

Seminar of the Federal Commission on  
Radiation Protection

*A glance at current dosimetry topics*

# Radiation Quantities in Medical Imaging

Jérôme DAMET, PhD

# Radiation Quantities in Medical Imaging

## Outlook

- Dosimetry requirements and objectives
- Dosimetry quantities
- Dosimetry in diagnostic radiology
- Dosimetry in diagnostic nuclear medicine
- Future needs or Nice-to-have
- Conclusions

## Dosimetry needs, objectives and requirements

Medical exposure is by far the largest contributor to the population's exposure worldwide (man-made) with strong regional/continental variations  
It is a deliberate, thoughtful, justified exposure – on which there is room for improvement.

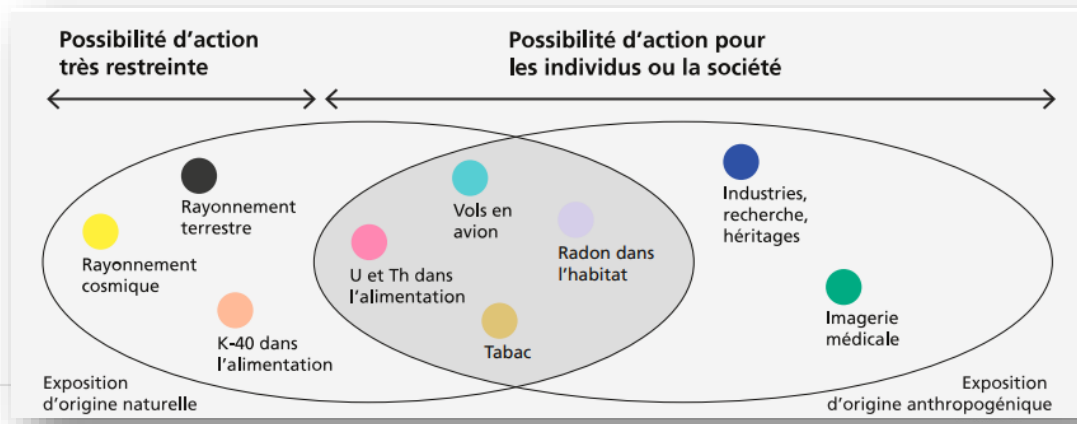
The benefit of medical x-ray imaging is indeed undeniable  
both for clinical diagnostic purposes & guiding interventional procedures

→ Dosimetry is the way to evaluate/quantify the exposure to ionising radiations  
and a useful & powerful (although not perfect) tool to optimise the exposure for the best clinical objectives

Although we observe a clear improvement over the past decade in terms of dose for given examinations, dosimetry survey remains a major concern.  
Use of ionising radiation in medicine is still growing

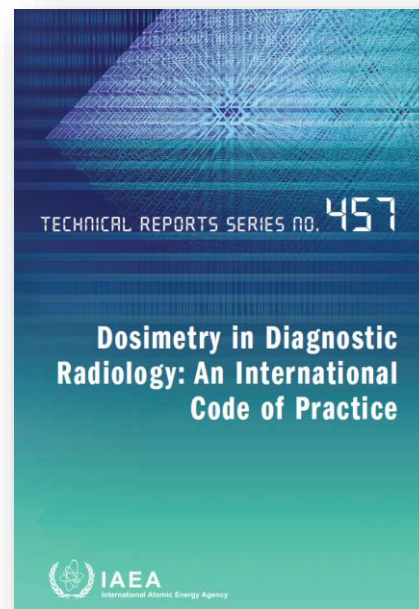
New technologies are continuously emerging to improve task-based image quality (often) with limited exposure

**However**, we observe that the number of examinations keeps growing  
that the complexity of procedures often lead to higher exposure  
that there is a growing use in developing countries



### 1.3. QUALITY ASSURANCE AND DOSE MANAGEMENT

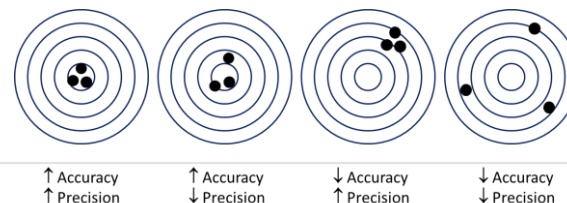
Radiologists constantly face the dilemma of trying to minimize patient exposure whenever possible, while still using exposures that are high enough to produce images of good enough quality as to be able to provide a proper diagnosis. Quality assurance provides a framework for achieving this goal. The basic strategy for quality assurance in diagnostic radiology was formulated by the WHO [1.3] and involves various activities, including managerial and technical activities. The International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources (BSS) [1.4] provide requirements to establish a quality assurance programme for medical exposures. These principles are further developed in Safety Guide No. RS-G-1.5 [1.5]. It is necessary that a quality assurance programme in diagnostic and interventional radiology include image quality assessment, film reject analysis, patient dose evaluation, measurements of physical parameters of the radiation generators, etc. Various quality control tests are needed to ensure that the radiology machines are working properly.



#### The goals of the quality assurance are:

- the establishment of the exposure level / dose value
- comparison with the baseline value established for the same unit or with the value of the parameter established for another unit.

The expected/required accuracy & uncertainty of the dose measurements is not the same for those two objectives.



# Dosimetry needs, objectives and requirements

## Dose value:

Reported exposure level (*i.e.* reported dose values) in x-ray imaging are low and the uncertainty in the associated risk is high  
An accuracy of ~20% can be accepted for risk assessment.

**However**, special concern for interventional procedures where skin exposure may lead to tissue effects.  
An accuracy of ~7% is typically accepted for risk assessment

## Comparison

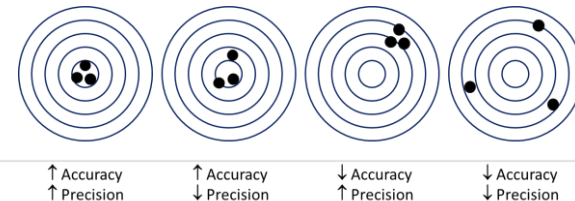
An accuracy of ~7% is appropriate

## Special cases:

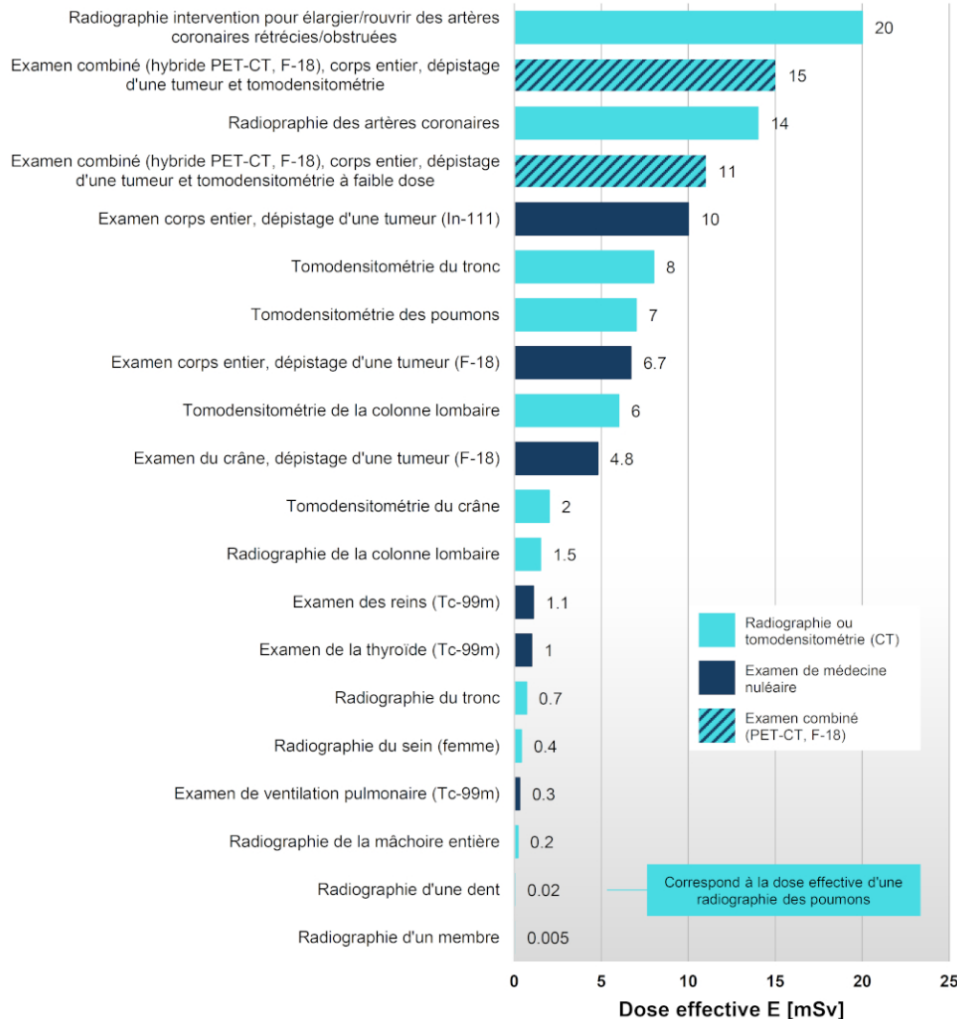
special care is given in case of exposure of the foetus / young children  
An accuracy of ~7% is appropriate



Journal of the ICRU Vol 5 No 2 (2005) Report 74  
doi:10.1093/jicru/ndi018







The exposure level to ionising radiation in x-ray imaging is low

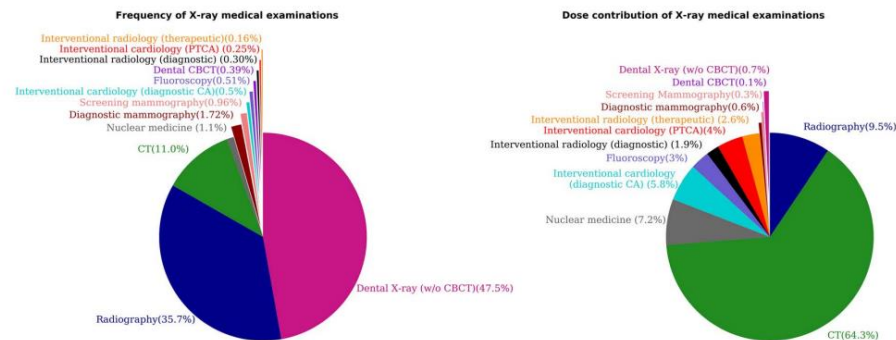


Figure 1: Distribution in percentage of the frequency and dose contribution of X-ray medical examinations.

Total X-ray medical imaging, effective dose of 1.4 mSv  
Radiation Protection Dosimetry (2021), pp. 1–7 doi:10.1093/rpd/ncab012



# Imaging guided procedures

## Deterministic effects

### Fluoroscopically Guided Interventional Procedures: A Review of Radiation Effects on Patients' Skin and Hair<sup>1</sup>

Radiology



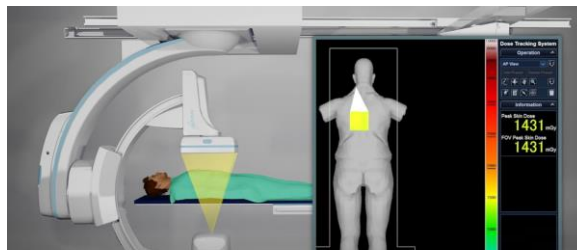
BALTER, S., HOPEWELL, J.W., MILLER, D.L., WAGNER, L.K., ZELEFSKY, M.J., Fluoroscopically guided interventional procedures: A review of radiation effects on patients' skin and hair, *Radiology*, 254 2 (2010) 327-341.



Source: <https://www.houstonmethodist.org/imaging-radiology/interventional-radiology/>

**Interventional radiology** is a medical specialty which provides minimally invasive image-guided diagnosis and treatment of disease

Skin dose monitoring is an important challenge & major current concern



Dose Tracking System (DTS) - Visualize Your Way to Safer Imaging  
<https://www.youtube.com/watch?v=LI52qyTOQq0>



#### Recommended article

Physica Medica 82 (2021) 279-284

Contents lists available at ScienceDirect

Physica Medica

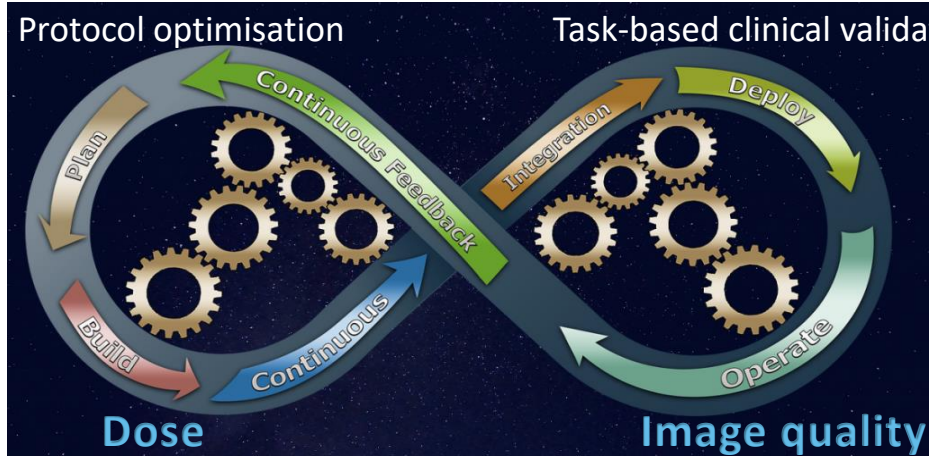
journal homepage: [www.elsevier.com/locate/physmed](http://www.elsevier.com/locate/physmed)

Original paper

Accuracy of skin dose mapping in interventional cardiology: Comparison of 10 software products following a common protocol

Jérémie Dahin<sup>a,\*</sup>, Valentin Bildeanu<sup>b</sup>, Olivera Cioj Brijlac<sup>c</sup>, Marine Deleu<sup>d,e</sup>, Francesca De Monte<sup>f</sup>, Joëlle Ann Feghali<sup>g</sup>, Aoife Gallagher<sup>h</sup>, Zeljka Knezevic<sup>i</sup>, Carlo Maccia<sup>j</sup>, Françoise Malchaire<sup>k</sup>, Marta Sans Merce<sup>l,m</sup>, George Simantirakis<sup>n</sup>

## Dosimetry needs, objectives and requirements



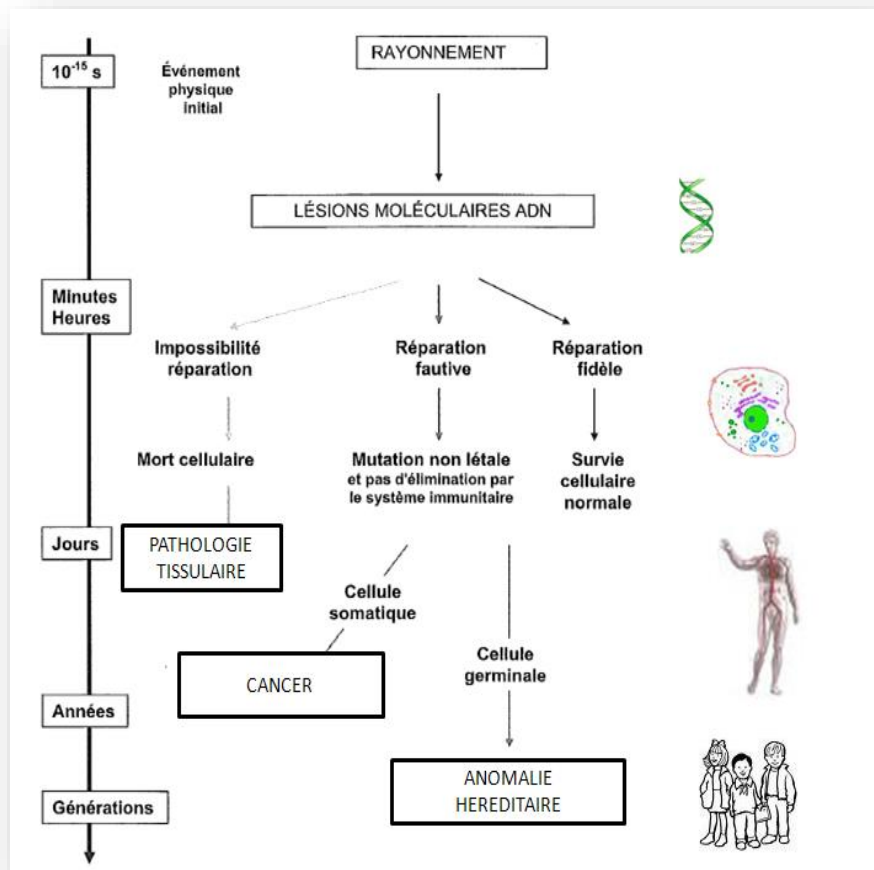
The evaluation of the exposure to ionising radiation is a powerful tool to optimise the image acquisition protocols for the best clinical objectives for a given technology

Optimisation of the acquisition protocols / image reconstruction parameters does not systematically means reduction of the radiation exposure.



Beyond this talk although crucial in the optimisation process : Role of emerging IA (which started with iterative reconstruction algorithms) in radiology.  
A grand challenge for everyone!





Dosimetry in medical imaging is in a way similar to the interest one has in the effects of the ionising radiation. All depends on what you're interested in and the metrics (or quantities) one will use must be adapted.

#### Effects can be investigated on:

- Molecular level
- Cell level
- Tissue / organ level
- Human body level
- Population level
- Epidemiology

#### Dosimetry can be seen or investigated on different levels:

- Population's exposure due to medical applications
- Evaluation of the exposure due to a new imaging modality
- Comparison of modalities/protocols
- Individual exposure / individual risk assessment
- Specific organ / tissue exposure

**Radiation Quantities in Medical Imaging must be adapted to the objective**

## Dosimetry needs, objectives and requirements

Behind the notion of accuracy for the dose measurements (and beyond the scope of this talk), lies the question of calibration and understanding of the measurements themselves when done by the final/local users.

- Traceability of the measurements
- Knowledge and understanding of the standard reference conditions of the calibration procedures
- Beam qualities for which instruments are calibrated (and thus associated correction factors)
  - ex. organ dose in radiology is often measured by TLD pellets in phantoms
    - Most measurements do require correction (energy, material , ...) depending on calibration conditions.
    - “No correction” may be acceptable for relative comparison but is scientifically wrong.

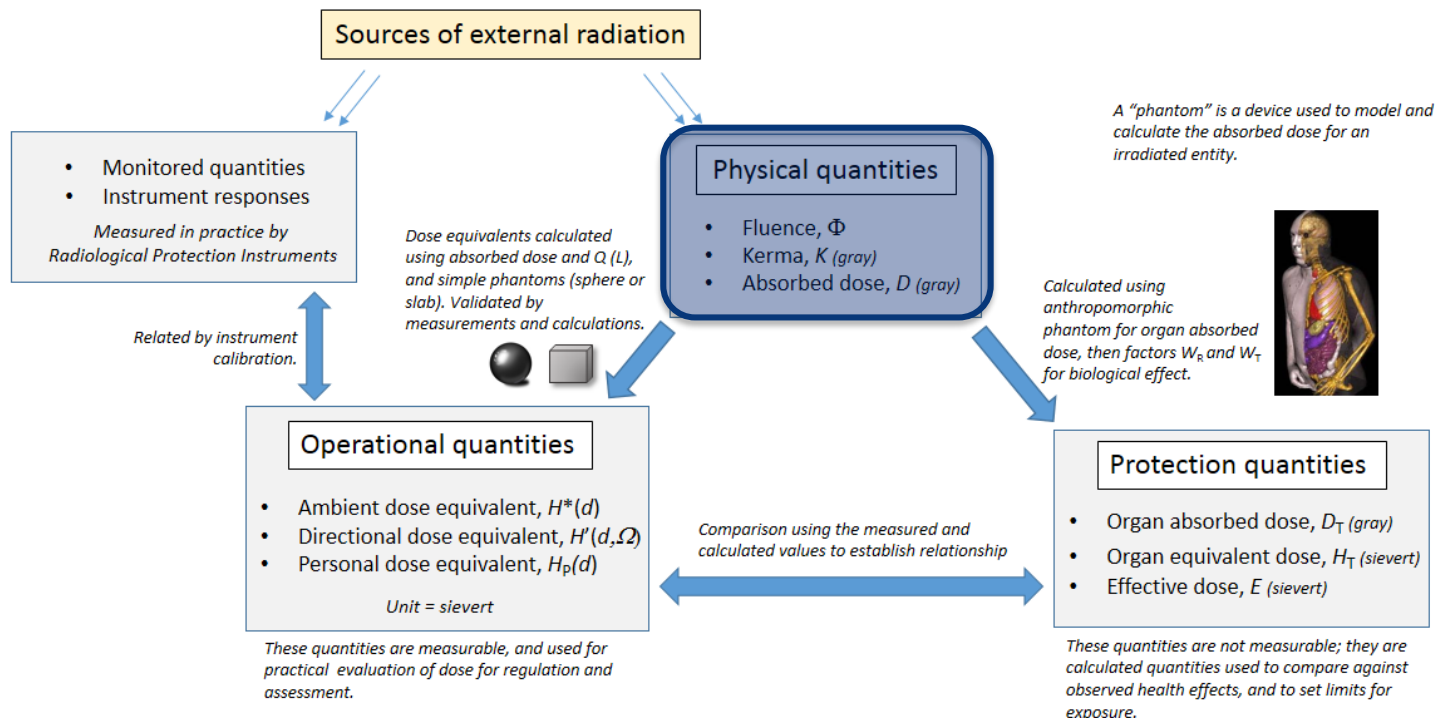


→ the interpretation of the measured values is not always sharp and often poorly documented in most peer-reviewed articles

# Dosimetry quantities

Basic quantities are fundamental quantities defined in ICRU 60

## Dose quantities in SI units for external radiological protection



# Dosimetry quantities

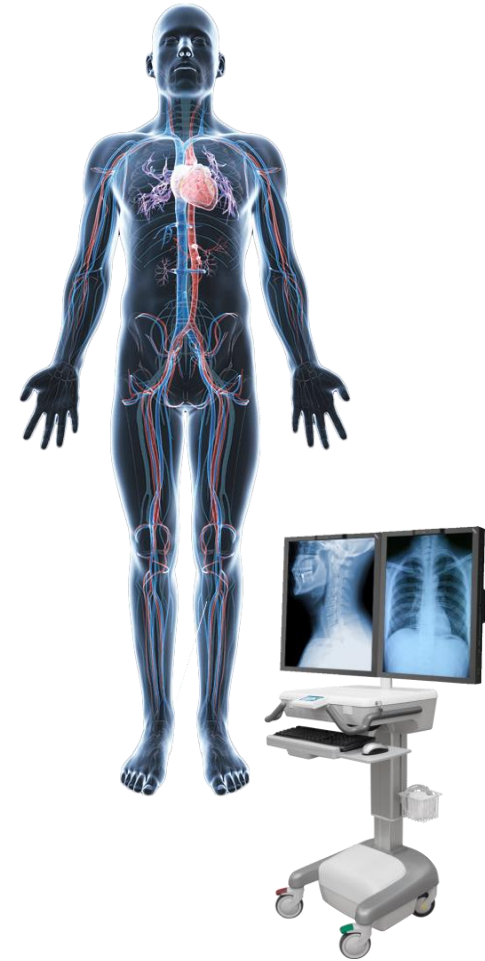
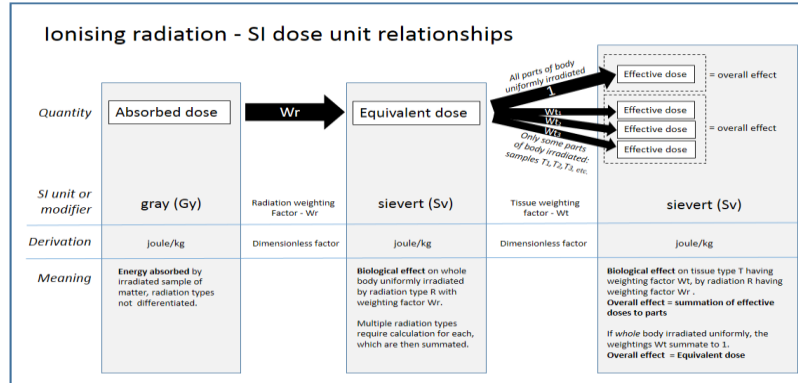
Basic physical quantity for the quality assurance is air kerma (free-in-air)  
Relevant quantity is absorbed dose

- Radiology
- Interventional procedures/scopy
- CBCT
- CT
- Mammography

air Kerma, Dose-Area-Product (DAP) and skin dose  
DAP  
DAP  
CTDI (Specific Size Dose Estimate) & DLP

mean glandular dose (calculated based on air kerma)

Based on those quantity, we calculate the effective dose and/or skin dose





Quantities suitable for setting DRLs

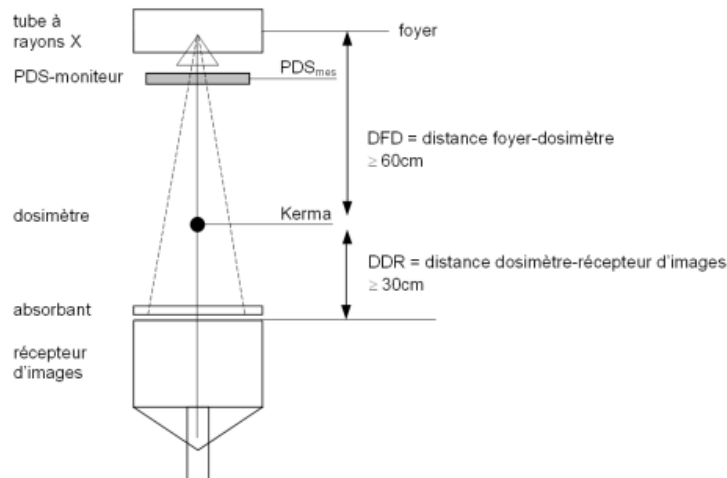
Quantity	Recommended symbols	Recommended unit	Closely similar quantity
Entrance surface air kerma	$K_{a,e}$	mGy	Entrance-surface dose (ESD)
Incident air kerma	$K_{a,i}$	mGy	
Incident air kerma at the patient entrance reference point	$K_{a,r}$	Gy	
Air kerma-area product	$P_{KA}$	mGy.cm <sup>2</sup> (radiography and dental) Gy.cm <sup>2</sup> (fluoroscopy)	Dose-area product (DAP)*
Volume computed tomography dose index	CTDI <sub>vol</sub>	mGy	Volume CT air kerma index (C <sub>vol</sub> )
Dose-length product	DLP	mGy.cm	Air kerma-length product (P <sub>KL</sub> )
Mean glandular dose	D <sub>G</sub>	mGy	

<https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/nuclear-medicine/diagnostic-nuclear-medicine/diagnostic-reference-levels-in-medical-imaging>

## Notice OFSP: R-10-01 Contrôle de l'indicateur du produit dose-surface

### 3.1 Mesure de la dose (Kerma)

La dose de rayonnement (Kerma) doit être évaluée de la manière suivante par à l'aide d'un dosimètre étalonné:

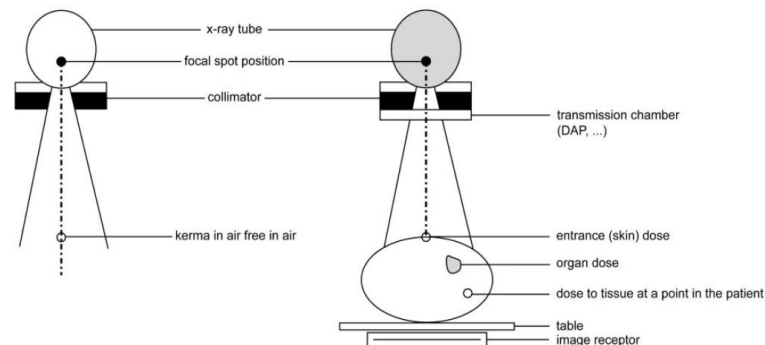


Les conditions de réglage sont les suivantes:

- Tension: 80 kV
- Absorbant: environ 1mm de cuivre pour la protection du récepteur d'image
- Durée d'exposition: 1 minute
- Surface de champ S: ~15 x 15 cm<sup>2</sup> au niveau du récepteur d'image (à mesurer à l'aide d'une règle à graduation métallique, à l'aide d'une plaque de test avec graduation ou à l'aide d'un film)
- Distances: Les données mentionnées dans la figure sont des valeurs approximatives

Standards  
Laboratory

Radiology  
Department



### 3.2 Détermination de la valeur de référence du produit dose-surface

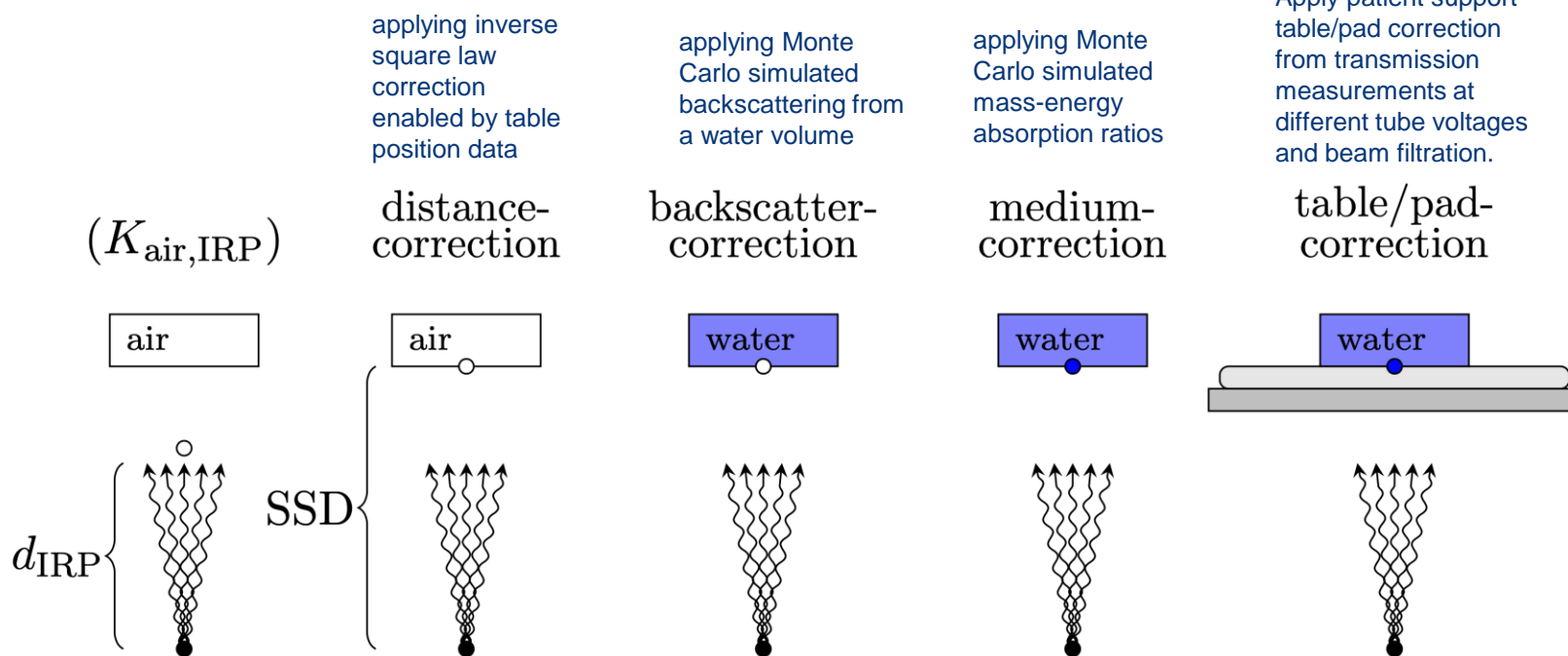
La valeur de référence du produit dose-surface (PDS) se détermine comme suit :

$$PDS_{ref} = Kerma \cdot S \cdot \left( \frac{DFD}{DFD + DDR} \right)^2$$

avec

- $PDS_{ref}$  : valeur de référence du PDS [mGy·cm<sup>2</sup> = 10 cGy·cm<sup>2</sup>]
- Kerma : indication du kerma ou du débit de kerma par le dosimètre [Gy ou Gy/s]
- S : surface du champ au niveau du récepteur d'image [cm<sup>2</sup>]
- DFD : distance foyer-dosimètre [cm]
- DDR : distance dosimètre-amplificateur récepteur d'images [cm]

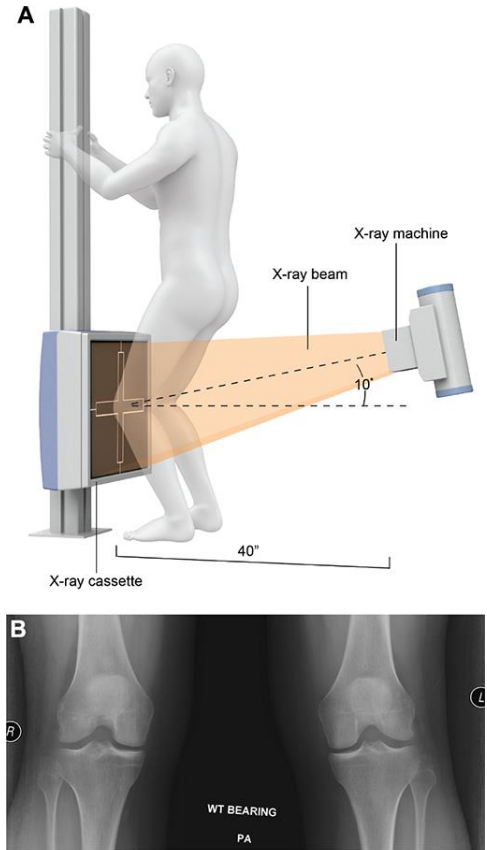
Exactitude de l'indication du produit dose-surface : 30%



$$D_{skin} = (K_{air,IRP}) \prod_i k_i$$

# Projection radiography

## Radiation quantity : Dose-Area-Product (DAP)



### Directive R-06-04

#### Niveaux de référence diagnostiques en radiologie par projection

##### 1. Définition

Il n'existe pas de limites de dose pour les patients en radiodiagnostic. La radioprotection des patients repose sur la justification et l'optimisation, qui doivent être rigoureusement appliquées. Cela est particulièrement vrai pour les procédures de radiologie par projection.

Déjà en 1996, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a proposé de fixer et d'appliquer des niveaux de référence diagnostiques (NRD). Il s'agit de valeurs de comparaison s'appliquant à une grandeur facilement mesurable. Dans le cas de la radiologie par projection, la grandeur utilisée est la dose à la surface d'entrée du patient. Le produit dose-surface (PDS) peut représenter une alternative, pour autant que l'installation soit équipée d'un dispositif l'indiquant. Les NRD doivent être utilisés comme des grandeurs indicatives, mais elles ne constituent pas une ligne de démarcation entre une bonne et une mauvaise pratique. Elles permettent de reconnaître les cas où, dans les procédures courantes, la dose délivrée au patient est inhabituellement élevée. Les NRD sont déterminés sur la base d'enquêtes. On choisit en général le 75e percentile de la distribution dosimétrique ce qui signifie que 75% de toutes les doses se trouvent au-dessous du NRD.

##### 2. Niveaux de référence diagnostiques

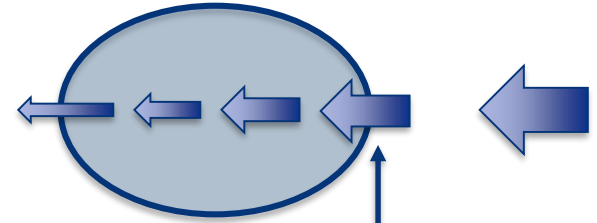
Les tableaux suivants présentent les NRD pour les principaux examens en radiologie par projection, pour les adultes (tableau 1) ainsi que pour les enfants et les adolescents (tableau 2). Les NRD pour adultes concernant les doses à la surface d'entrée du patient ont été déterminés lors d'une enquête nationale. Ils reflètent ainsi la pratique nationale en tenant compte exclusivement des récepteurs d'images numériques (CR et DR). Les valeurs du PDS ont été calculées à partir de la dose d'entrée et des grandeurs de champ habituelles en situation normale. Pour les enfants et les adolescents, les NDR correspondant aux PDS ont été déterminés dans le cadre d'une enquête menée dans tous les instituts de radiologie de Suisse disposant d'un service de radiopédiatrie. S'agissant des radiographies du crâne, les NDR sont classés par catégories en fonction de l'âge des patients ; pour les autres radiographies ils le sont en fonction du poids des patients.

Tableau 1 : NRD pour adultes

Radiographie	Dose à la surface d'entrée du patient par cliché [mGy]	PDS [mGy · cm²]
Thorax (pa)	0.15	150
Thorax (profil)	0.75	600
Rachis lombaire (ap ou pa)	7	2350*
Rachis lombaire (profil)	10	4150
Bassin (ap)	3.5	2500
Crâne (ap ou pa)	2.5	650
Crâne (profil)	1.5	500

ap : antéro-postérieur ; pa : postéro-anterior

## Patient's exposure



Entrance skin dose  
ESD

ESD is a useful quantity, easy to measure but poor indicator of radiation risk as it does not account for tissue sensitivity, penetration and area of the x-ray beam.

Used for DRLs and good indicator benchmark for the optimisation of the acquisition protocols.

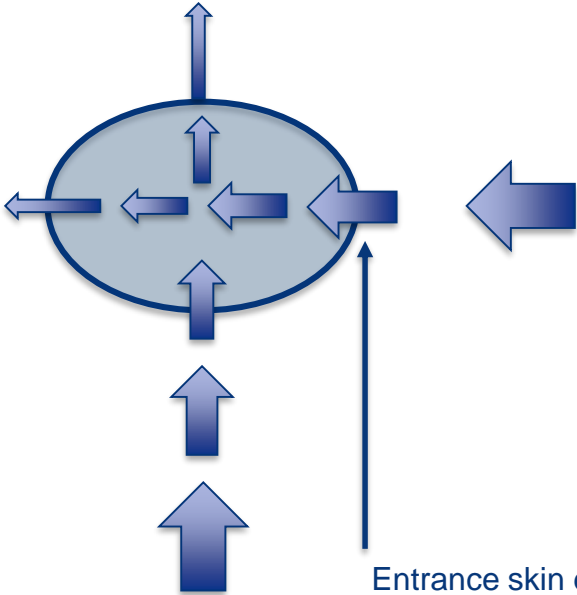


Projection radiography

Radiation quantity : Dose-Area-Product (DAP)



Patient's exposure



# Dental radiology

## Radiation quantity : Dose-Area-Product (DAP)



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'intérieur DFI  
Office fédéral de la santé publique OFSP  
Unité de direction Protection des consommateurs

Division Radioprotection  
[www.dfi-srsd.ch](http://www.dfi-srsd.ch)

Référence du document: NRD pour CBCT tête cou  
Établie le: 12.02.2020

### Directive

### Niveaux de référence diagnostiques pour les Cone-Beam CT (CBCT) pour l'imagerie de la tête et du cou

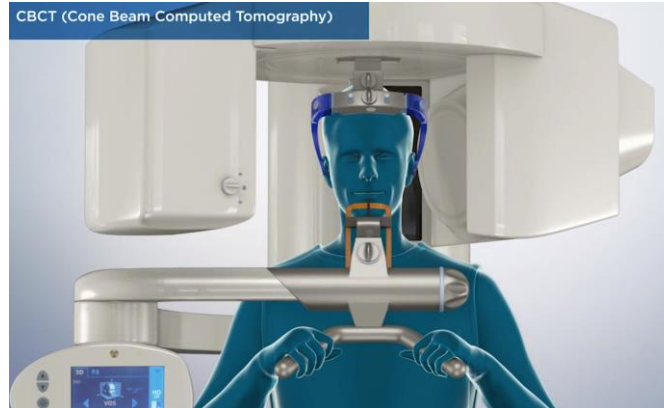
Les niveaux de références diagnostiques (NRD) sont des instruments destinés à optimiser la radioprotection des patients exposés à des rayonnements ionisants. Il s'agit de niveaux d'investigation s'appliquant à une grandeur facilement mesurable, ayant un rapport direct avec la dose à laquelle est soumis le patient, ce qui permet d'obtenir une gestion efficace de la dose.

Cette directive complète la [Directive R-06-06 : Niveaux de référence diagnostiques en tomodensitométrie](#) et s'adresse aux utilisateurs des CBCT (aussi appelés systèmes de tomographie volumique numérisée ; TVN) pour l'imagerie de la tête et du cou.

Chaque utilisateur doit analyser régulièrement sa pratique en matière d'imagerie, en comparant, pour chaque indication, le produit dose-surface (PDS) indiqué sur le CBCT avec le NRD correspondant. Si le NRD est dépassé et que la dose élevée n'est pas justifiée, des mesures d'optimisation sont à prendre. La mesure la plus simple consiste à réduire la taille du volume dont on forme l'image (en anglais *Field of View*, FOV). Si ceci n'est pas possible, il convient alors d'adapter les paramètres d'exposition de l'appareil.

Les NRD suivants s'appliquent à cinq indications ont été déterminés sur la base d'une enquête réalisée à l'échelle nationale. Les NRD correspondent au 75<sup>e</sup> percentile des PDS pour le FOV recommandé, généralement de 5 cm de diamètre x 5 cm de hauteur.

Indication	NRD (75 <sup>e</sup> percentile) PDS [mGy · cm²] FOV: 5 cm Ø · 5 cm hauteur
Dents de sagesse*	450
Pose d'implant au niveau du maxillaire supérieur et inférieur	450
Anomalies de formes et positions de la dent* et sa relation avec les structures voisines (racines, sinus maxillaire et fosse nasale, parcours des faisceaux nerveux)	450
Modifications dentoalvéolaires pathologiques (kystes, lésions parodontales et périapicales)	450
Endodontie	640



Extract from film : <https://www.fireflydentistry.com/services/dental-technology/cone-beam-3d-imaging/>

## Médecine dentaire

### Niveaux de référence diagnostiques pour les radiographies 3D de la tête et du cou

En médecine dentaire, l'imagerie 3D expose les patients aux doses les plus élevées ([en savoir plus](#)). La dose efficace pour une radiographie par Cone-Beam CT (CBCT ; aussi appelé système de tomographie volumique numérisée, TVN) s'élève à 100 µSv et est environ 20 fois plus élevée que celle d'une radiographie intraorale (5 µSv environ).

<https://www.bag.admin.ch/bag/fr/home/gesetze-und-bewilligungen/gesuche-bewilligungen/bewilligungen-aufsicht-im-strahlenschutz/informationen-fuer-medizinische-betriebe/diagnostische-referenzwerte-im-strahlenschutz.html>

# From air Kerma to Mean Glandular Dose

## 2.2. Dosimetric formulation

According to Dance (1990), mean glandular breast dose,  $D$ , is calculated using

$$D = Kg \quad (1)$$

where  $K$  is the incident air kerma at the upper surface of the breast, measured without backscatter, and  $g$  is the incident air kerma to mean glandular dose conversion factor ( $g$ -factor). As noted earlier, the tabulated  $g$ -factors correspond to a glandularity of 50%. It is proposed that equation (1) is now extended to

$$D = Kgcs \quad (2)$$

where the factor  $g$  is unchanged, the factor  $c$  corrects for any difference in breast composition from 50% glandularity and the factor  $s$  corrects for any difference from the original tabulation by Dance (1990) due to the use of a different x-ray spectrum. The results given in section 3 are in accordance with this formulation.

D R Dance et al 2000 Phys. Med. Biol. 45 3225



Equipment setup for (a) mean glandular dose measurement  
Malays J Med Sci. 2013 May; 20(3): 23–30.

# Interventional procedures

## Radiation quantity : Dose-Area-Product (DAP)



Département fédéral de l'intérieur DFI  
Office fédéral de la santé publique OFSP  
Unité de direction Protection des consommateurs

Division Radioprotection  
[www.sfr-crad.ch](http://www.sfr-crad.ch)

Référence du document : R-06-05d  
Etablie le : 31.01.2008  
Révision n° : 3 01.01.2018

Directive R-06-05  
**Niveaux de référence diagnostiques (NRD) en radiologie interventionnelle**

Division Radioprotection  
[www.sfr-crad.ch](http://www.sfr-crad.ch)

Référence du document : R-06-05d  
Etablie le : 31.01.2008  
Révision n° : 3 01.01.2018

Tableau 2 : NRD pour des examens cardiologiques

Examen	PDS [Gy·cm²]	Durée t [min]	Nombre d'images N [-]	DC [mGy]
Angiographie coronaire	50	8	860	575
PTCA¹	130	26	940	1400
Angiographie coronaire + PTCA¹	100	20	1470	1320
TAVI²	100	30	940	980
Fermeture de shunt	30	9	360	280
Biospie myocardique	10	6	-	105
Explorations électrophysiologiques	20	10	-	300
Procédures électrophysiologiques à l'aide d'un système de cartographie électro-anatomique	5	-	-	53
Ablation par radiofréquence	150	25	-	2250
Ablation par radiofréquence cardiaque à l'aide d'un système de cartographie électro-anatomique	30	9	-	623
DAI³	-	-	-	-
DAI³ à l'aide d'un système de cartographie électro-anatomique	20	7	-	418
Pose de stimulateur cardiaque	30	7	-	450
Pose de stimulateur cardiaque à l'aide d'un système de cartographie électro-anatomique	5	5	-	286

## Cumulative dose



Edgswissches Département des Innern EDI  
Bureau für Gesundheitsschutz  
Bundesamt für Lebensmittelsicherheit

Directive: le produit dose-surface (PDS) en médecine humaine

Valable à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2018

Ethel, janvier 2020

Affichage du PDS	Documentation du PDS	Unité du PDS
Les systèmes radiologiques utilisés pour les examens diagnostiques dans les domaines des doses modérées et élevées doivent être munis d'un dispositif qui détermine et indique le PDS accumulé.	Pour les installations radiologiques à usage diagnostique utilisées pour des applications dans les domaines des doses élevées et modérées, les paramètres d'exposition déterminants pour l'estimation de la dose reçue par le patient sont consignés dans le dossier du patient.	Le PDS est indiqué en mGy·cm² pour les examens diagnostiques du domaine des doses modérées et en Gy·cm² pour les installations de radiologie interventionnelle du domaine des doses élevées.
Cette exigence figurait déjà à l'art. 13 de l'ordonnance sur les rayons X (ORX) dans sa version du 20 janvier 1998.	Cette exigence figurait déjà à l'art. 26 de l'ordonnance sur la radioprotection (ORaP) dans sa version du 22 juin 1994.	L'unité du PDS est fixée à l'art. 22, al. 1, ORX (version du 26 avril 2017).
Dans la version du 26 avril 2017, actuellement en vigueur, elle est modifiée à l'art. 22, al. 1.	La documentation du PDS est réglementée à l'art. 30, al. 4, ORX (version du 26 avril 2017).	
L'affichage du PDS permet d'optimiser la dose. Durant une opération faisant appel à la radiologie, le chirurgien doit contrôler la dose appliquée et, si nécessaire, prendre des mesures d'optimisation. Pour cela, il doit pouvoir consulter le PDS en tout temps sur un dispositif d'affichage en temps réel.	La documentation du PDS permet d'estimer a posteriori la dose reçue par le patient.	L'uniformisation des dispositifs d'affichage du PDS vise à permettre une meilleure compréhension et à éviter les interprétations erronées.
Toutes les installations de radiologie déjà autorisées doivent indiquer le PDS.		
Si une installation autorisée n'est pas équipée d'un affichage du PDS en temps réel, elle devra être adaptée ou remplacée d'ici fin 2021 au plus tard.		Une installation déjà autorisée qui indique le PDS dans une unité « incorrecte » et qu'il est impossible d'adapter pourra continuer d'être utilisée si elle est par ailleurs conforme à l'ORX.

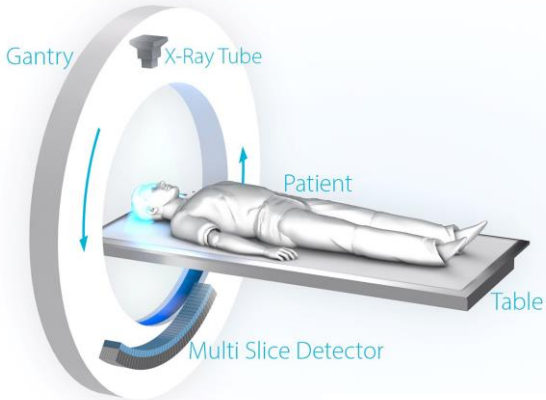
Informations complémentaires : Office fédéral de la santé publique, unité de direction Protection des consommateurs, Division Radioprotection  
tel. +41 58 462 16 14, [info@ed.admin.ch](mailto:info@ed.admin.ch), [www.ed.admin.ch](http://ed.admin.ch)

We sometime face a terminology issue: DAP, KAP  
Coupled with unit issue for values that are displayed: mGy.cm<sup>2</sup> cGy.cm<sup>2</sup> mGy.m<sup>2</sup>

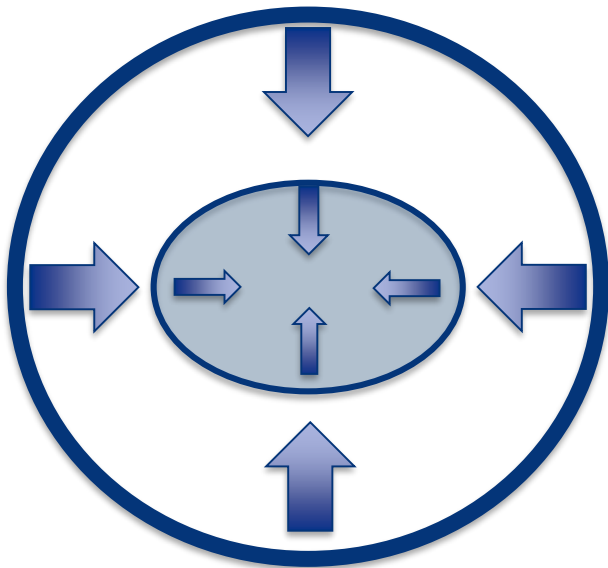
Call for harmonisation  
<https://www.herca.org/herca-proposal-on-harmonization-of-dap-units-2/>



CT scanners



Patient's exposure



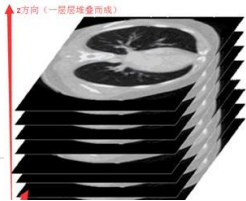
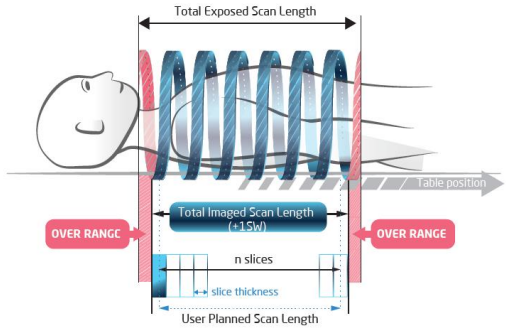
Division Radioprotection  
[www.dsr.ch](http://www.dsr.ch)

Référence du document :  
Établi le :  
Révision n° : 2

R-06-01cf  
01.04.2010  
15.06.2018

Tableau 1 : NRD et valeurs cibles pour adultes

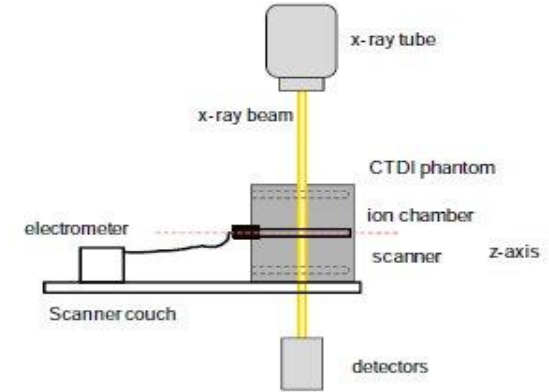
Protocole CT *	NRD (75 <sup>e</sup> percentile)		Valeur cible (médiane)	
	CTDI <sub>vol</sub> [mGy]	DLP [mGy cm]	CTDI <sub>vol</sub> [mGy]	DLP [mGy cm]
1 Crâne	51	890	42	750
2 Massif crano-facial / sinus nasaux	25	420	15	240
3 Low Dose sinus nasaux (sinusite)	6	90	5	70
4 Cou	16	410	12	290
5 Angiographie CT (angiographie de la carotide)	11	360	8	260
6 Thorax	7	250	6	210
7 Angiographie CT (recherche d'embolie pulmonaire)	8	300	6	200



## CT scanners



RTI Group: CTDI measurement with the RTI Ion Chamber



**CT dose index (CTDI)** is the standardised measure of the radiation output of a CT system  
CTDI is measured in a cylindrical phantom with a 100mm long pencil ionisation chamber  
300mm long pencil ionisation chambers are now required (*Phys Med Biol.* 2009;54:3141–59.)

It is used to measure the amount of emitted radiation and compare the radiation output between different settings/protocols.

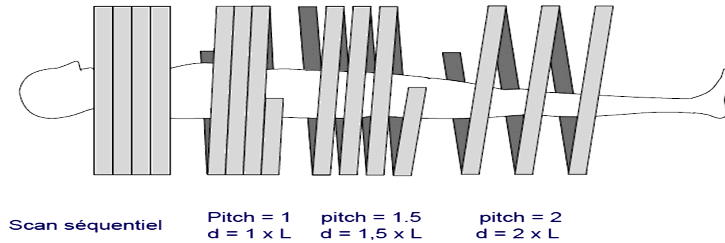
For same  $CTDI_{vol}$  smaller patient will receive higher dose than larger patient  
Used for DRLs and is good indicator benchmark for the optimisation of the acquisition protocols.

Also used for Quality Control Measurements done by Med Physicists and Authorities

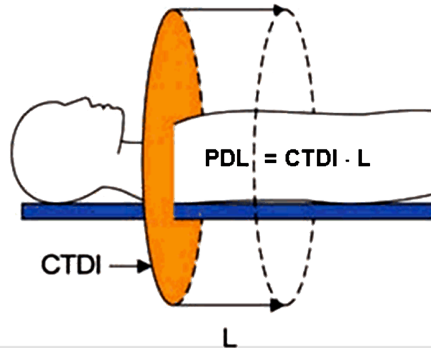
## CT scanners

The dose is higher in the peripheries than in the centre of the phantom, to be more representative of the average absorbed dose, the weighted CTDI is introduced:

$$\text{CTDI}_w = 2/3 \text{CTDI}_{100} (\text{periphery}) + 1/3 \text{CTDI}_{100} (\text{center}) \quad [\text{mGy}]$$



$$\text{CTDI}_{\text{vol}} = \text{CTDI}_w / \text{pitch} \quad [\text{mGy}]$$

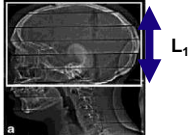




$$\text{DLP (dose length product)} = \text{CTDI}_{\text{vol}} \cdot \text{scan length} \quad [\text{mGy.cm}]$$

CTDI and DLP must be displayed on consoles and mentioned in the DICOM image  
BUT those values do not represent the actual dose administered to the patient

## CT scanners

From DLP to Effective dose

	DLP	Conversion factors	E
	[mGy.cm]	[mSv mGy <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup> ]	[mSv]
 L <sub>1</sub>	DLP <sub>1</sub> = CTDI <sub>vol, 1</sub> x L <sub>1</sub>	x 0.0019	E <sub>1</sub>
 L <sub>2</sub>	DLP <sub>2</sub> = CTDI <sub>vol, 2</sub> x L <sub>2</sub>	x 0.0146	E <sub>2</sub>
 L <sub>3</sub>	DLP <sub>3</sub> = CTDI <sub>vol, 3</sub> x L <sub>3</sub>	x 0.0153	E <sub>3</sub>
			E = Σ E <sub>i</sub>

The calculation of the effective dose is not easy, as one should get the equivalent dose to each irradiated organs (not forgetting irradiation due to scattered radiation outside the beam)

The calculation can be done with MC programs

CTDOSE

ImPACT-CT [www.impactscan.org/](http://www.impactscan.org/)

<http://www.radiation-dose.com>

...

$$E = \text{DLP} \cdot k_{\text{DLP}} \quad [\text{mSv}/(\text{mGy} \cdot \text{cm})]$$

The effective dose factors are age dependent – ICRP 103

Exemple :

CTDI<sub>vol</sub> = 60 mGy for a head examination

→ E = 2 mSv

CTDI<sub>vol</sub> = 20 mGy for an abdomen examination

→ E = 10 mSv



# Pathways to the effective dose for CT examinations

## 1. CTDI → DLP → E

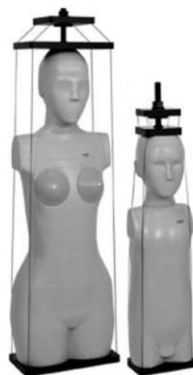
## 2. Absorbed dose → Organ dose → ICRP weighting factors → E

**Table 1: Tissue weighting factors according to ICRP 103 (ICRP 2007)**

Tissue	Tissue weighting factor wT	Σ wT
Bone-marrow (red), colon, lung, stomach, breast, remaining tissues(*)	0.12	0.72
Gonads	0.08	0.08
Bladder, Oesophagus, Liver, Thyroid	0.04	0.16
Bone surface, Brain, Salivary glands, Skin	0.01	0.04
<b>Total</b>		<b>1.00</b>

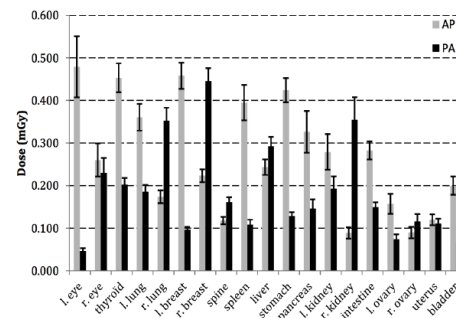
(\*) Remaining tissues: Adrenals, extrathoracic region, gall bladder, heart, kidneys, lymphatic nodes, muscle, oral mucosa, pancreas, prostate (♂), small intestine, spleen, thymus, uterus/cervix (♀)

### ▪ CIRS Phantoms



### Organ dose measurements

#### ▪ TLD-100 inserted in the slices



### The effective dose

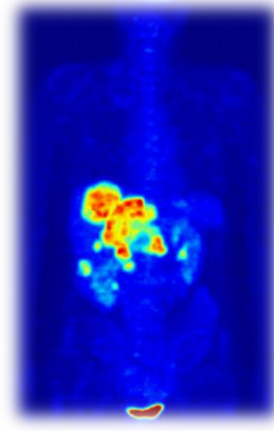
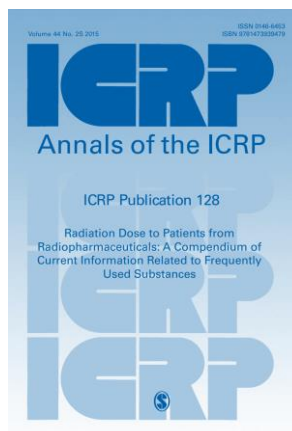
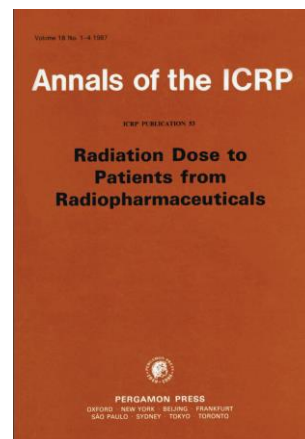
$$E = \sum_T W_T \cdot H_T = \sum_T W_T \sum_R W_R \cdot \bar{D}_{T,R} \quad [J/Kg] = [Sv]$$

## Nuclear medicine

### Basic physical quantity Relevant quantity is absorbed dose

Absorbed dose to organs for patients in diagnostic examinations in nuclear medicine is calculated based on models of the biokinetics of the radiopharmaceutical

In practice, the basic quantity is the activity administered during a typical examination (MBq).



Directive OFSP :Niveaux de référence diagnostiques pour les examens de médecine nucléaire

#### Annexe 1

Tableau 1.1 Niveaux de référence diagnostiques lors d'examens de médecine nucléaire chez les adultes

Examen	Nucléide	Produit radiopharmaceutique	NRD (activité)		CT Absorption/Localisation NRD (75 <sup>e</sup> percentile)		Dose effective E <sub>50</sub> due au produit radiopharmaceutique [mSv]
			pour 70 kg [MBq]	par poids [MBq/kg]	CTDI <sub>vol</sub> [mGy]	DLP [mGy-cm]	
Système osseux	Tc-99m	DPD (Teceos), MDP (Lenoscint), HDP	700	10,0	10 (bassin) 5 (CV) 5 (extr.)	410 (bassin) 190 (CV) 160 (extr.)	4,0
Thyroïde	I-123	Iodure	10		4	160	2,2 <sup>1</sup>
	I-131	Iodure	3				72,0 <sup>1</sup>
	Tc-99m	Pertechnétate	75				0,98
	Tc-99m	MIBI (Cardiolite)	170				1,5
Parathyroïde	I-123	Iodure	20		4	160	4,4
	Tc-99m	MIBI (Cardiolite)	550				5,0

## Future needs or Nice-to-have

Foster rigour in publications, including the full description of correction factors on measured values and more details on uncertainties

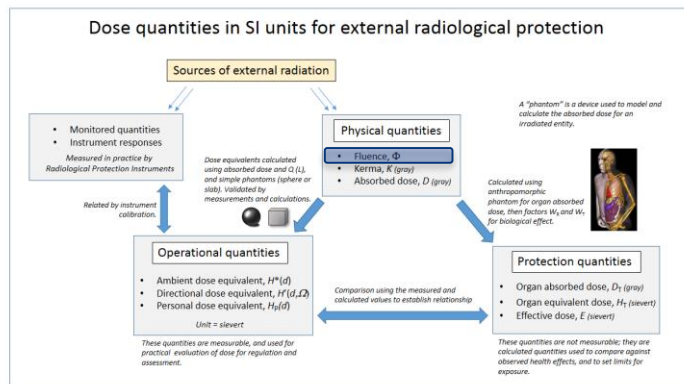
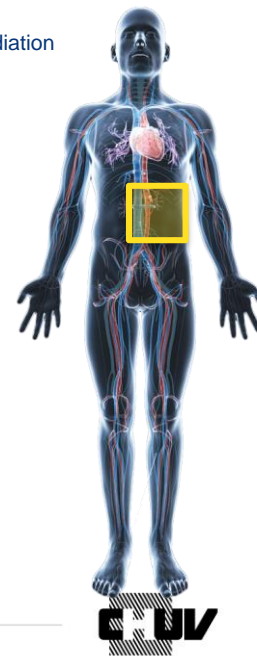
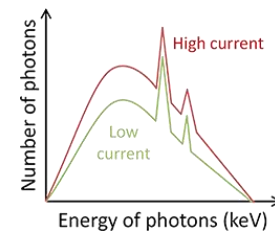
Harmonise the terminology

Harmonise the units in interventional procedures

No special need at this stage for new quantities, but rather new tools for personalised dosimetry

- individual's exposure
- organs' exposure

Characterisation of the ionising radiation the patient's is exposed to.



# Conclusions

Dosimetry is a way to evaluate/quantify the exposure and a useful (although not perfect)  
Dosimetry is a powerful tool to optimise the exposure for the best clinical objectives

Basic quantities in medical x-ray imaging: air kerma and absorbed dose  
However the path to other quantities used for risk management and/or comparison does have room for improvement

Further information on published dosimetry results would be appreciated as most articles do not provide information on measured values (calibration, exact measurement conditions and corrections made on reported values).

Clear need to move forward towards personalised information and individual dosimetry

## Radiation quantities in medical imaging depends on what we're interested in:

- Population's exposure due to medical applications
- Evaluation of the exposure due to a new imaging modality
- Comparison of modalities/protocols
- Individual exposure / individual risk assessment
- Specific organ / tissue exposure



## BONN CALL FOR ACTION

10 Actions to Improve Radiation Protection  
in Medicine in the Next Decade

### Shape and promote a strategic research agenda for radiation protection in medicine

- ☐ Explore the re-balancing of radiation research budgets in recognition of the fact that an overwhelming percentage of human exposure to man-made sources is medical;
- ☐ Strengthen investigations in low-dose health effects and radiological risks from external and internal exposures, especially in children and pregnant women, with an aim to reduce uncertainties in risk estimates at low doses;
- ☐ Study the occurrence of and mechanisms for individual differences in radiosensitivity and hyper-sensitivity to ionizing radiation, and their potential impact on the radiation protection system and practices;
- ☐ Explore the possibilities of identifying biological markers specific to ionizing radiation;
- ☐ Advance research in specialized areas of radiation effects, such as characterization of deterministic health effects, cardiovascular effects, and post-accident treatment of overexposed individuals;
- ☐ Promote research to improve methods for organ dose assessment, including patient dosimetry when using unsealed radioactive sources, as well as external beam small-field dosimetry.

Thank you for your attention

Seminar of the Federal Commission on  
Radiation Protection

*A glance at current dosimetry topics*

## Radiation Quantities in Medical Imaging

Jérôme DAMET, PhD