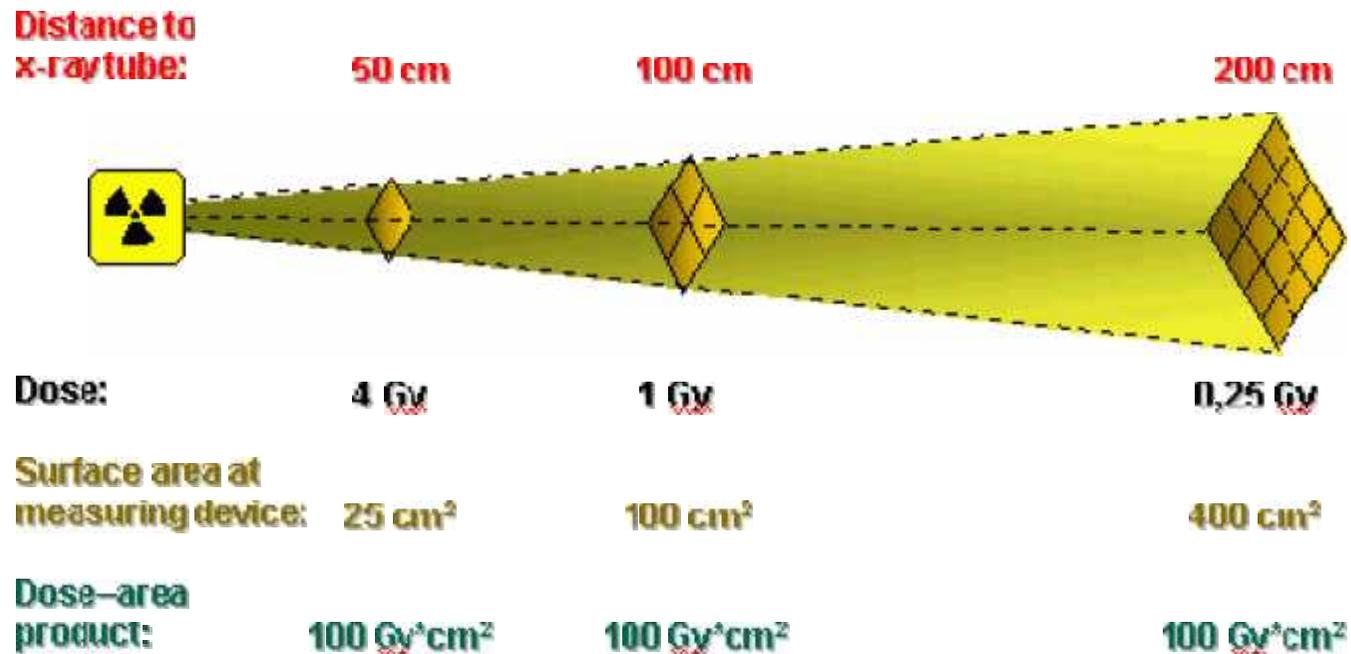
- DAP : fonctionnement (1)
 - la dose (à collimation égale) diminue selon le carré de la distance à la source
 - la surface irradiée augmente comme le carré de la distance à la source



Keeping the doses low by setting the standards high

Grandeurs dosimétriques spécifiques en radiodiagnostic (3)

- DAP : fonctionnement (2)



Keeping the doses low by setting the standards high

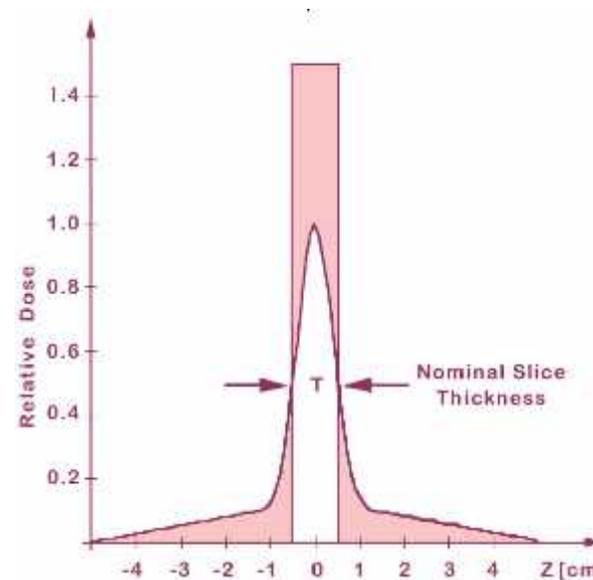
Grandeurs dosimétriques spécifiques en radiodiagnostic (4)

- Le Computed Tomography Dose Index (CTDI)
 - Unité : mGy
 - La valeur du CTDI doit apparaître sur la console-opérateur (norme CEI)
 - CTDI tient compte du profil de coupe.
 - CTDI exprime la dose intégrale reçue par le patient pour chaque coupe.

Grandeurs dosimétriques spécifiques en radiodiagnostic (5)

- Le CTDI
 - Définition du CTDI = aire sous le profil de dose de la coupe divisé par l'épaisseur de coupe

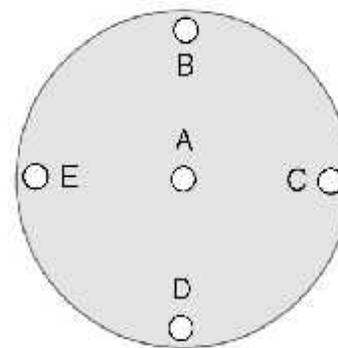
$$CTDI_{100} = \frac{1}{S} \int_{-50mm}^{50mm} D(z) dz$$



Keeping the doses low by setting the standards high

Grandeurs dosimétriques spécifiques en radiodiagnostic (6)

- Le CTDI et ses dérivés
 - $CTDI_w = CTDI$ pondéré : rend mieux compte de la dose délivrée au patient (unité = mGy)
 - $CTDI_w = 1/3 CTDI_{central} + 2/3 CTDI_{périphérique}$



Keeping the doses low by setting the standards high

Grandeurs dosimétriques spécifiques en radiodiagnostic (7)

- Le CTDI et ses dérivés
 - $CTDI_{vol}$ = CTDI volumique : tient compte de la vitesse de déplacement de la table (unité = mGy)

$$CTDI_{vol} = CTDI_w \times \frac{1}{pitch}$$

$$CTDI_{vol} = nCTDI_w \times \frac{mAs}{pitch}$$

Grandeurs dosimétriques spécifiques en radiodiagnostic (8)

- Le CTDI et ses dérivés

$$\text{Pitch (p)} = \frac{\text{déplacement de la table par rotation}}{\text{largeur du faisceau}}$$

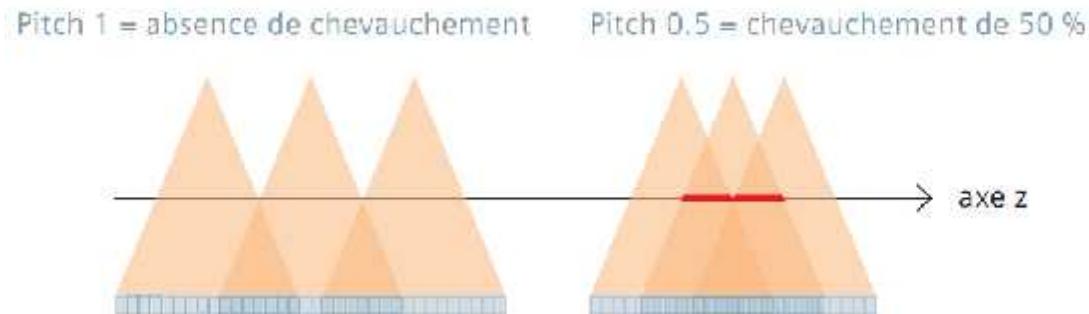


Fig. 11

Si la table avance rapidement (pitch = 1), les profils de coupes ne se chevauchent pas ; si la table se déplace lentement (pitch = 0,5), les coupes se chevauchent. Nota : le chevauchement est mesuré à l'isocentre du scanner (le long de l'axe z).

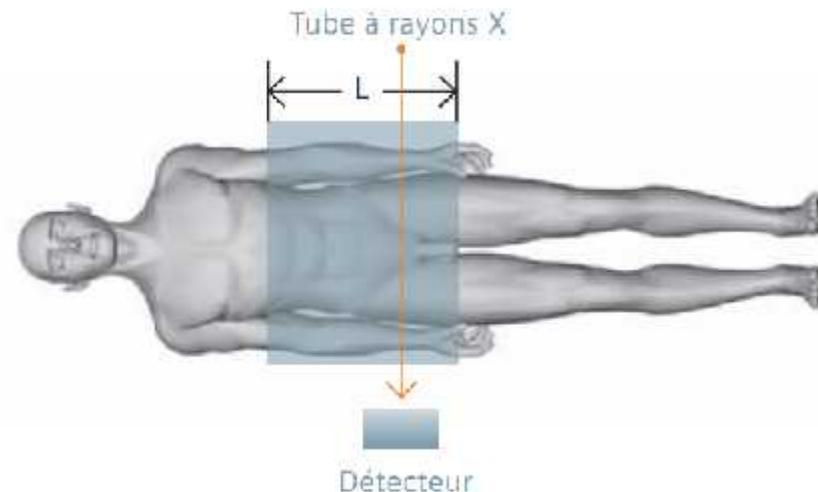
Keeping the doses low by setting the standards high

Grandeurs dosimétriques spécifiques en radiodiagnostic (9)

- Le Dose Length Product (DLP)
 - Unité : mGy x cm
 - DLP permet de calculer la dose totale absorbée.

$$DLP = CTDI_{vol} \times L$$

$$DLP = {}_nCTDI_w \times T \times A \times t$$

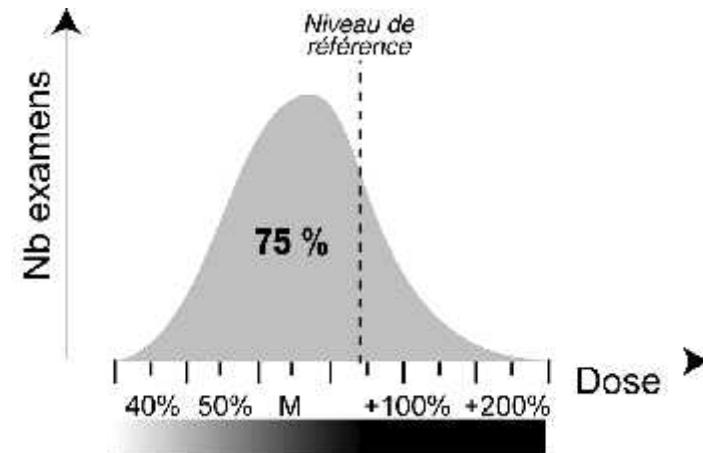


Keeping the doses low by setting the standards high

Grandeurs dosimétriques spécifiques en radiodiagnostic (10)

- DRL (Diagnostic Reference Level) ou NRD (Niveau de Référence Diagnostique)
 - DRL est défini comme étant le percentile 75.

Le percentile 75 représente le niveau de référence diagnostique tel que défini par la Commission Européenne (RP 109) et le percentile 25 est l'indicateur de bonne pratique



Keeping the doses low by setting the standards high

Grandeurs dosimétriques spécifiques en radiodiagnostic (11)

- Conclusion
 - La connaissance et l'emploi de ces grandeurs permet de :
 - L'optimisation des examens ;
 - La comparaison rationnelle des paramètres techniques, des installations et des protocoles.

Grandeurs dosimétriques spécifiques en radiodiagnostic (12)

- Questions ?
- Exercice :
 - Si j'ai un CTDI de 15 mGy, la dose reçue pour une coupe est de 15 mGy. Quelle est la dose pour 10 coupes jointives ?

Risques des faibles doses

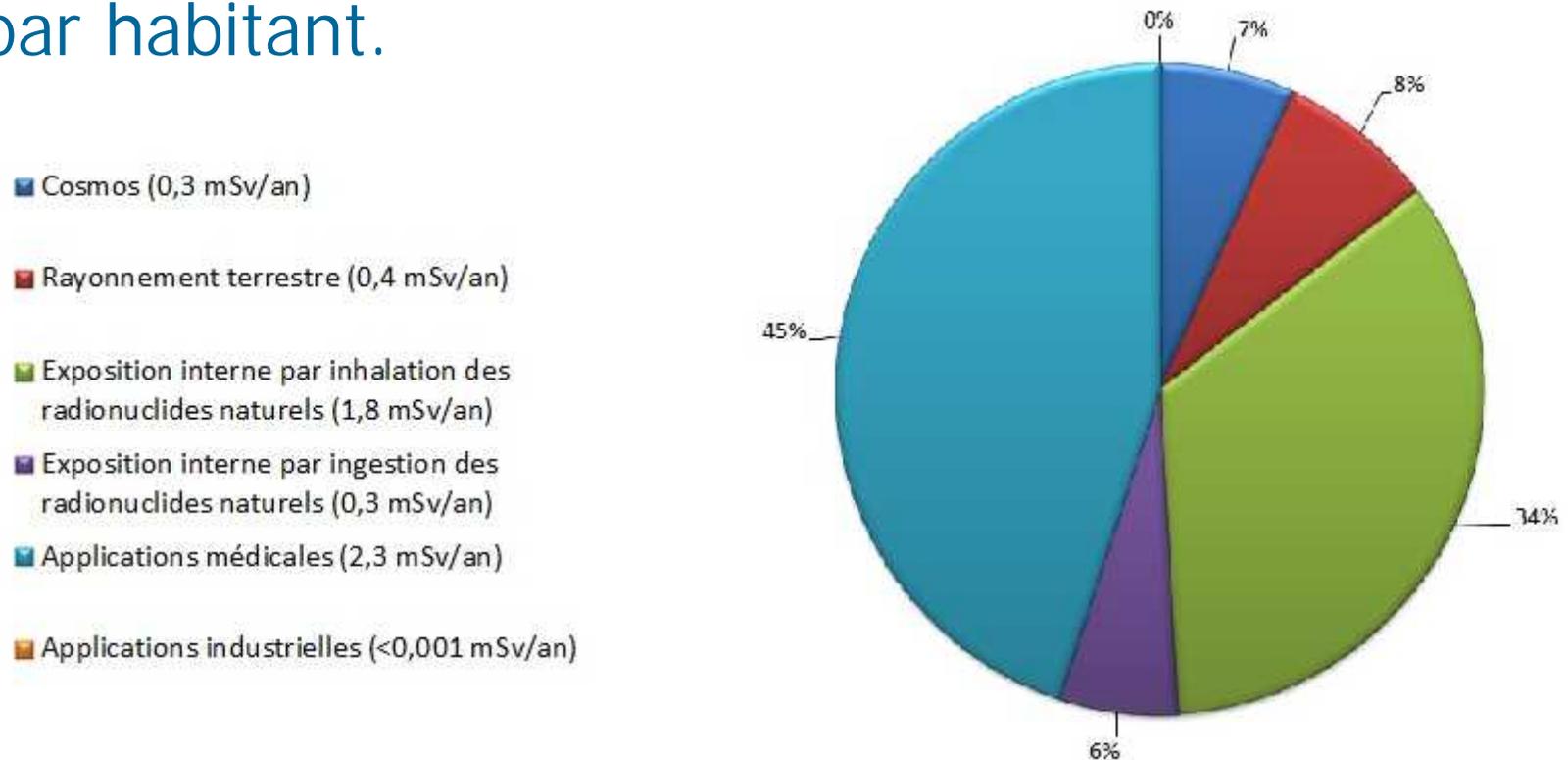
Keeping the doses low by setting the standards high

Risques des faibles doses

- Radioactivité naturelle
- Ordre de grandeur des doses
- Effets stochastiques $>$ $<$ déterministes
- Les 3 principaux risques

Radioactivité naturelle (1)

- Belgique :
 - L'exposition moyenne aux RI est de 5,1 mSv/an par habitant.



Keeping the doses low by setting the standards high

Radioactivité naturelle (2)

- Origine tellurique
 - Source principale de l'irradiation naturelle
 - Éléments lourds (U-238/235 et Th-232) et légers (K-40 et Rb-87) de longue période.
 - K-40 : Homme de 75 kg 6000 Bq

Radioactivité naturelle (3)

- Origine cosmique
 - Exposition directe par le rayonnement cosmique : altitude 0 → 0,4 mSv / an ; ensuite + 0,5 mSv / 1000 m (filtration atmosphérique).
 - Radionucléides naturels secondaires : produit par l'interaction du rayonnement cosmique (H-3 ; C-14).
 - C-14 : Homme de 75 kg → 4000 Bq

Radioactivité naturelle (4)

- Origine interne
 - Endogène : K-40 et C-14 10000 Bq pour un Homme de 75 kg
 - Exogène (par inhalation ou ingestion) :
 - Radon 222 : gaz omniprésent dans l'air
 - Le risque de cancer pulmonaire augmente de 16 % par tranche de 100 Bq/m³. La relation dose-effet semble être linéaire, sans seuil, ce qui signifie que le risque de cancer pulmonaire augmente proportionnellement avec l'exposition au radon.

Radioactivité naturelle (5)

- Origine interne
 - Exogène – Radon (suite)
 - non-fumeur : concentrations en radon de 0, 100 et 400 Bq/m³, le risque de cancer pulmonaire à l'âge de 75 ans est respectivement de 4, 5 et 7 pour 1.000.
 - fumeurs cependant, le risque x 25, c'est-à-dire qu'il atteint respectivement 100, 120 et 160 pour 1.000.

Radioactivité naturelle (6)

- Origine interne
 - Exogène – Radon (suite)
 - Belgique : environ 470 cas/an de cancers pulmonaires liés à l'exposition au radon. Ceci représente 7% du nombre total de victimes touchées chaque année en Belgique par le cancer pulmonaire.



Keeping the doses low by setting the standards high

Radioactivité naturelle (7)

- Origine interne
 - Exogène
 - Radioactivité des aliments

	Activité en Bq/kg
Sol	2000
Engrais phosphatés	5000
Pomme de terre	150
Lait de vache	60
Viande	100
Huile de table	180
Eau minérale	1 à 5
Eau de mer	13
Poisson	120
Crustacés	150

Cordoliani - 2005

Keeping the doses low by setting the standards high

Radioactivité naturelle (8)

- Contribution à l'exposition humaine
 - Rayonnement naturel varie fortement d'une région à l'autre.
 - Rayonnement naturel = f (sous-sol et altitude)
 - Belgique 2,4 mSv / an en moyenne

	Cause	Total annuel (mSv)
Montagne (3500m)	altitude	4
Personnel navigant	altitude	4
Bretagne, Vosges	granite	3.5
Inde, Kerala	phosphates	10
Espirito Santo (BRA)	thorium	30
Iran	uranium, thorium	100

Cordoliani - 2005

Keeping the doses low by setting the standards high

Radioactivité naturelle (9)

- Contribution à l'exposition humaine
 - Tableau d'équivalence des « faibles » doses et des doses reçues naturellement

Dose	Equivalent d'irradiation naturelle
2,4 mSv	1 an
0,2 mSv	1 mois
40 μ Sv	1 semaine
5 μ Sv	1 jour
0,2 μ Sv	1 heure

Keeping the doses low by setting the standards high

Irradiation artificielle (1)

- Exposition d'origine médicale
 - Principale cause
 - + 1 mSv / an / individu dans pays développés. Attention : valeur basée sur la notion contestée de dose collective.

Répartition de l'irradiation d'origine médicale en France

Nature de l'exposition	Ordre de grandeur de la dose efficace (mSv)	% de la population	Effectif	Dose collective (mSv)
Aucun dose	0	75%	45000000	0
Radiologie légère ⁽¹⁾	1	20%	12000000	12000000
Radiologie lourde ⁽²⁾	10	5%	3000000	30000000
Radiothérapie	200	0.17%	102000	20400000

(1) = RX dentaires et des extrémités

(2) = CT, RX interventionnelle, clichés multiples du tronc

Keeping the doses low by setting the standards high

Irradiation artificielle (2)

- Essais nucléaires
- Industrie nucléaire
 - En fonctionnement normal
 - En situation accidentelle

Keeping the doses low by setting the standards high

Ordre de grandeur des doses

- Perception du risque est subjective
(...augmente de 1/10000 à 1.3/10000
> < augmente de 30% le risque de...)
- Grandeurs :
 - 2,0 mSv = irradiation naturelle annuelle
 - 0,2 mSv = THX face
 - 200 mSv = effet seuil d'Hiroshima
 - 1000 mSv = 5% de cancer en plus
 - 4500 mSv = DL50
 - 6000 mSv = DL100

Stochastique > < Déterministe (1)

- Modification chromosomique
 - Effet chez certains sujets
 - « Pas » de seuil
 - Cancérogénèse si cellule somatique
 - Risque génétique si cellule germinale
 - Gravité \propto f (dose)
- Mort cellulaire
 - Effet chez tous les sujets
 - Seuil inéluctable
 - Radiodermite (500 mSv)
 - Cataracte (150 mSv)
 - Tératogénèse (100 mSv)
 - Gravité = f (dose)

Keeping the doses low by setting the standards high

Stochastique >< Déterministe (2)

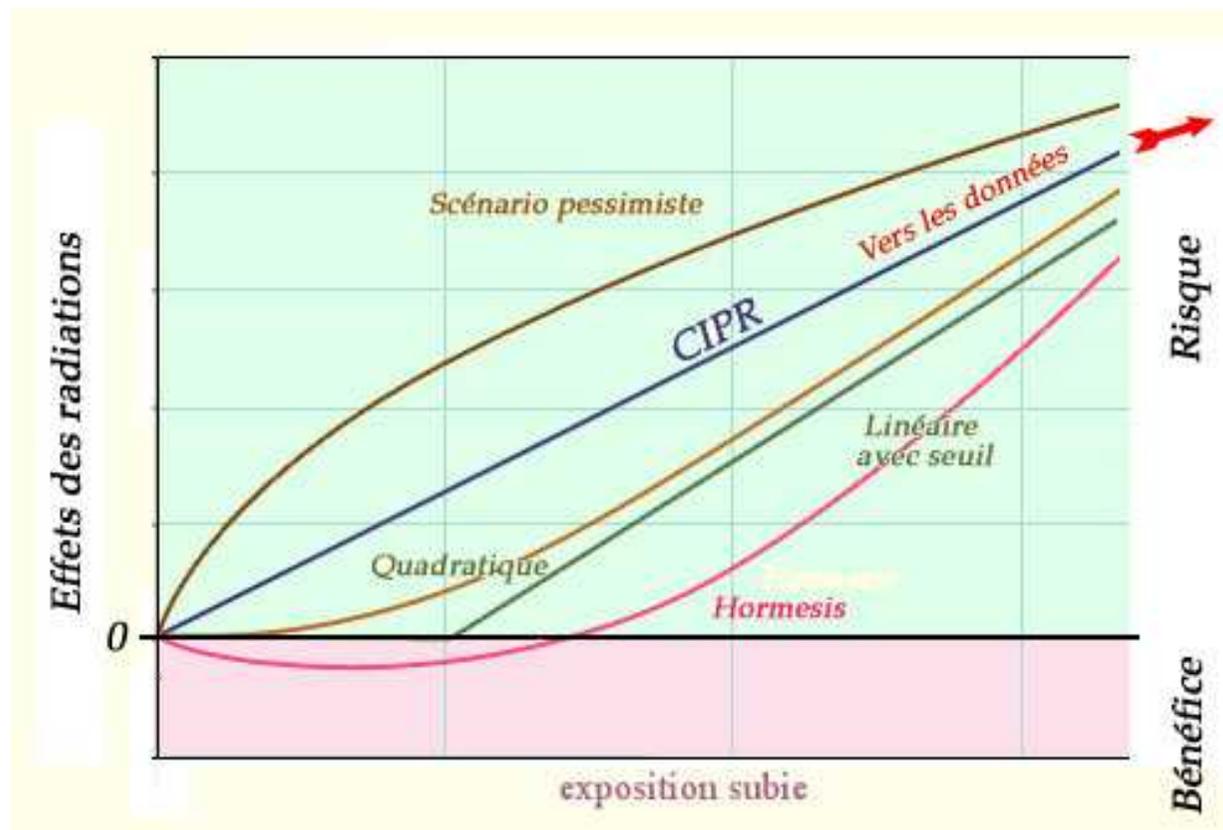
- Quels risques à prendre en compte ?
 - Radiologie diagnostique : risque stochastique
 - Risque cancérigène pour les patients (faibles doses) et le personnel (très faibles doses)
 - Risque génétique
 - Radiologie interventionnelle : risque déterministe
 - Pour patient et personnel
 - Radiodermite
 - Femme enceinte

Les 3 principaux risques (1)

- Risque cancérigène (stochastique)
 - Nombreux cas :
 - Radon, industrie horlogère,...
 - Horishima & Nahasaki : 100000 personnes
 - 700 décès par cancer radio-induit (25700 > <25000)
 - Cancer = f (dose) pour dose > 200 mSv
 - Pas d'augmentation de cancers « observée » pour doses < 200 mSv
 - Excès de risque tumoral à partir de 100 mSv

Les 3 principaux risques (2)

- Risque cancérigène (stochastique)



Keeping the doses low by setting the standards high

Les 3 principaux risques (3)

- Risque génétique (stochastique)
 - Basé sur une double extrapolation :
 - De l'animal à l'homme
 - Des fortes doses à fort débit de dose aux faibles doses.
 - UNSCEAR 2001
 - Excès de risque par Gy et par million de naissances de 0,5% pour la première génération et 0,25% pour le seconde.

Les 3 principaux risques (4)

- Risques déterministes :
 - Tératogène (effet malformatif) : 100 mSv
 - Cataracte : 150 mSv
 - Radiodermite : 500 mSv

Effet	Dose (Gy)
Erythème précoce	> 2
Epilation temporaire	3
Alopécie temporaire	5
Erythème définitif	6
Epilation définitive	7
Alopécie définitive	10
Nécrose cutanée	18
Ulcération secondaire	20

- ATTENTION : peau de moins en moins « tolérante » ; nécrose peuvent se produire à des doses inférieures.

Keeping the doses low by setting the standards high

Les 3 principaux risques (5)

- Risques déterministes :

Exposition	Effets
0,25 à 1 gray	Quelques nausées, légère chute du nombre de globules blancs
1 à 2,5 grays	Vomissements, modification nette de la formule sanguine
2,5 à 5 grays	Dose mortelle une fois sur deux, hospitalisation obligatoire
Au delà de 5 grays	Décès presque certain



au delà de 10 Sv	très fortes doses
2 Sv à 10 Sv	fortes doses
200 mSv à 2000 mSv (2 Sv)	doses moyennes
20 à 200 mSv	faibles doses
0 à 20 mSv	très faibles doses

© ICRP 2004

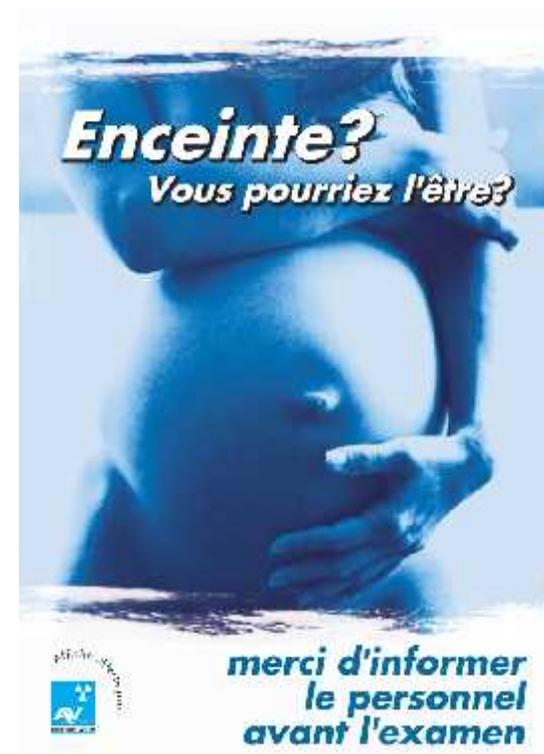
Keeping the doses low by setting the standards high

Grossesse et exposition médicale

Keeping the doses low by setting the standards high

Grossesse et exposition médicale (1)

- L'exposition radiologique d'une femme enceinte entraîne souvent une inquiétude disproportionnée au risque et des conduites inadaptées (ex : IMG)
 - Rappel : les risques sont de 2 types : malformatif et induction de cancer à long terme.



Keeping the doses low by setting the standards high

Grossesse et exposition médicale (2)

- En radiodiagnostic
 - Radiologie conventionnelle

Doses délivrées à l'utérus par clichés standards (mSv)

Incidences	Dose à l'entrée	Dose à mi-épaisseur
Rachis lombaire F	15	1.5
Rachis lombaire P	30	2.5
Abdomen AB	12	1.5
Bassin	12	1.5
Pelvimétrie	50	6
Urographie intraveineuse (10 clichés)	100	12
Lavement baryté (10 clichés)	120	15
Artériographie abdomen/membres inf.	120	15

Keeping the doses low by setting the standards high

Grossesse et exposition médicale (3)

- En radiodiagnostic
 - Tomodensitométrie (CT)

Doses délivrées, pour une seule série, à l'utérus par examens CT (mSv)

Incidences	Dose au volume	Dose à l'utérus*
Tête	40	< 0.01
Thorax	15	0.1
Abdomen (pelvis non exploré)	20	5
Pelvimétrie TDM	3	3
Pelvis	25	25
Rachis lombaire	15	10

* Non gravide ou avant 3 mois de grossesse

Keeping the doses low by setting the standards high

Grossesse et exposition médicale accidentelle (1)

- Radiodiagnostic – hors abdomen
 - Radiologie conventionnelle + CT
 - Tête, cou, thorax, membres
 - => Dose reçue à l'utérus < 1 mSv
- Radiodiagnostic – abdomen
 - Radiologie conventionnelle
 - Examens simples (moins de 4 clichés, moins d'une minute de scopie si utilisée)
 - => Dose reçue à l'utérus < 10 mSv

Grossesse et exposition médicale accidentelle (2)

- Radiodiagnostic – abdomen
 - Radiologie – explorations avec contraste
 - urographie intraveineuse, cystographie retrograde,...
 - => Dose reçue à l'utérus en général < 50 mSv
 - CT – une seule série sur le pelvis
 - => Dose reçue à l'utérus en général < 50 mSv
 - CT – plusieurs séries sur le pelvis
 - => Dose reçue à l'utérus peut > 100 mSv

Grossesse et exposition médicale accidentelle (3)

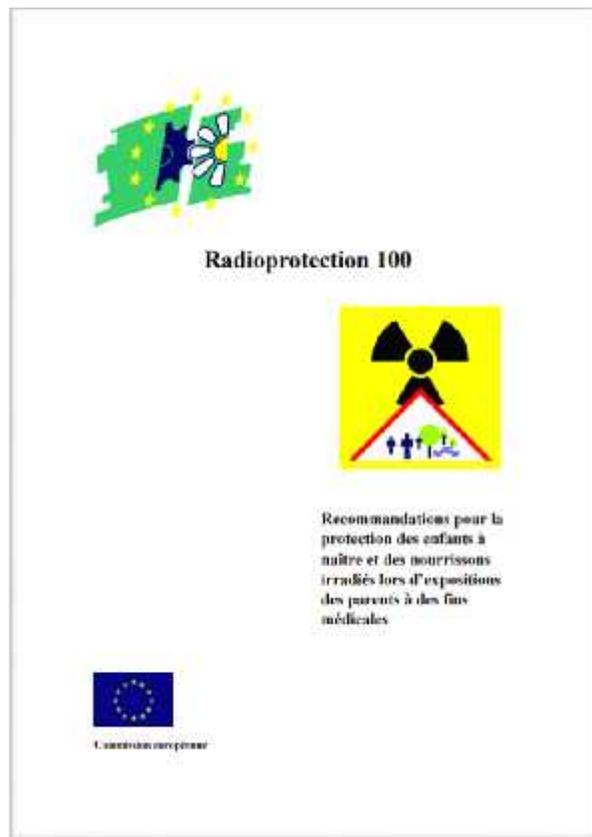
- Radiodiagnostic
 - Conclusion
 - Aucun examen diagnostique n'est susceptible de délivrer des doses de 200 mSv.
 - Une dose de 100 mSv ne sera qu'exceptionnellement dépassée.
 - => Dans la quasi-totalité des cas, aucune interruption médicale de grossesse n'est à envisager.

Grossesse et exposition médicale accidentelle (4)

- Conduite à tenir
 - Prévenir votre radiophysicien.
 - Lui fournir un maximum de paramètres
 - Nombre de clichés, kV, mAs, valeur(s) DAP,...
 - Radiophysicien estime la dose délivrée à l'utérus / au fœtus
 - Via recommandations internationales (RP100,...)
 - Via simulation « monte-carlo » (PCXMC, CT expo,...)

Grossesse et exposition médicale accidentelle (5)

- Conduite à tenir (suite)



Rayons X classiques

Les chiffres fournissent une estimation approximative et s'appliquent à une distance film - foyer d'environ 1 m et à des projections antéro-postérieures ou postéro-antérieures du colon, du bassin, du rachis lombaire, etc., lorsque l'enfant à naître se trouve dans le faisceau primaire.

Tension du tube (kV)	Produit intensité du courant - temps d'exposition (m.As)	Dose équivalente reçue par l'enfant à naître (mSv)
70	1	0,04
90	1	0,1
110	1	0,2

La dose absorbée croît proportionnellement au produit intensité du courant - temps d'exposition.

Lorsque la valeur du produit intensité du courant - temps d'exposition n'est pas connue en raison du recours à un système de contrôle automatique de l'exposition, elle peut être estimée à partir d'une table d'exposition si l'on connaît la sensibilité du couple film-écran.

Les chiffres sont également valables pour les examens fluoroscopiques à condition de convertir en secondes le temps écoulé en minutes.

Keeping the doses low by setting the standards high

Grossesse et exposition médicale accidentelle (7)

- Conduite à tenir (suite)
 - Un rapport est envoyé au praticien.
 - Praticien contacte les futurs parents :
 - Si dose < 1 mSv :
 - aucun risque supplémentaire pour l'enfant ; insister sur le fait que le risque spontané n'est pas nul.
 - Si dose < 10 mSv :
 - risque spontané de cancer passé de 2,5 à 3 ‰. A présenter sous la forme : « la probabilité pour votre enfant de ne pas avoir de cancer est passée de 997,5 à 997 ‰ ».

Grossesse et exposition médicale accidentelle (8)

- Conduite à tenir (suite)
 - Praticien contacte les futurs parents :
 - Si dose < 50 mSv :
 - risque spontané de cancer passé de 2,5 à 4 ‰. A présenter sous la forme : « la probabilité pour votre enfant de ne pas avoir de cancer est passée de 997,5 à 996 ‰ ».
 - Si dose 100 mSv :
 - risque spontané de cancer passé de 2,5 à 5 ‰.
 - entre 8 et 15 semaines : risque augmenté de retard mental.

Grossesse et exposition médicale accidentelle (9)

- Conduite à tenir (suite)
 - Praticien et futurs parents décident. Radiophysicien transmet uniquement une dose.
 - Guide utile à la décision : ICRP 84

10. Considération relative à l'interruption de la grossesse suite à une exposition aux rayonnements

(151) L'interruption de grossesse est une décision individuelle influencée par de nombreux facteurs. Des doses fœtales inférieures à 100 mGy ne doivent pas être considérées comme raison suffisante pour une interruption d'une grossesse. À des doses fœtales supérieures à ce seuil, il peut y avoir un préjudice pour le fœtus, dont l'ampleur et la nature dépendent de la dose et du stade de la grossesse.

Keeping the doses low by setting the standards high

Optimisation des doses

Keeping the doses low by setting the standards high

Optimisation des doses

- Etat des lieux en Belgique
- Introduction à la radiophysique médicale
- Contrôles de qualité
- Techniques de réduction des doses
- Etudes de doses selon l'AFCN

Etats des lieux en Belgique (1)

En 2008, 1.969.000 TDM et 10.640.000 radiographies ont été pratiquées. Plus précisément, la Belgique comptait 10.666.866 habitants (Eurostat 2011) en 2008. Selon les chiffres de l'INAMI, 16,26 % de la dose d'irradiation de la population provient des TDM de la colonne vertébrale. Les radiographies de la colonne vertébrale représentent quant à elles 16,68 % de la dose délivrée à la population. Autrement dit le cumul de ces 2 chiffres pour la seule imagerie de la colonne vertébrale représente 32,94 % de la dose totale délivrée à la population.

Source : Inami

Etats des lieux en Belgique (2)

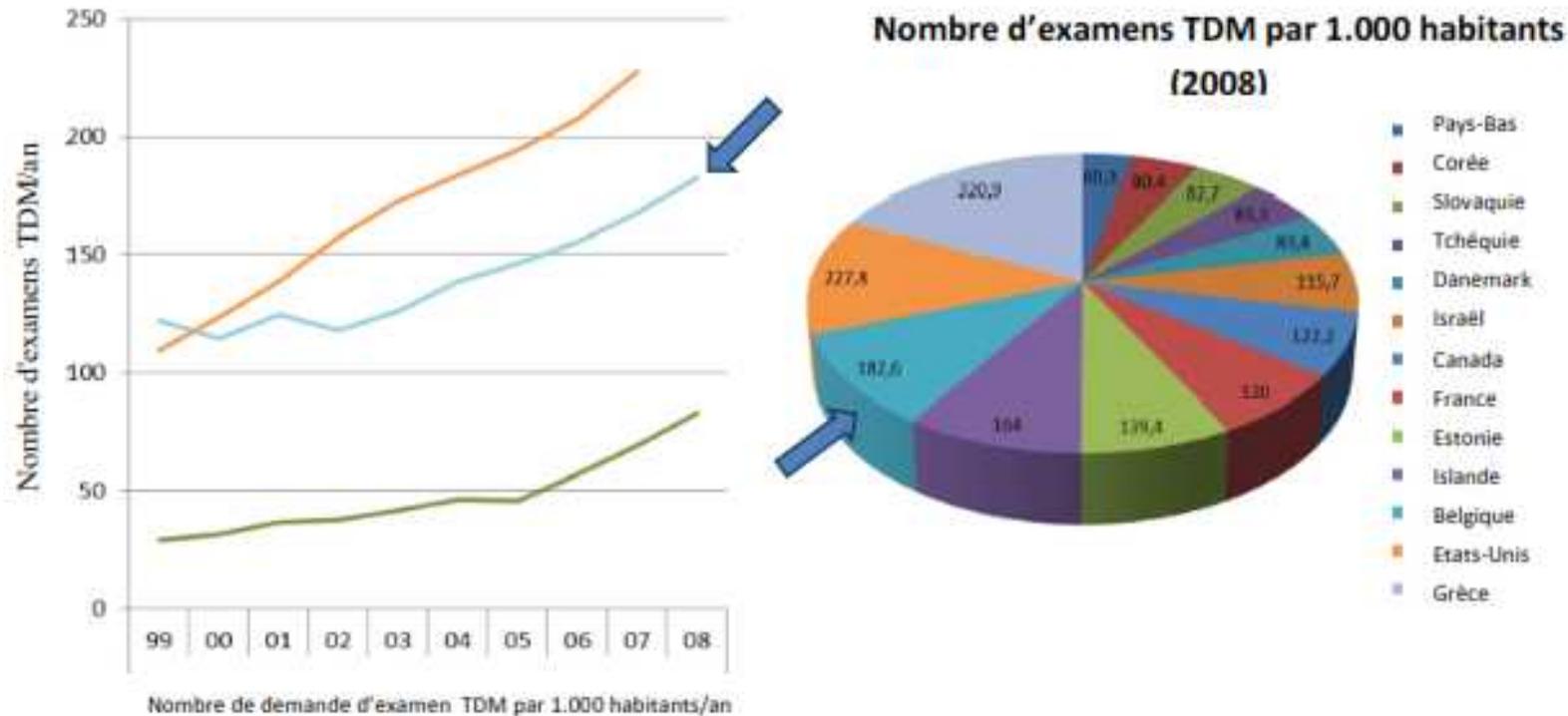


Figure 1 : Nombre d'examens TDM par 1.000 habitants.

- A gauche : tendance annuelle, pour les États-Unis, la Belgique et la Slovaquie.
- A droite : Répartition par pays pour 2008. (Données sur la santé de l'OCDE 2008).

Keeping the doses low by setting the standards high

Etats des lieux en Belgique (3)

Type d'examen	Dose (mSv)	Durée de l'exposition naturelle pour atteindre cette dose	Nombre d'exams 'Radiographie de thorax' (en nombre de clichés) correspondant à cette dose
Radiographie du crâne	0,2	37 jours	2-3
Radiographie de l'abdomen	0,86	140 jours	14
Radiographie du rachis lombaire	4,2	1,8 an	70
TDM du rachis	10	5 ans	167
Radiographie du côlon avec contraste baryté	20	10 ans	333

Tableau 1 : Comparaison entre l'exposition moyenne aux rayons ionisants de quelques examens et l'exposition naturelle et à l'exposition liée à une radiographie de thorax (un cliché). Adapté de : *Imagerie médicale. Prescription rationnelle. Sensibilisation aux risques d'exposition aux rayons ionisants.* (INAMI 2010)

	Source du rayonnement	Durée d'exposition naturelle nécessaire pour atteindre la même dose
Activités de la vie quotidienne	4 heures dans un avion pour passager (en raison de l'altitude plus élevée et de l'atmosphère raréfiée)	1 jour
	7 jours de ski en montagne	1 jour
Radiographie	Radiographie de l'abdomen	3 mois
	Radiographie du bassin	4 mois
	Radiographie de la colonne lombaire (vue de face)	2 mois
	Radiographie de la colonne lombaire (examen complet)	3,5 mois
	Radiographie de la colonne lombaire (vue latérale)	14 mois
	Radiographie pulmonaire (vue de face)	3 jours
	Radiographie pulmonaire (vue latérale)	10 jours
CT-scan	Radiographie pulmonaire (vue de face, en position couchée)	3 jours
	CT-scan de l'abdomen	4 ans
	CT-scan de la colonne lombaire	4 ans
	CT-scan de la tête	8 mois
	CT-scan des sinus	1 mois
Médecine nucléaire	CT-scan pulmonaire	21 mois
	Examen du squelette	19,5 mois
	Examen de la thyroïde	3 à 9 mois
	Examen de l'irrigation des poumons	9 mois
	Examen de l'irrigation du cerveau	20 mois
	Examen des reins	5 à 6,5 mois
	Examen du reflux gastrique	2 mois
	Examen des voies biliaires	11 mois
	Examen de l'irrigation du cœur	15,5 à 26 mois
	Examen du fonctionnement ventriculaire	19 mois
Examen PET	22 mois	
Dentisterie	Deux radiographies ordinaires des dents	1 jour
	Radiographie d'une mâchoire complète (orthopantomogramme/cliché panoramique)	1 jour
	Conebeam CT	2 à 20 jours

Keeping the doses low by setting the standards high

Introduction à la radiophysique médicale

Keeping the doses low by setting the standards high

Le cadre légal (1)

- 20 JUILLET 2001. (MB 30/08/2001) — Arrêté royal portant mise en vigueur de la loi du 15 avril 1994 relative à la protection de la population et de l'environnement contre les dangers résultant des rayonnements ionisants et relative à l'Agence fédérale de contrôle nucléaire

Le cadre légal (2)

- 17 MAI 2007 (MB 25/05/2007). — Arrêté royal portant modification de l'arrêté royal du 20 juillet 2001 portant règlement général de la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants.

L'expert agréé en radiophysique (1)

- L'expert agréé en radiophysique médicale est agréé par l'AFCN ; agrément personnel (3 puis 6 ans)
- Le candidat doit posséder un diplôme universitaire
 - de licence en sciences physiques ou chimiques ; un diplôme d'ingénieur civil ; un diplôme d'ingénieur industriel en énergie nucléaire ou un diplôme reconnu ou déclaré équivalent en Belgique.

L'expert agréé en radiophysique (2)

- Le candidat doit en outre avoir effectué avec fruit une formation supérieure universitaire ou interuniversitaire qui répond aux conditions suivantes : la durée de cette formation est de deux ans au moins, incluant 600 heures au moins d'enseignement théorique et pratique, couvrant les trois domaines et un an au moins de stage clinique dans le domaine de compétence pour lequel l'agrément est postulé.

L'expert agréé en radiophysique (3)

- Formation continue (Art. 51.7.5)
 - L'expert est tenu d'entretenir et de développer ses connaissances et sa compétence, dans le cadre d'une formation continue de niveau universitaire
- Rapport d'activité (Art. 51.7.6)
 - L'expert communique à l'Agence, après une première période d'activité de 3 ans et ensuite, après chaque période d'activité de 6 ans, un rapport d'activités.

L'expert agréé en radiophysique (4)

- Principales tâches de l'expert (Art. 51.7.1) :
 - La dosimétrie liée à l'appareil;
 - La participation à la dosimétrie liée au patient;
 - La consultation pour la préparation des cahiers de charges destinés à l'achat de nouveaux appareils;

L'expert agréé en radiophysique (5)

- Principales tâches de l'expert :
 - La participation, en collaboration avec l'équipe médicale, aux projets d'optimisation de la dose reçue par le patient;
 - Le contrôle de qualité des appareils.

Assurance de qualité

- A pour but :
 - d 'obtenir des images de qualité et maintenir cette qualité constante
 - de diminuer l'exposition du patient et du personnel
 - de maintenir le service d'imagerie médicale rentable

Contrôle de qualité (1)

- Fait partie de l'assurance de qualité et consiste en une série de tests techniques à effectuer sur tous les appareils utilisés pour réaliser un examen (de la prise du cliché au protocole par le radiologue)
- Est réalisé par un expert agréé en radiophysique médicale

Contrôle de qualité (2)

- Art. 51.6.4. : ... la réception des appareils visés à l'article 50.2.1 est exécutée, avant la première mise en service des équipements à des fins médicales, par un expert en radiophysique médicale dont question à l'article 51.7. L'Agence peut déterminer les procédures à utiliser pour la réception.

Contrôle de qualité (3)

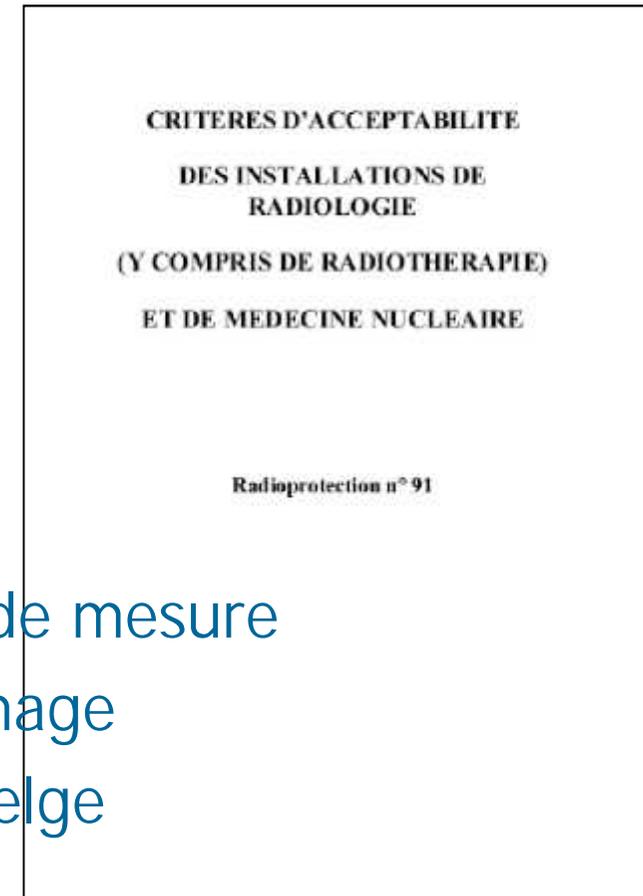
- Art. 51.6.5. : L'exploitant d'un établissement dans lequel les sources de radiations ionisantes et les installations radiologiques visées à l'article 50.2 sont utilisés, veille à ce qu'un expert en radiophysique médicale dont question à l'article 51.7 vérifie annuellement la conformité de chaque appareil utilisé dans l'établissement avec les critères d'acceptabilité fixés ou approuvés par l'Agence

Critères d'acceptabilité

- Art. 81.6. Dispositions transitoires relatives au chapitre VI : En attendant la fixation ou l'approbation par l'Agence de critères d'acceptabilité, en application de l'article 51.6.5, il y a lieu d'utiliser les critères d'acceptabilité définis dans la publication Radioprotection 91 de la Commission européenne (Luxembourg, 1997).

Radioprotection 91 (RP91) (1)

- Etabli par la Commission européenne (1997)
- Mais:
 - Dépassé
 - Sauf appareils numériques
 - Uniquement des critères, pas d'informations sur la méthode de mesure
 - Aucune garantie de qualité d'image
 - Besoin d'une nouvelle norme belge

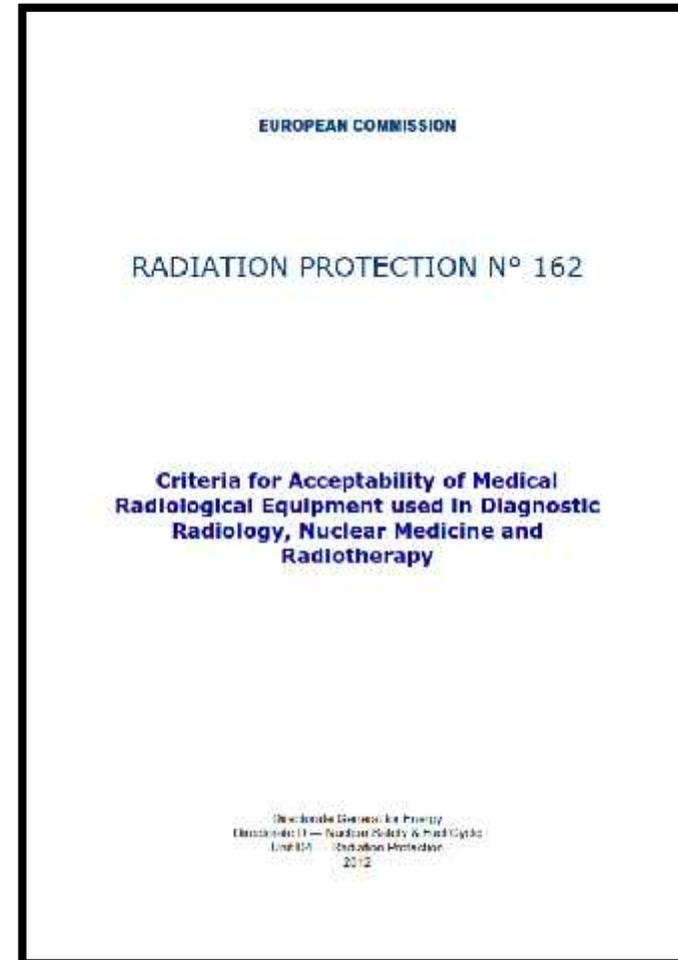


Radioprotection 91 (RP91) (2)

- Est toujours « utilisé » lorsque d'autres critères d'acceptabilité n'ont pas encore été publiés
- Exemples : mammo non dépistage, amplificateurs de brillance,...

Radioprotection 91 (RP91) (3)

- Son remplaçant « non légal » est le RP162 - 2012



Keeping the doses low by setting the standards high

Arrêtés de l'AFCN (1)

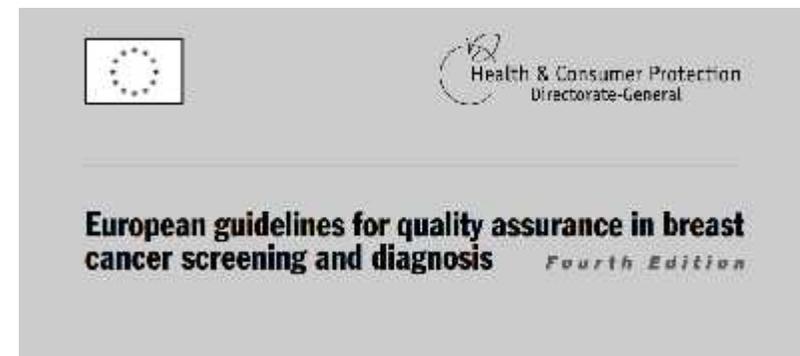
- 12 DECEMBRE 2008. — Arrêté fixant les critères d'acceptabilité pour les appareils à rayons X destinés à être utilisés à des fins de diagnostic en médecine dentaire (MB 30/12/2008).
- 25 JUILLET 2011. — Arrêté fixant les critères d'acceptabilité pour les appareils à rayons X destinés à être utilisés à des fins de radiologie diagnostique médicale (MB 24/08/2011)
 - Sauf mammo, CT et DEXA

Arrêtés de l'AFCN (2)

- 18 FEVRIER 2014. — Arrêté fixant les critères minimaux d'acceptabilité pour les appareils de scanographie (scanners CT) utilisés à des fins d'imagerie médicale (MB 09/04/2014).
 - Sauf CBCT

EUREF – 4th edition

- European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis
- Utilisé pour les appareils de mammographie entrant dans le programme de dépistage du cancer du sein (et donc pas pour les mammographes utilisés qu'à des fins de bilan sénologique)



Keeping the doses low by setting the standards high

Protocoles en cours

- Etablis par l'AFCN et la SBPH
- Amplificateurs de brillance



Keeping the doses low by setting the standards high

Contrôles de qualité en radiologie

Keeping the doses low by setting the standards high

Pour rappel...

- Art. 51 - Toute irradiation médicale doit être :
 - Optimisée (Principe ALARA)
 - Justifiée
- Le matériel utilisé doit être de qualité
=> doit être régulièrement contrôlé

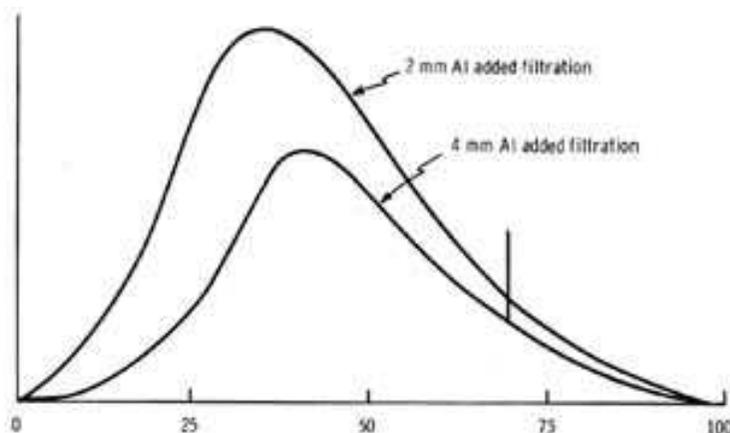
Tables télécommandées (1)

- Arrêté de l'AFCN (tube) et RP91 (ampli)
- Contrôle de :
 - Tension du tube (exactitude, variation avec CTP, reproductibilité)
 - Temps d'exposition (exactitude, reproductibilité)



Tables télécommandées (2)

- Contrôle de :
 - Filtration totale > 2.5 mm Al.
(Évaluée à partir de la HVL).



Filtration (mm Al)	Dose à la peau (mGy)	% de diminution de dose
0	23.8	-
0.5	18.5	22
1	12.7	47
3	4.65	80

(Fantôme abdomen de 18 cm ; 60 kVp)

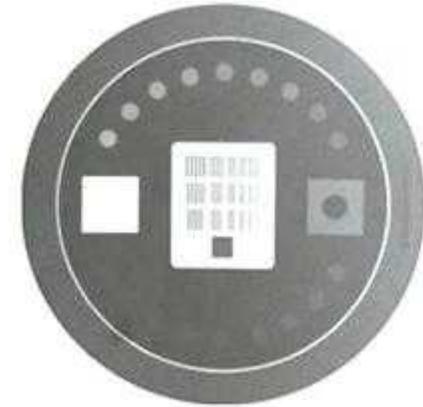
Keeping the doses low by setting the standards high

Tables télécommandées (3)

- Contrôle de :
 - Rendement du tube à 1 m (valeur, reproductibilité, variation en fonction du CTP et en fonction des mA)
 - Vérification de la calibration du DAP
 - Réponses des différentes cellules de l'AEC
 - LEI
 - Dose d'entrée pour les protocoles Thorax et/ou Abdomen

Tables télécommandées (4)

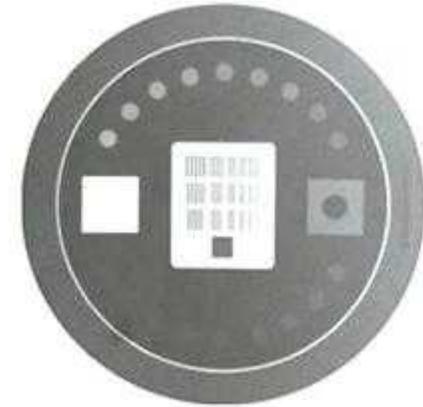
- Contrôle de :
 - Qualité d'image (Leeds Tor FG18 sur X cm de PMMA)
 - Alignement du champ lumineux et du champ de rayonnement
 - Orthogonalité entre le faisceau de rayonnement X et le récepteur d'image
 - Collimation automatique
 - Calibration du DAP-mètre



Keeping the doses low by setting the standards high

Tables télécommandées (5)

- Contrôle (partie ampli) de :
 - Débit de dose à l'entrée de 20 cm de PMMA
 - Débit de dose à l'entrée de l'amplificateur de brillance
 - Résolution
 - Contraste
 - Concordance champ d'irradiation / amplificateur



Keeping the doses low by setting the standards high

Scanner CT (1)

- Contrôle de :
 - Tension du tube (reproductibilité)
 - Suivi dans le temps du CTDI_w ou CTDI_{vol}
 - Ecart entre CTDI mesuré et affiché (avec et sans modulation du courant)
 - Variation du CTDI en fonction de la tension du tube
 - Reproductibilité du CTDI



Keeping the doses low by setting the standards high

Scanner CT (2)

- Contrôle de :
 - Linéarité de la dose en fonction du CTDI
 - Largeur du faisceau
 - Différents alignements (déplacement de la table, position du laser,...)
 - Qualité d'image (HU, contraste,...)

Arc de scopie

- Contrôle de la source de rayonnement
- Contrôle de la partie amplificateur de brillance



Keeping the doses low by setting the standards high

Appareil de radiographie mobile

- Appelé communément « bobby »
- Contrôle de la source de rayonnement



Keeping the doses low by setting the standards high

Suspension plafonnière

- Contrôle de la source de rayonnement



Keeping the doses low by setting the standards high

Appareils hybrides

- Les appareils hybrides doivent être contrôlés par un expert agréé pour chaque technique présente sur l'installation



Keeping the doses low by setting the standards high

Mammographie (1)

- Contrôle de la source de rayonnement :
 - Alignement du champ d'irradiation (Mo, Rh)
 - Rendement du tube (valeur pour 28 kV – Mo/Mo, reproductibilité)
 - Tension du tube (exactitude, reproductibilité)

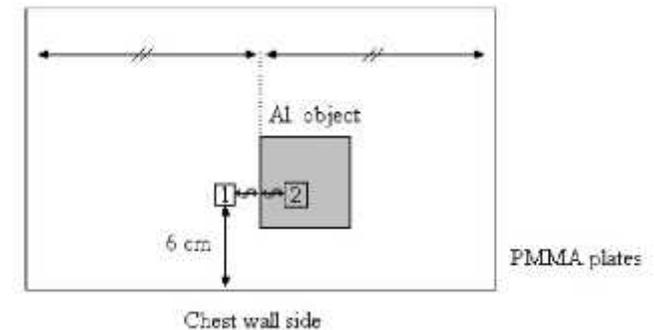


Mammographie (2)

- Contrôle de la source de rayonnement :
 - HVL
 - Reproductibilité à court terme (mAs, dose)
 - Compensation d'épaisseur
 - Compression automatique

Evaluation du CNR relatif en fonction de la valeur limite :

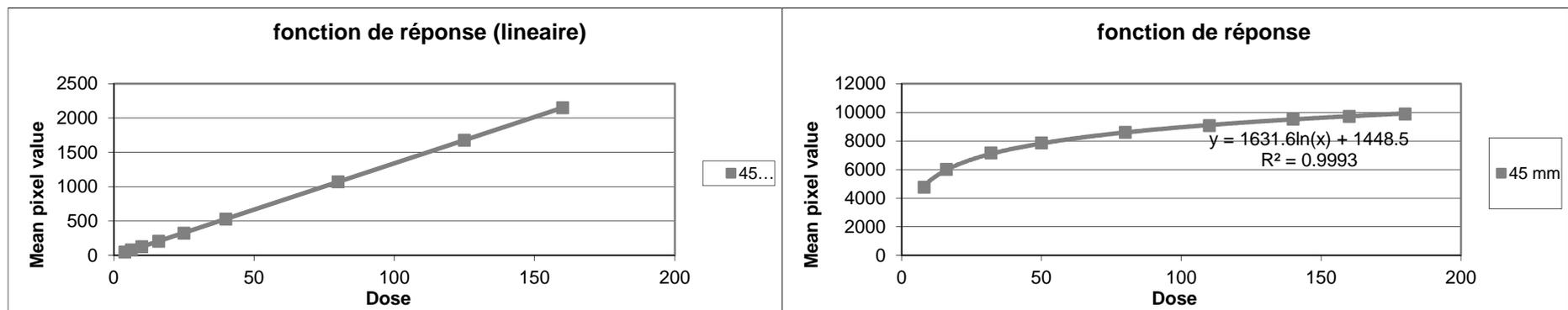
Epaisseur [mm]	zone 1 MPV	Zone 1 SD	Zone 2 MPV	Zone 2 SD	CNR mesuré	CNR relatif [%]	Limite (provisoire)	
20	593.6	8.8	459.2	7.7	16.24	331.4	≥ 115	en ordre
30	444.25	7.44	345.59	6.73	13.91	283.8	≥ 110	en ordre
40	486.34	8.02	395.96	7.57	11.59	236.5	≥ 105	en ordre
45	665.82	10.13	555.43	9.49	11.25	229.5	≥ 103	en ordre
50	556.18	9.34	467.21	8.24	10.10	206.1	≥ 100	en ordre
60	566.97	9.51	482.34	8.77	9.25	188.8	≥ 95	en ordre
70	563.94	9.73	483.37	8.97	8.61	175.7	≥ 90	en ordre
							Accepté?	en ordre



Keeping the doses low by setting the standards high

Mammographie (3)

- Contrôle du récepteur d'image :
 - DR ou CR
 - Fonction de réponse et évaluation du bruit
 - Homogénéité (MPV, SNR)
 - Sensibilité des cassettes (dose, mAs, SNR)

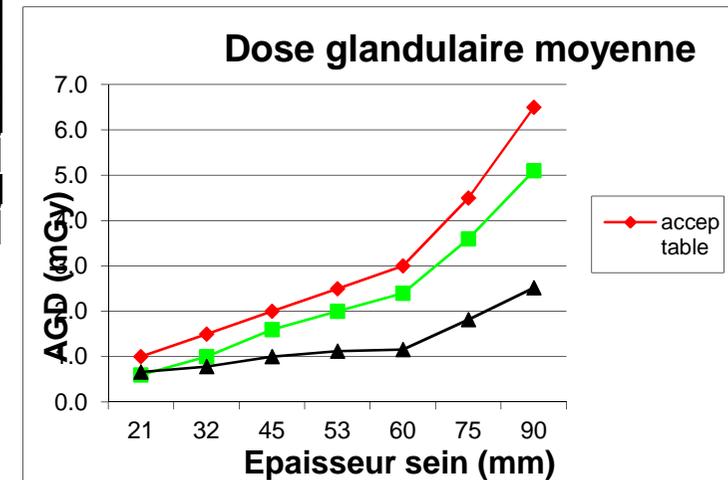


Keeping the doses low by setting the standards high

Mammographie (4)

- Dosimétrie :

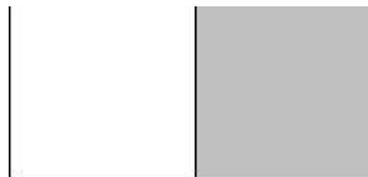
épaisseur PMMA (mm)	20	30	40	45	50	60	70
ép. equiv. sein (mm)	21	32	45	53	60	75	90
A/F	Mo/Mo	Mo/Rh	Mo/Rh	Rh/Rh	Rh/Rh	Rh/Rh	Rh/Rh
kV	26	26	27	29	29	30	31
mAs	22.5	37.6	50.8	48.3	53.2	82.3	113.7
$\mu\text{Gy/mAs}$ @ bucky	73.6	57.3	64.8	78.5	78.5	87.0	96.3
HVL (mmAl)	0.34	0.42	0.43	0.43	0.43	0.45	0.46
K	1.77	2.39	3.82	4.52	5.10	9.22	14.90
g	0.41	0.34	0.25	0.21	0.19	0.15	0.12
c	0.89	0.95	1.04	1.10	1.15	1.23	1.27
s	1	1.017	1.017	1.061	1.061	1.061	1.061
AGD (mGy)	0.66	0.78	1.00	1.12	1.16	1.82	2.52
limite acceptable	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.5	6.5
	oui						
limite souhaitable	0.6	1.0	1.6	2.0	2.4	3.6	5.1
	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui



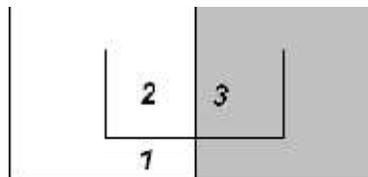
Keeping the doses low by setting the standards high

Mammographie (5)

- Qualité d'image :
 - Seuil de contraste
 - Temps d'exposition
 - Ghost Image



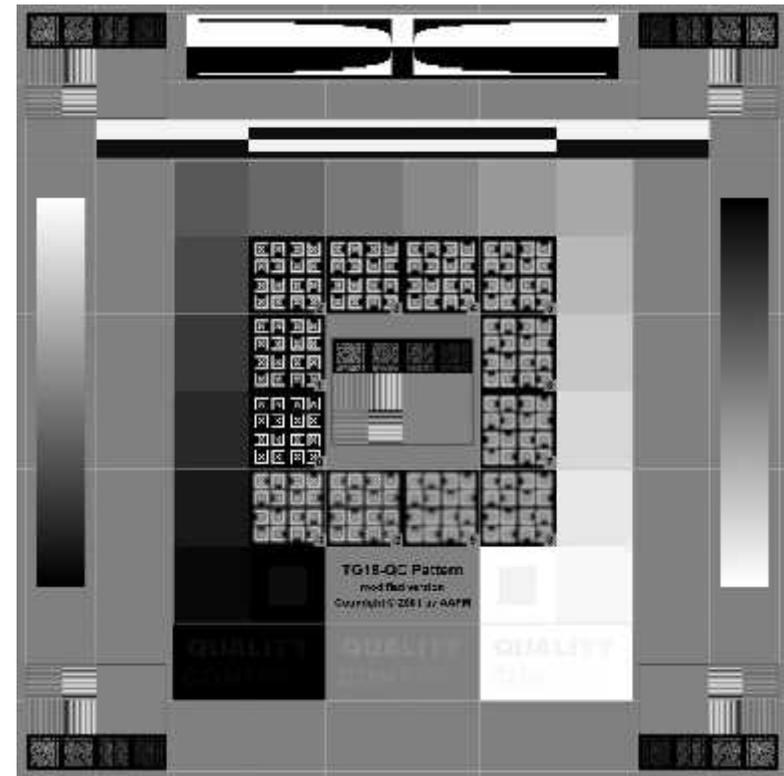
après 1 min



Keeping the doses low by setting the standards high

Mammographie (6)

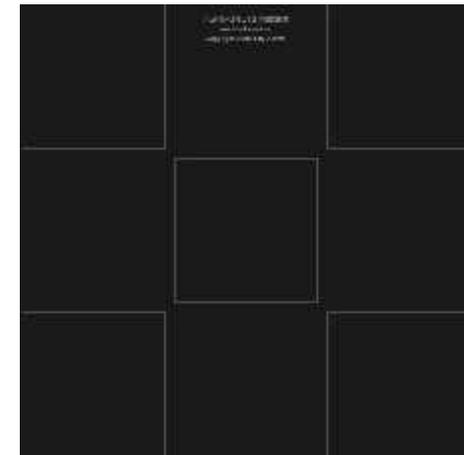
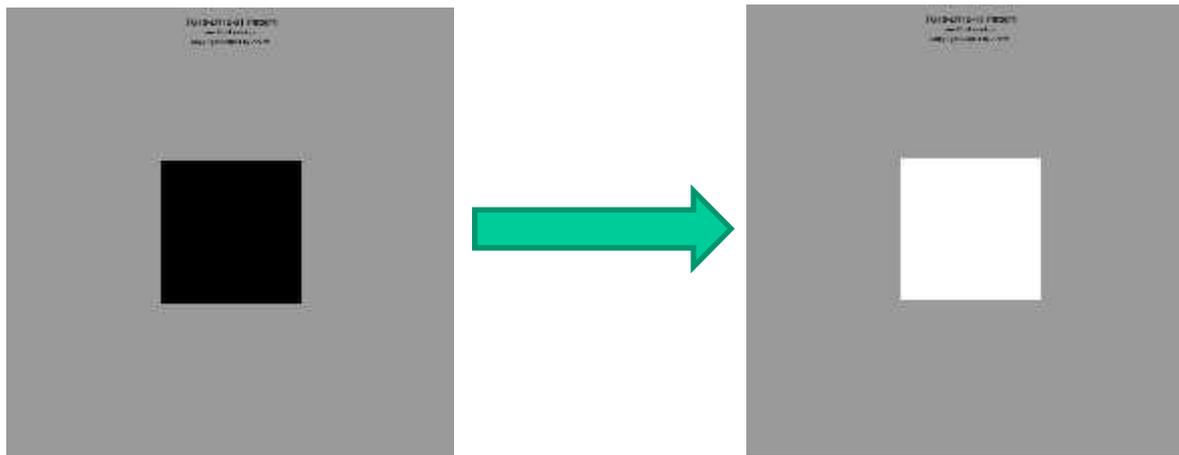
- Affichage des images :
 - Luminosité ambiante
 - Distorsion géométrique
 - Visibilité de contraste
 - Résolution
 - Artéfacts



Keeping the doses low by setting the standards high

Mammographie (7)

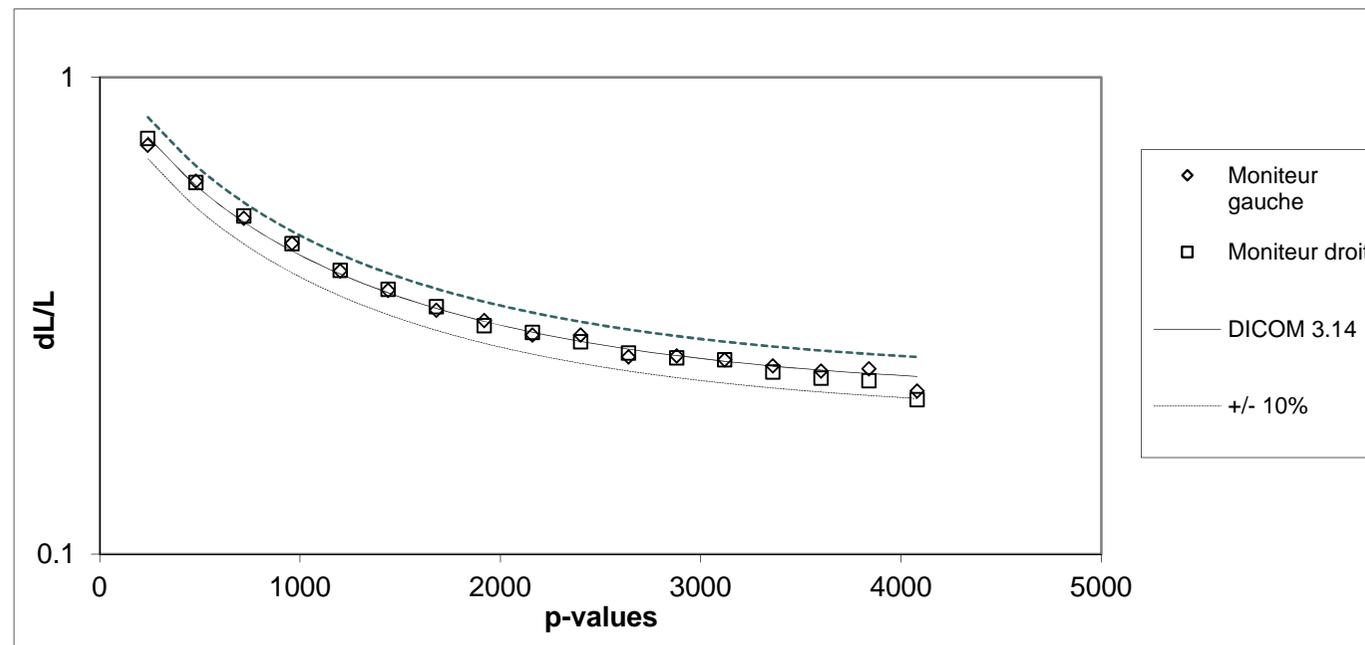
- Affichage des images :
 - Plage de luminance (min/max ; comp. des moniteurs)
 - Uniformité des moniteurs



Keeping the doses low by setting the standards high

Mammographie (8)

- Affichage des images :
 - GSDF (GrayScale Display Function)



Keeping the doses low by setting the standards high

Appareils de médecine dentaire (1)

- Intra-oraux (IO)
- Orthopantomographes (OPG) ou pano
- Céphalo
- CBCT dentaire



Keeping the doses low by setting the standards high

Appareils de médecine dentaire (2)

- Mesures communes :
 - Tension du tube (exactitude, variation avec CTP, reproductibilité)
 - Filtration > X mm Al

IO

50 kV	56	1,4 mm Al
56 < kV	62	1,6 mm Al
62 < kV	68	1,9 mm Al
> 68 kV		2,1 mm Al

OPG & Céphalo

50 kV	56	1,4 mm Al
56 < kV	62	1,6 mm Al
62 < kV	68	1,9 mm Al
68 < kV	80	2,1 mm Al
80 < kV	90	2,3 mm Al
90 < kV	100	2,5 mm Al

Keeping the doses low by setting the standards high

Appareils de médecine dentaire (3)

- Mesures communes :
 - Rendement du tube (valeur, reproductibilité, variation en fonction du CTP et en fonction des mA)
 - Dosimétrie
 - Qualité d'image

Appareils de médecine dentaire (4)

Anciens tubes CA:

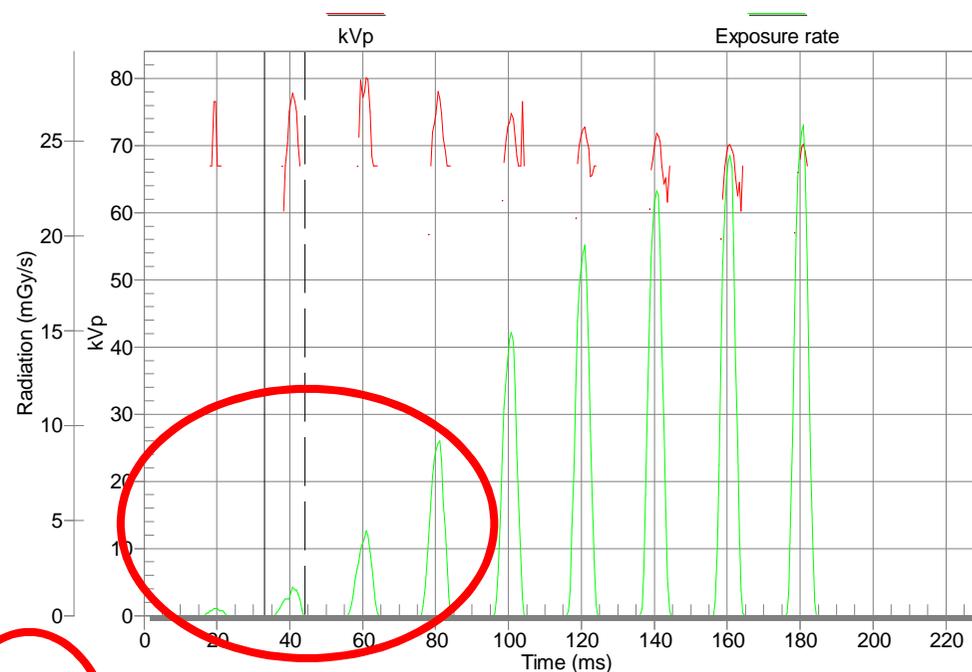
- ✓ Temps courts : rendement trop faible
- ✓ Temps x 5 → Dose x 25

Variation du rendement du tube en fonction du CTP

kV choisi : 70

mAs choisi	0,32	0,8	1,6	1,92
Dose (μGy)	30,7	256,8	785,9	1015,9
μGy/mAs	95,9	321,0	491,2	529,1
Déviati on (%)	-73,3	-10,7	36,7	47,3

Variati on (%) **120,6**
 vc (%) 55,0



Keeping the doses low by setting the standards high

Appareils de médecine dentaire (5)

- Mesures IO :
 - Temps d'exposition (exactitude, reproductibilité)
 - Faisceau (Collimateur rond < 6 cm ; collimateur rectangulaire: taille du faisceau $<$ plus grand film/détecteur disponible)
 - Distance minimale foyer – peau = 20 cm
 - Dosimétrie (Molaire maxillaire : $< 2,5$ mGy et Programme clinique maximal : < 4 mGy)

Appareils de médecine dentaire (6)

- Mesures OPG / Céphalo :
 - Faisceau (Largeur < 5 mm ; pas oblique ; entièrement dans la fente)
 - Dosimétrie (DWP: < 75 mGy.mm ; DAP: < 14 cGy.cm²)



Keeping the doses low by setting the standards high

Appareils de médecine dentaire (7)

Intra-oral	0,001 mSv
Panoramique (OPG)	0,005 – 0,030 mSv
Céphalométrie	0,002 – 0,005 mSv
Cone Beam CT	0,010 – 0,100 mSv
Dentale (full) CT	1-3 mSv



<i>RX Thorax face</i>	<i>0,09 mSv</i>
<i>RX Abdomen</i>	<i>1,9 mSv</i>
<i>RX Côlon</i>	<i>5 mSv</i>
<i>Mammographie</i>	<i>9 mSv</i>
<i>CT Thorax</i>	<i>10 mSv</i>

= « *faibles doses* »

MAIS:

- ✓ *Très nombreux examens dentaires par an*
- ✓ *Beaucoup de patients pédiatriques*
- ✓ *Organes radiosensibles dans le champ de vision (ICRP 103):*
 - *Glande thyroïde*
 - *Glandes salivaires*
 - *Cerveau*

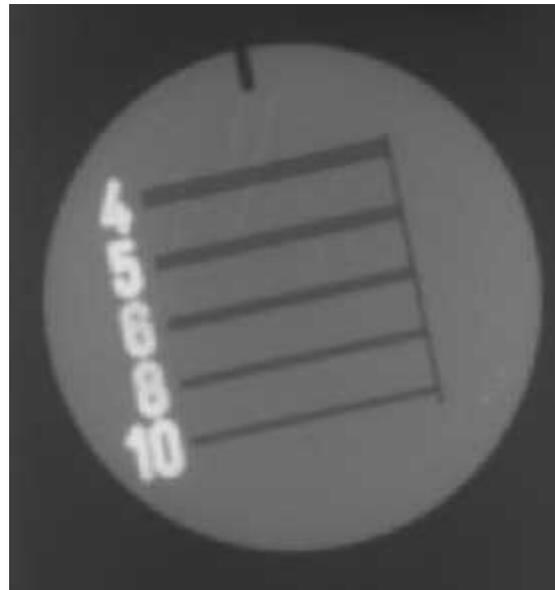
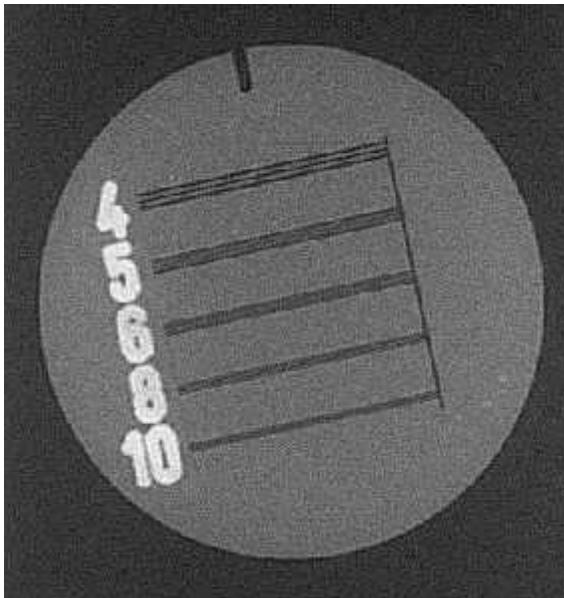
Optimisation de la dose

Source: AFCN - FANC

Keeping the doses low by setting the standards high

Appareils de médecine dentaire (8)

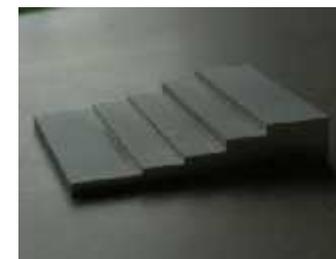
- Qualité d'image (IO) - Résolution:
 - Fins détails bien visibles sur les clichés
 - > 5 pl/mm



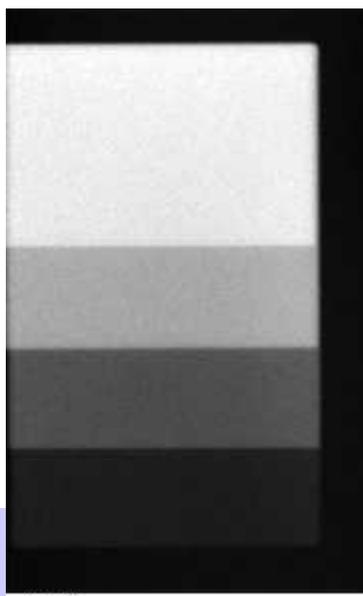
Keeping the doses low by setting the standards high

Appareils de médecine dentaire (9)

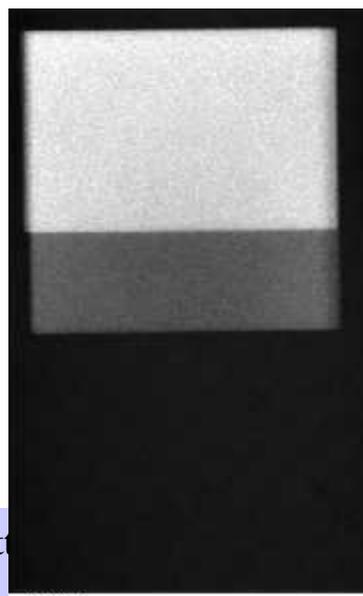
- Qualité d'image (IO) - Contraste :
 - Observer de faibles différences de densité
 - Tous les pas doivent être visibles



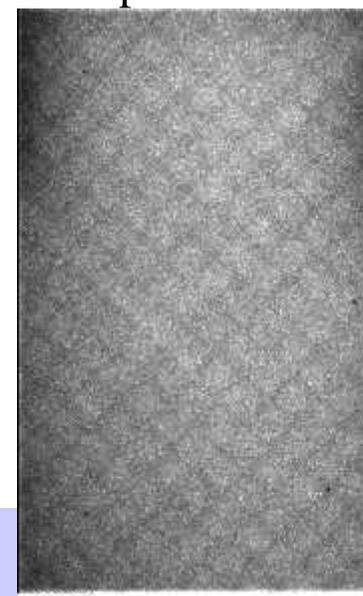
0.85 mGy



1.6 mGy



Saturation complète
du capteur



ow by set

Appareils de médecine dentaire (10)

- Qualité d'image (IO) - Homogénéité :
 - Pas de taches, de rayures, d'artéfacts

*Les plaques CR doivent être
remplacées régulièrement!*

Rayures sur le phosphore



Taches sur le détecteur DR



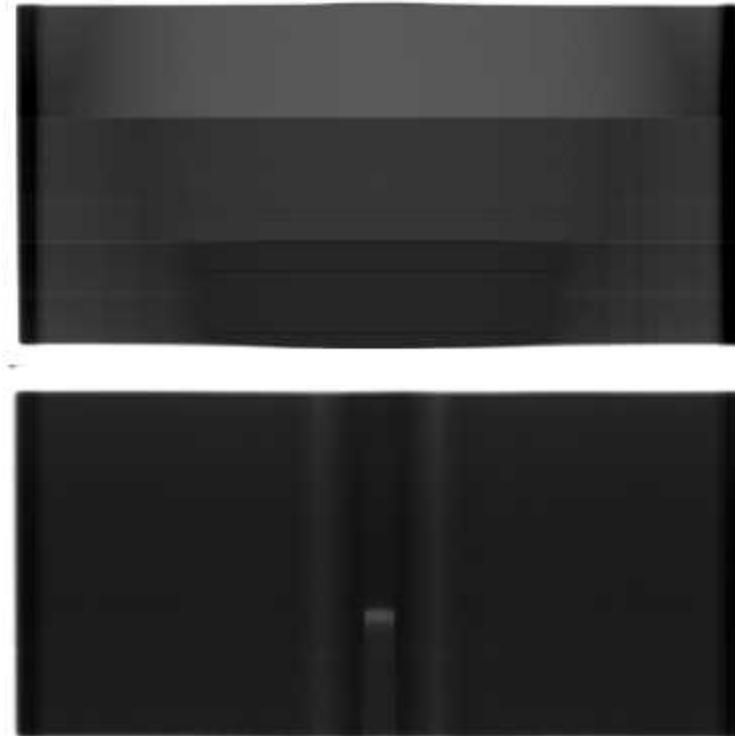
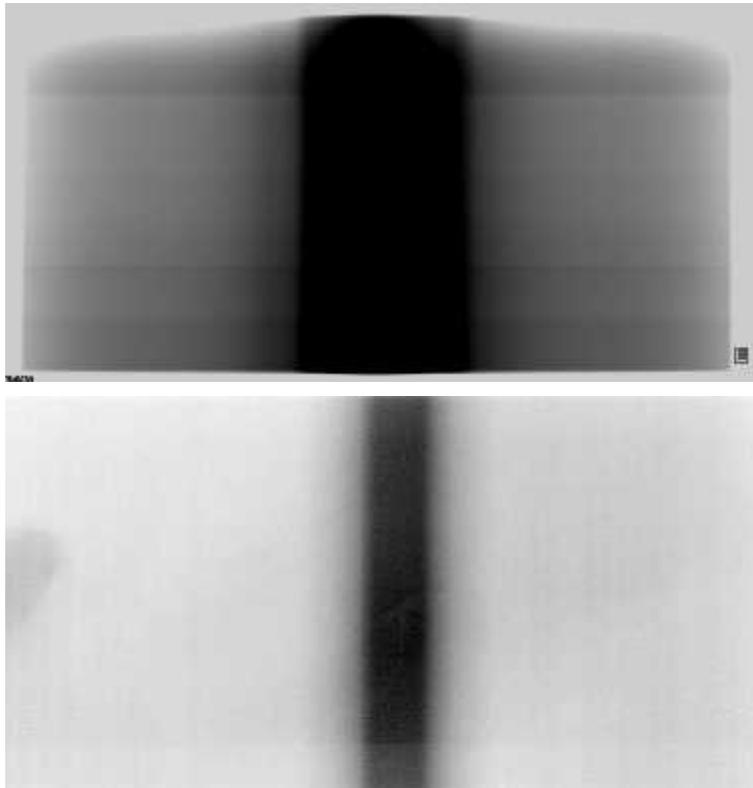
Film développé à la main



Keeping the doses low by setting the standards high

Appareils de médecine dentaire (11)

- Qualité d'image (OPG) - Homogénéité :
 - Pas de taches, de rayures, d'artéfacts



Keeping the doses low by setting the standards high

Techniques de réduction des doses

Keeping the doses low by setting the standards high

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en RX conventionnelle (1)

- Doses en radiologie conventionnelle :

Examination	Average Effective Dose (mSv)	Values Reported in Literature (mSv)
Skull	0.1	0.03–0.22
Cervical spine	0.2	0.07–0.3
Thoracic spine	1.0	0.6–1.4
Lumbar spine	1.5	0.5–1.8
Posteroanterior and lateral study of chest	0.1	0.05–0.24
Posteroanterior study of chest	0.02	0.007–0.050
Mammography	0.4	0.10–0.60
Abdomen	0.7	0.04–1.1
Pelvis	0.6	0.2–1.2
Hip	0.7	0.18–2.71
Shoulder	0.01	...
Knee	0.005	...
Other extremities	0.001	0.0002–0.1
Dual x-ray absorptiometry (without CT)	0.001	0.001–0.035
Dual x-ray absorptiometry (with CT)	0.04	0.003–0.06
Intravenous urography	3	0.7–3.7
Upper gastrointestinal series	6*	1.5–12
Small-bowel series	5	3.0–7.8
Barium enema	8*	2.0–18.0
Endoscopic retrograde cholangiopancreatography	4.0	...

Examination	Average Effective Dose (mSv)	Values Reported in Literature (mSv)
Intraoral radiography	0.005	0.0002–0.010
Panoramic radiography	0.01	0.007–0.090
Dental CT	0.2	...

Keeping the doses low by setting the standards high

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en RX conventionnelle (2)

- Radiographies simples :
 - Tension (kV) et charge (mA) : à adapter à la région explorée.
 - Attention : avec les détecteurs numériques, le cliché « trop noir » a disparu.
 - Grille antidiffusante : limité son utilisation surtout pour les enfants et les adolescents minces.
 - Collimation : physique à la prise du cliché et non lors du post-traitement.

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en RX conventionnelle (3)

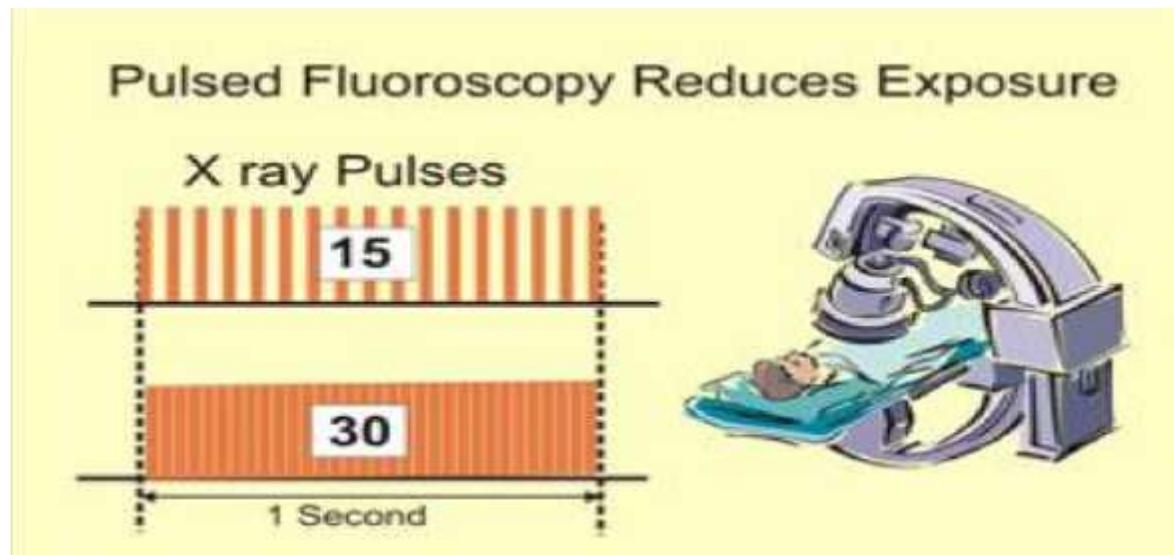
- Radiographies simples :
 - Augmenter la distance entre la source et le patient (cfr règle du carré de la distance).
 - Diaphragmer (influence sur le DAP)
- Utilisation d'une filtration supplémentaire

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en RX conventionnelle (4)

- Radiographies sur table télécommandée :
 - Mode graphie :
 - voir ci-avant +
 - Utilisation d’une filtration additionnelle.
 - Augmenter la tension du tube (en mode AEC).
 - Mode scopie :
 - limiter le temps de scopie.
 - Brèves impulsions sur la pédale et non en continu.

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en RX conventionnelle (5)

- Radiographies sur table télécommandée :
 - Mode scopie :
 - Utilisation de la scopie pulsée



Keeping the doses low by setting the standards high

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en RX conventionnelle (6)

- (Auto)compression (différence en ABD debout – couché)
- Mise en place de procédures claires

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en CT (1)

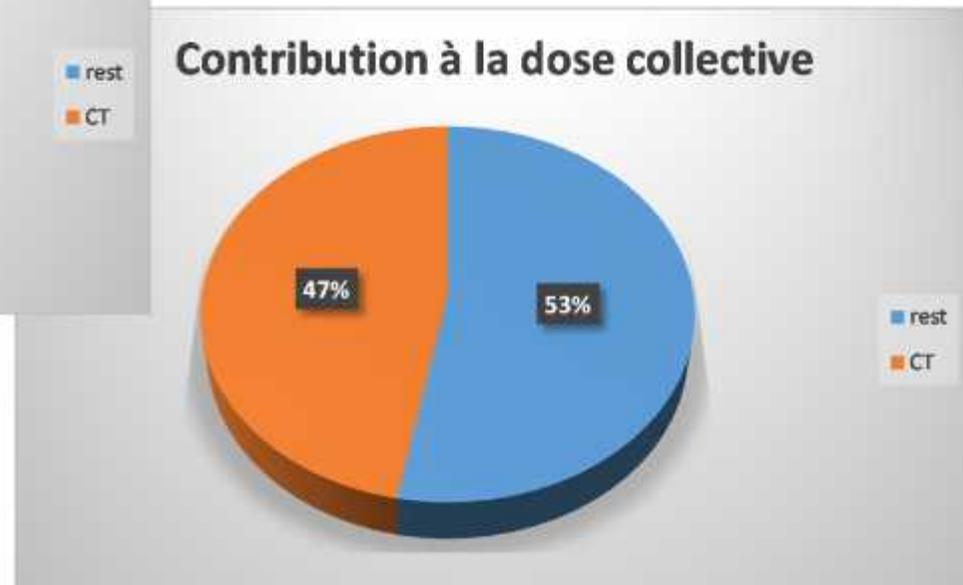
- Doses en tomographie assistée par ordinateur :

Examination	Average Effective Dose (mSv)	Values Reported in Literature (mSv)
Head	2	0.9–4.0
Neck	3	...
Chest	7	4.0–18.0
Chest for pulmonary embolism	15	13–40
Abdomen	8	3.5–25
Pelvis	6	3.3–10
Three-phase liver study	15	...
Spine	6	1.5–10
Coronary angiography	16	5.0–32
Calcium scoring	3	1.0–12
Virtual colonoscopy	10	4.0–13.2

Keeping the doses low by setting the standards high

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en CT (2)

- Doses en tomographie assistée par ordinateur :



Keeping the doses low by setting the standards high

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en CT (3)

- Paramètres non accessibles à l’opérateur :
 - Distance foyer – axe
 - Filtration
- Paramètres accessibles à l’opérateur :
 - Tension
 - Charge
 - Epaisseur de coupe
 - Pas (pitch)

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en CT (4)

- Tension :
 - La dose au patient augmente sensiblement comme le carré de la tension appliquée au tube. Selon le type d'appareil, le CTDI augmente de 20 à 40% quand la tension varie de 100 à 120 kV.
 - Trop peu modifiée par les opérateurs :
 - Abdomen à 140 kV – 300 mAs utilisé indifféremment pour patient de 90 kg ou patient de 45 kg (pourrait être justifié si couplé à une réduction des mAs par un coefficient de 2 à 4).

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en CT (5)

- Tension :
 - La diminution de la tension reste, dans la plupart des cas, compatible avec l’emploi des logiciels de réduction de dose (contrairement à la charge).
 - Une diminution de la tension de 20% diminue la dose de près de 50%.

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en CT (6)

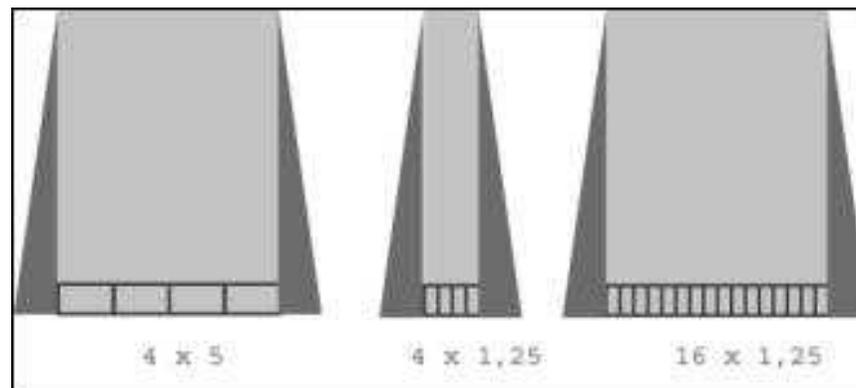
- Charge (mAs) :
 - Le CTDI et le DLP sont directement proportionnels à l'intensité (mA), au temps d'acquisition (s) pour une coupe, et donc à la charge (mAs) par rotation. Quand on passe de 200 à 300mAs, la dose délivrée au patient est multipliée par 1,5.
 - Attention : la réduction de dose est limitée par l'augmentation du bruit ($\sim 1/\sqrt{\quad}$).
Donc bruit augmente de 40% quand mAs/2.

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en CT (7)

- Epaisseur de coupe en CT monocoupe :
 - Diminution de l'épaisseur de coupe augmente la dose (en raison de l'augmentation relative de l'« overbeaming »).
- Epaisseur de coupe en CT multicoupes :
 - Epaisseur de reconstruction
 - Gouverne le bruit de l'image qui est inversement proportionnel à l'épaisseur de coupe de reconstruction.

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en CT (8)

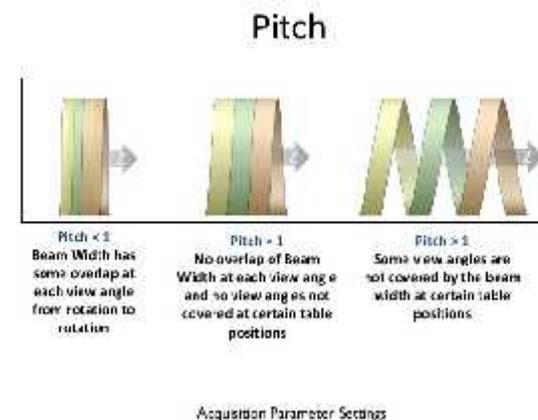
- Epaisseur de coupe en CT multicoupes :
 - Collimation :
 - Définit l'épaisseur nominale de coupe.
 - Influence de l'« overbeaming » sur l'efficacité de dose.



Keeping the doses low by setting the standards high

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en CT (9)

- Pitch (pas)
 - Pour des coupes jointives, ou un pas égal à 1, on peut admettre en première approximation que la dose moyenne délivrée au patient, est égale au CTDI. Cette dose diminue proportionnellement si on augmente le pitch.



Keeping the doses low by setting the standards high

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en CT (10)

- Dispositifs de réduction de dose :
 - Matériels (Filtre papillon,...).
 - Options logicielles (modulation automatique de courant, reconstructions itératives,...).
- Adapter sa pratique :
 - Utilisation de protocoles pédiatriques.
 - Limiter le nombre d’acquisitions.
 - Toujours penser « ALARA (As Low As Reasonably Achievable) ».

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en RX interventionnelle (1)

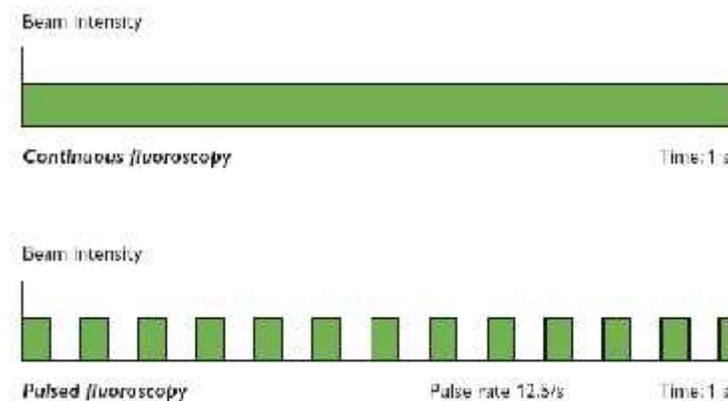
- Doses en radiologie interventionnelle :

Examination	Average Effective Dose (mSv)*	Values Reported in Literature (mSv)
Head and/or neck angiography	5	0.8–19.6
Coronary angiography (diagnostic)	7	2.0–15.8
Coronary percutaneous transluminal angioplasty, stent placement, or radiofrequency ablation	15	6.9–57
Thoracic angiography of pulmonary artery or aorta	5	4.1–9.0
Abdominal angiography or aortography	12	4.0–48.0
Transjugular intrahepatic portosystemic shunt placement	70	20–180
Pelvic vein embolization	60	44–78

Keeping the doses low by setting the standards high

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en RX interventionnelle (2)

- Radiologie interventionnelle :
 - Utilisation de la scopie pulsée

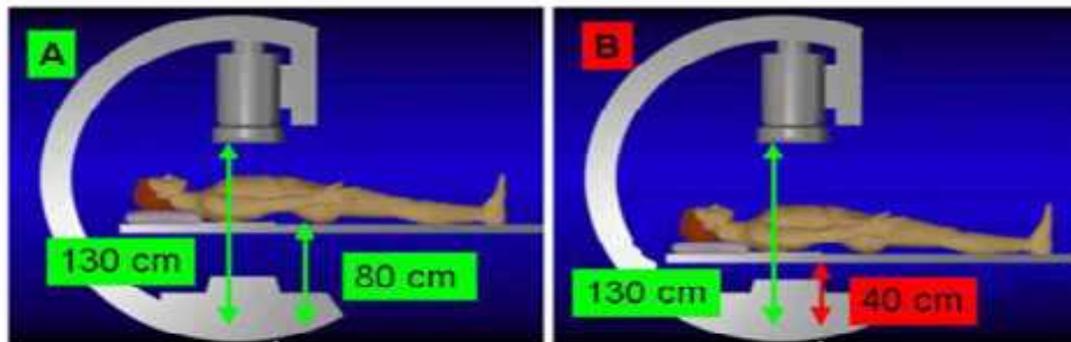


- Filtration additionnelle (Cu, Al)

Keeping the doses low by setting the standards high

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en RX interventionnelle (3)

- Radiologie interventionnelle :
 - Tube le plus loin possible du patient



Dans les deux cas, la distance entre le foyer et l'amplificateur de brillance est la même, toutefois la dose à la peau est 4 fois plus élevée dans la configuration B

$$\frac{(80)^2}{(40)^2} = 4 \times$$

La raison : La loi de l'inverse du carré de la distance

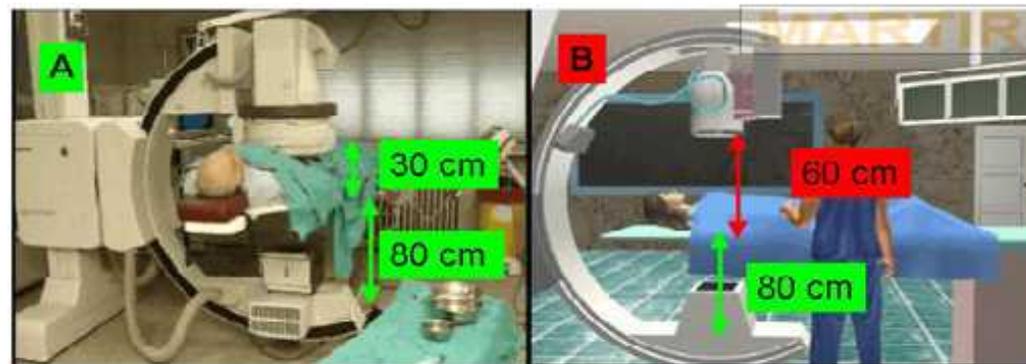
Pour le même débit de dose au niveau de l'amplificateur, la dose à la peau est 4 fois plus forte.



Keeping the doses low by setting the standards high

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en RX interventionnelle (4)

- Radiologie interventionnelle :
 - Amplificateur de brillance au dessus de la table (protection de l’opérateur)



In both situations the skin-to-focus distance is the same, however, skin doses are 1.62 higher in geometry **B**

$$\frac{(80 + 60)^2}{(80 + 30)^2} = 1.62 \text{ higher}$$

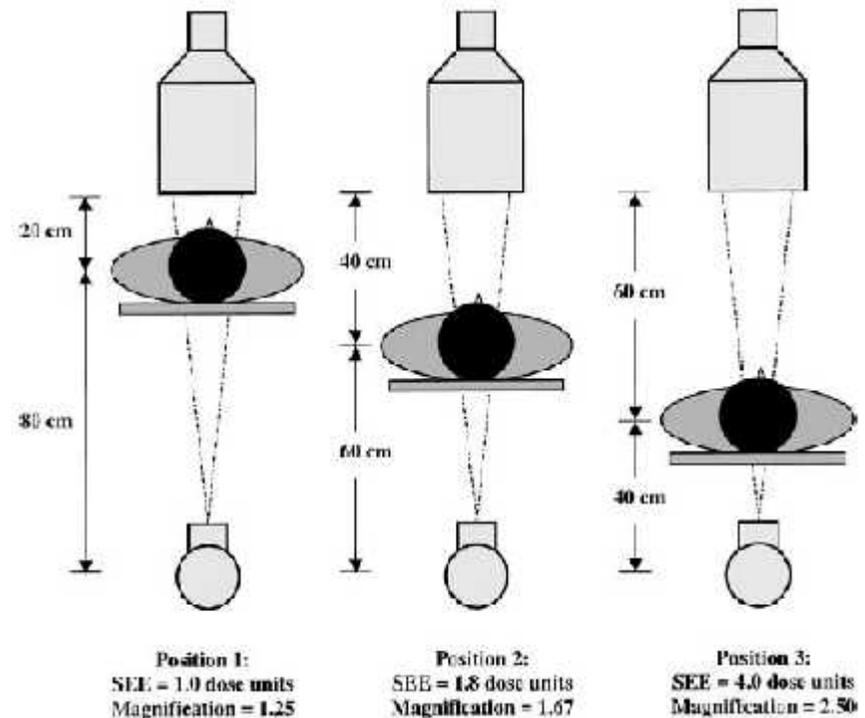
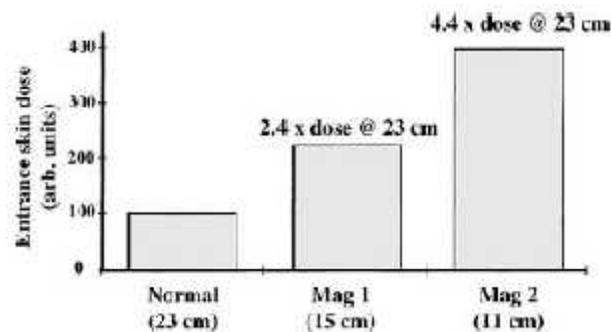
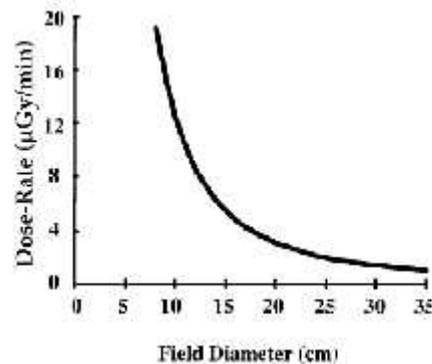
The reason: INVERSE-SQUARE LAW

The Automatic Dose Rate Control compensates that the x-ray beam intensity reaching the Image Intensifier is 1.62 times lower.

Keeping the doses low by setting the standards high

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en RX interventionnelle (5)

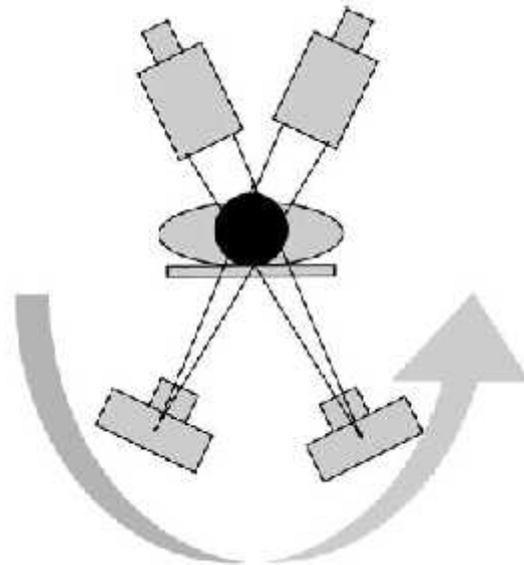
- Radiologie interventionnelle :
 - Agrandissements :



Keeping the doses low by setting the standards high

“Tips and Tricks” pour diminuer la dose en RX interventionnelle (6)

- Radiologie interventionnelle :
 - « Etaler » la dose + inverser le tube si longue procédure.

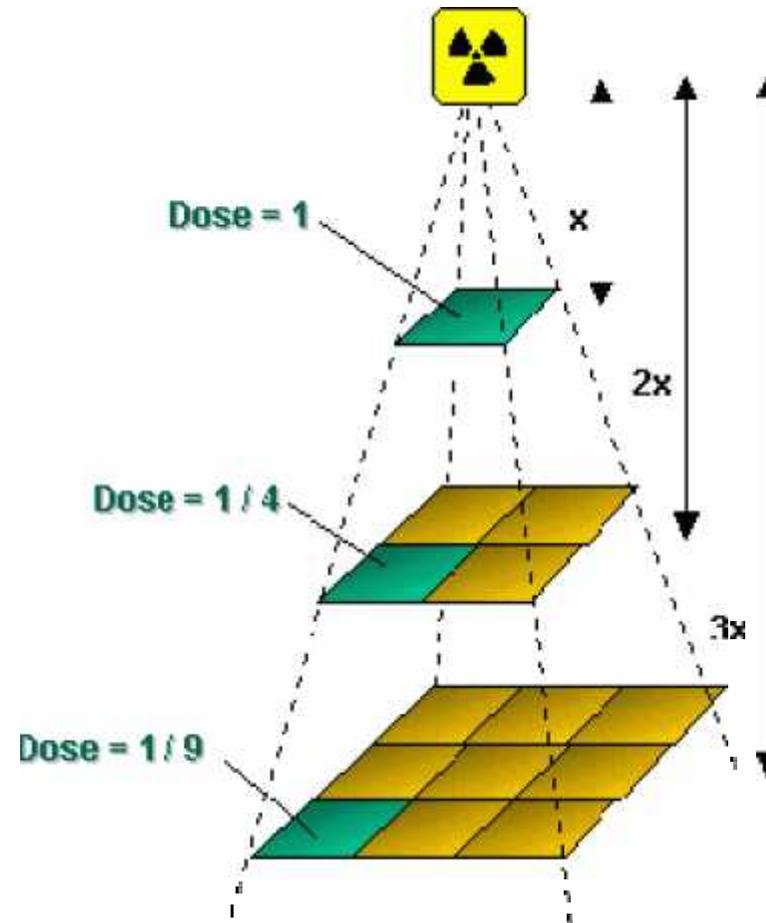


La dosimétrie des patients selon l'arrêté de l'AFCN

Keeping the doses low by setting the standards high

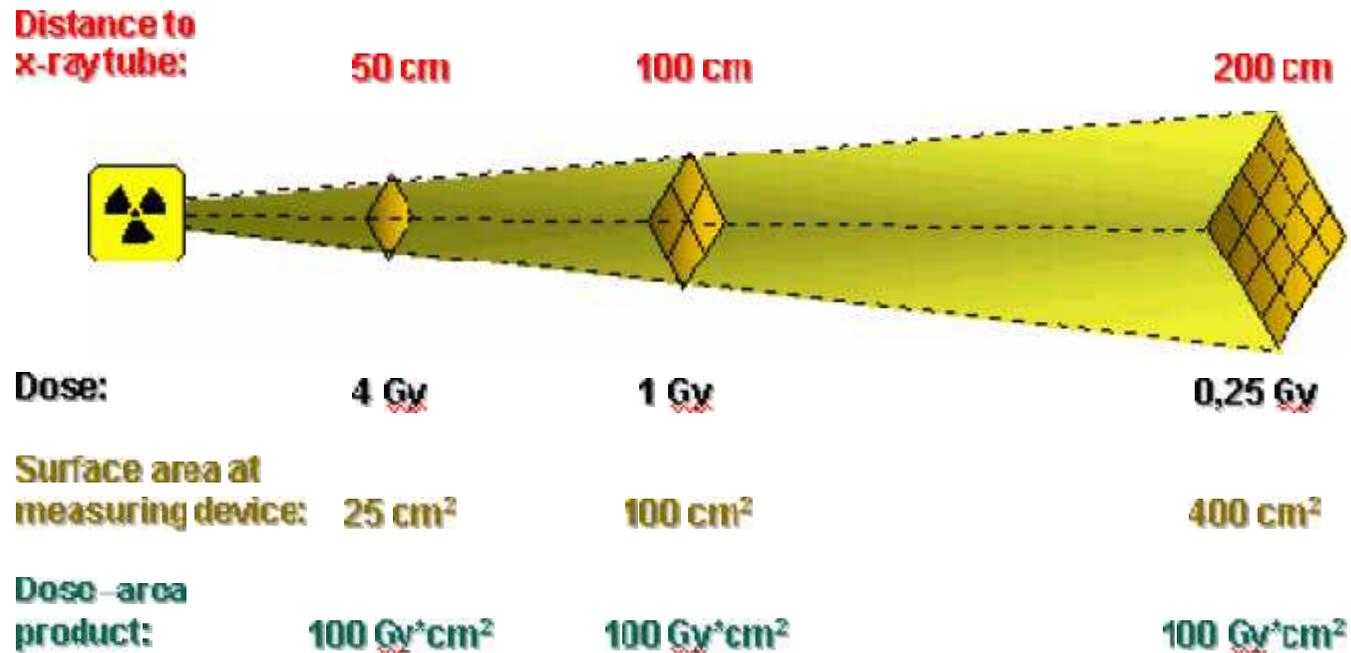
DAP - Fonctionnement (1)

- la dose (à collimation égale) diminue selon le carré de la distance à la source
- la surface irradiée augmente comme le carré de la distance à la source



Keeping the doses low by setting the standards high

DAP - Fonctionnement (2)



- le produit dose-surface est donc indépendant de la distance à la source

Keeping the doses low by setting the standards high

Le cadre légal (1)

- 2005 – Utilisation des RX à des fins médicales (Vademecum - AFCN)
- 14 septembre 2006. - Directives de l'AFCN - Dosimétrie des patients
- 28 SEPTEMBRE 2011. - Arrêté de l'Agence fédérale de contrôle nucléaire concernant la dosimétrie des patients

Le cadre légal (2)

- Art. 51.6.2. Tous les équipements de radiodiagnostic pour personnes, à l'exception des appareils de radiographie dentaire intra-orale doivent être équipés, lorsque ces dispositifs sont disponibles sur le marché, d'un système permettant l'évaluation de la dose intégrée au patient au cours de la procédure radiologique.

Attention – Ne pas confondre...

- Evaluation de la dose individuelle (article 1)
- Etudes de dose périodiques (article 2)

Evaluation de la dose individuelle

- Pour chaque examen individuel, la dose doit pouvoir être évaluée de manière rétrospective.
- Radiologie simple : DAP, De
- Radiologie interventionnelle : DAP
- CT : CTDIvol, DLP
- Mammographie : AGD

Exigences pour l'enregistrement - Radiologie simple

- Enregistrement obligatoire pour :
 - Examen pédiatrique simple (tête/cou/thorax/abdomen/pelvis)
 - Examen incluant la région pelvienne chez la femme en âge de procréer

Exigences pour l'enregistrement - Radiologie interventionnelle

- Enregistrement obligatoire pour :
 - Chaque examen
 - Les paramètres de la dose doivent rester accessibles (p.ex. sous forme d'overlay dans l'image DICOM, structured report, ...).

Exigences pour l'enregistrement - CT

- Enregistrement obligatoire pour :
 - Chaque examen (enfants et adultes)
 - Les paramètres de la dose doivent rester accessibles (p.ex. sous forme d'overlay dans l'image DICOM, structured report, ...).

Etudes de dose - Méthodes

- AFCN privilégie DAP
- « De » utilisable pour examen simple sauf si installation RX doit être équipée d'un DAP mètre
- CT : CTDIvol, DLP et nombre de scans
- Mammographie : si AGD pas affichée, noter les paramètres d'expo nécessaires

Etudes de dose – Examens (1)

- Si fréquence > 5 x mois sur une installation donnée.
- Examens radiologiques simples : 50 patients successifs ou sur 3 mois tous les 3 ans
- Radiologie interventionnelle : 20 patients successifs ou sur 3 mois tous les 3 ans.

Etudes de dose – Examens (2)

- CT : 20 patients successifs ou sur 3 mois tous les ans
- Mammographie : 50 patients successifs ou sur 3 mois tous les 3 ans.

Etudes de dose – Pédiatrie

- RX conventionnel
 - Thorax
 - Abdomen
- CT (préciser le nbre d'acquisitions)
 - Crâne
 - Sinus
 - Thorax
 - Abdomen
 - Thorax-Abdomen

Etudes de dose – Adultes (1)

- RX conventionnel
 - Thorax PA
 - Thorax complet (clichés + scopie éventuelle)
 - Colonne lombaire (tous les clichés, préciser le nombre d'incidences)
 - Bassin (préciser le nombre d'incidences)
 - Abdomen (préciser le nombre d'incidences)
 - Mammographie (préciser film, CR ou DR)

Etudes de dose – Adultes (2)

- CT (1)
 - Crâne (cerveau)
 - Sinus
 - Colonne cervicale
 - Colonne lombaire
 - Angio Ct thorax (ThCTA)
 - Thorax
 - Cardiaque (CCTA)
 - Thorax-Abdomen

Etudes de dose – Adultes (3)

- CT (2)
 - Abdomen
 - Préciser si possible:
 - Bilan oncologique
 - Urgence trauma
 - Urgence non trauma
 - Autre
 - Colon (colonoscopie virtuelle 3D)

Etudes de dose – Adultes (4)

- RX Interventionnelle (1)
 - Dilatation/stenting des artères (préciser iliaque/rénale/fémorale/carotidienne)
 - Endoprothèse de l'aorte (en cas d'anévrisme)
 - Embolisation cérébrale
 - Cholangiographie interventionnelle ERCP (endoscopic retrograde choledocopancreatography)

Etudes de dose – Adultes (4)

- RX Interventionnelle (2)
 - PTCA (percutaneous transluminal coronary angioplasty)
 - Procédures radiologiques intracardiaques
 - Examens électrophysiologiques/procédure avec ou sans ablation

Formulaires d'enregistrement (1)

- Fichiers Excel téléchargeables sur le site de l'AFCN.
 - RX Simple [Adultes](#) - [Pédiatrie](#)
 - RX [Interventionnel](#)
 - CT [Adultes](#) - [Pédiatrie](#)
 - RX [Mammographie](#)
- Ils sont à transmettre au radiophysicien

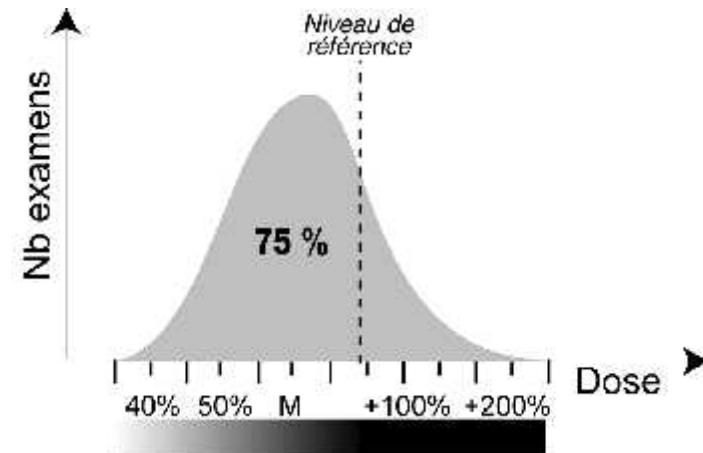
Formulaires d'enregistrement (2)

- Ils sont à transmettre à l'AFCN dans le mois suivant l'enregistrement du dernier patient à patientdose@fanc.fgov.be ou sous forme de CD/DVD.
- Ils sont à garder 30 ans ainsi que les rapports des radiophysiciens et doivent pouvoir être présentés lors de toute inspection de l'AFCN.

DRL (1)

- DRL (Diagnostic Reference Level) ou NRD (Niveau de Référence Diagnostique)
 - DRL est défini comme étant le percentile 75.

Le percentile 75 représente le niveau de référence diagnostique tel que défini par la Commission Européenne (RP 109) et le percentile 25 est l'indicateur de bonne pratique



Keeping the doses low by setting the standards high

DRL (2)

- Sur base des études de dose, l'AFCN établit des DRL nationaux.

Type d'examen	Nombre de salles	DLP (mGy.cm)		NRD en DLP (mGy.cm)	
		25e percentile	75e percentile	25e perc	75e perc
Abdomen	62	416	829	415	830
Crâne	64	742	1017	740	1020
Colonne lombaire	35	478	864	475	870
Sinus	30	69	152	70	150
Thorax	63	242	408	240	400

← 1^{ère} itération

4^{ème} itération

Examen	ADULTES					
	CTDI _{vol} (mGy)			DLP (mGy.cm)		
	Examen simple		Examen simple	Examen complet		Examen complet
	P25	NRD (P75)	P25	NRD (P75)	P25	NRD (P75)
Abdomen	7	11	280	600	130	780
Angio CT du thorax	6,5	20	160	420	190	460
Cardiaque (CCTA)	9	47	175	670	190	800
Colon	4	9	180	410	300	600
Colonne cervicale	15	32	230	530	240	570
Colonne lumbaire	17,5	37	340	680	340	680
Crâne (cerveau)	38	58	570	980	650	1020
Sinus	3	8	40	110	40	110
Thorax	5	10	160	340	160	340
Thorax-abdomen	6,5	13	280	640	525	1050

La valeur des DRL évoluera au fil des itérations.

Keeping the doses low by setting the standards high

DRL (3)

- DRL pour les examens CT chez les adultes.

ADULTES Examen	CTDI _{vol} (mGy)		DLP (mGy.cm)			
	Examen simple		Examen simple		Examen complet	
	P25	NRD (P75)	P25	NRD (P75)	P25	NRD (P75)
Abdomen	7,5	12	350	600	420	700
Angio CT du thorax	6	15	180	410	220	460
Cardiaque (CCTA)	14	35	200	490	250	530
Colon	-	-	-	-	230	530
Colonne cervicale	16	30	280	490	-	-
Colonne lombaire	20	30	400	650	-	-
Crâne (cerveau)	39	55	660	950	-	-
Sinus	3	7	40	90	-	-
Thorax	5,5	9	200	320	-	-
Thorax-abdomen	-	-	-	-	550	960

Keeping the doses low by setting the standards high

DRL (4)

- DRL pour les examens CT chez les enfants.

ENFANTS		CTDI _{vol} (mGy)				DLP (mGy.cm)			
		Examen simple - NRD (P75)				Examen complet - NRD (P75)			
Examen	Age (a)	<1	1 - <5	5 - <10	10 - <15	<1	1 - <5	5 - <10	10 - <15
	Abdomen		-	-	5	7,5	-	110	220
Crâne (cerveau)		22	30	40	45	420	540	660	780
Sinus		-	-	4	6	-	50	65	80
Thorax		-	1,5	2	3,5	-	35	55	130
Thorax-abdomen		-	-	-	-	-	-	-	-

Keeping the doses low by setting the standards high

DRL (5)

- DRL pour les examens en radiologie conventionnelle chez les adultes.

ADULTES	DAP (cGy.cm ²)			
	Examen simple		Examen multiple	
Examen	P25	NRD (P75)	P25	NRD (P75)
Abdomen	85	275	175	400
Bassin	110	350	-	-
Colonne lombaire	-	-	530	1800
Thorax PA	10	30	-	-
Thorax complet	-	-	35	110

	AGD (mGy) par cliché - NRD
Mammographie	2,0

Keeping the doses low by setting the standards high

DRL (6)

- DRL pour les examens en radiologie conventionnelle chez les enfants.

ENFANTS		DAP (cGy.cm ²)			
		NRD (P75)			
Age (années)	Examen	<1	1 - <5	5 - <10	10 - <15
	Abdomen	3	10	25	45
	Thorax simple	2	3,5	5	12
	Thorax multiple	6	10,5	15	36

Keeping the doses low by setting the standards high

Des questions ?



Keeping the doses low by setting the standards high