

Projet de rapport de la CIPR sur la dose efficace

**Eric Blanchardon
(IRSN)**

**GT-CIPR
Centre National des Armées
Paris – 17 mai 2018**

Task Group 79 : Use of Effective Dose as a Protection Quantity

John Harrison **C2, MC**

Mikhail Balonov **formerly C2**

Colin Martin **C3**

Hans-Georg Menzel **formerly C2, MC**

Pedro Ortiz-Lopez **formerly C3**

Rebecca Smith-Bindman

Jane Simmonds **formerly C4**

Richard Wakeford **C1**

+ François Bochud (C4), John Cooper, Christian Streffer

**Projet de
rapport
du TG 79**

Annals of the ICRP

ICRP PUBLICATION 1XX

The Use of Effective Dose as a Radiological Protection Quantity

Editor-in-Chief
C.H. CLEMENT

Associate Editor
H. FUJITA

Authors on behalf of ICRP

J.D. Harrison, M. Balonov, F. Bochud, C.J. Martin, H-G. Menzel,
P. Ortiz-Lopez, R. Smith-Bindman, J.R. Simmonds, R. Wakeford

Consultation

Rapport disponible pour consultation publique sur

www.ICRP.org

Commentaires attendus jusqu'au 3 Aout 2018

Sommaire

1. Calcul de la dose efficace
2. Problème de la dose équivalente
3. Personne représentative de l'exposition du public
4. Notion de dose collective
5. Application à l'imagerie médicale

Calcul de la dose efficace

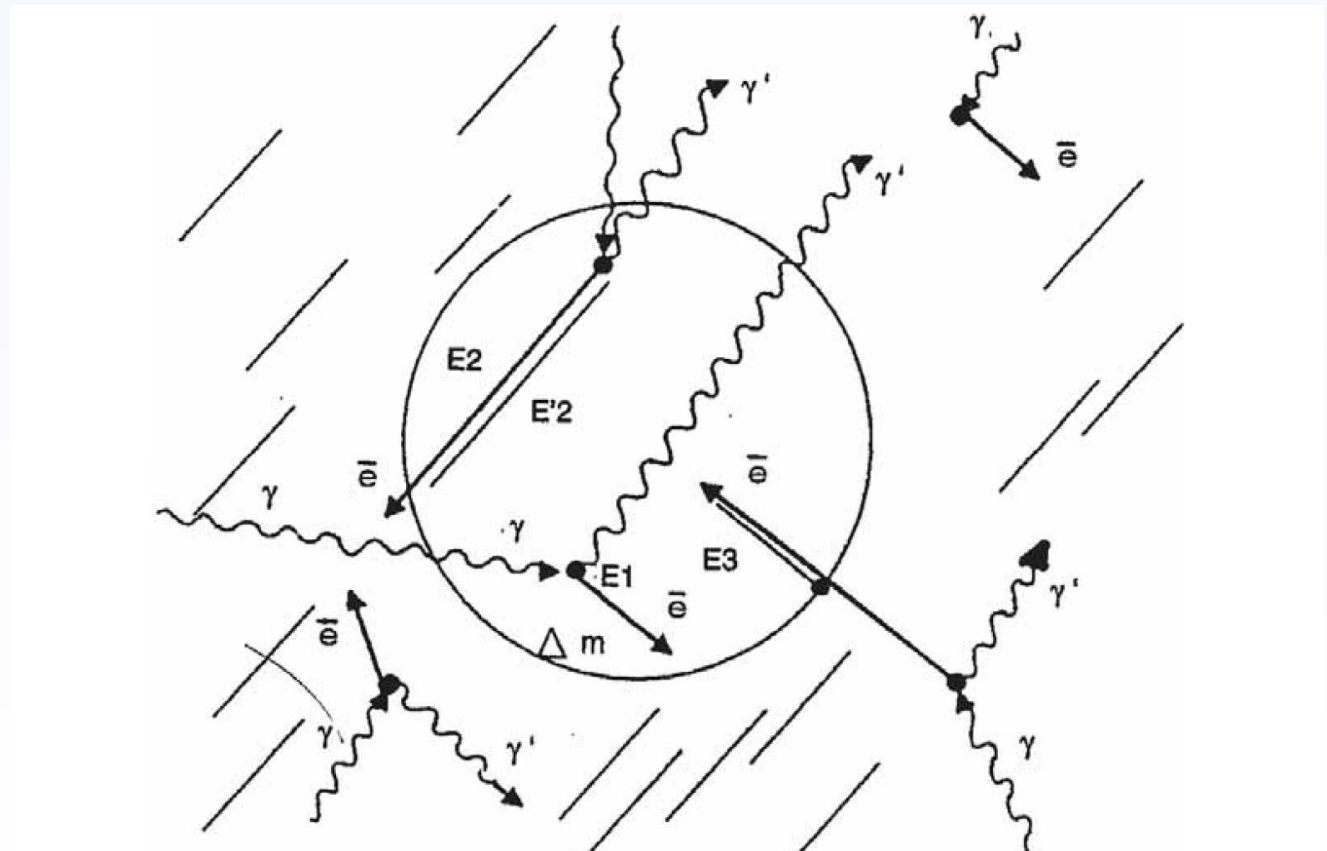
Dose absorbée D

Energie moyenne déposée localement par les particules qui interagissent dans un volume élémentaire de masse Δm

$$\varepsilon = E1 + E2' + E3 = E_{\text{particules entrantes}} - E_{\text{particules sortantes}} + E_{\text{transformations internes au volume}}$$

$$D = d\varepsilon/dm$$

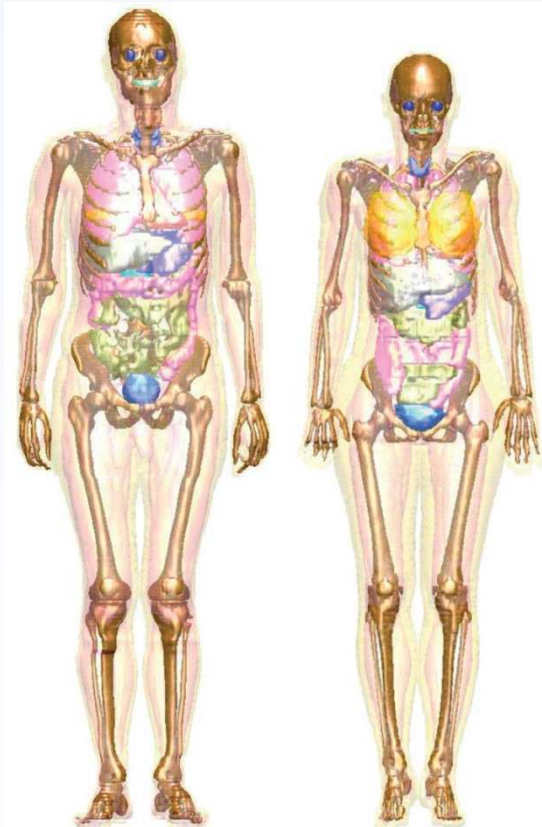
Exprimée grays
(1 Gy = 1 J.kg⁻¹)



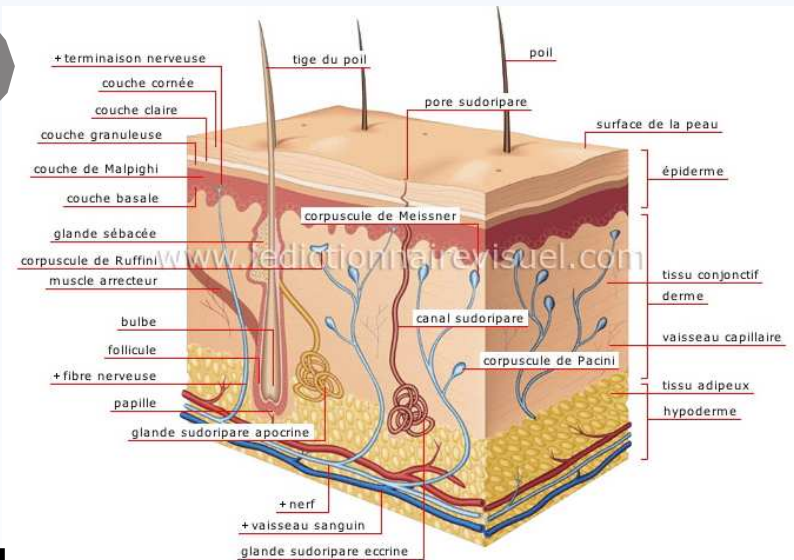
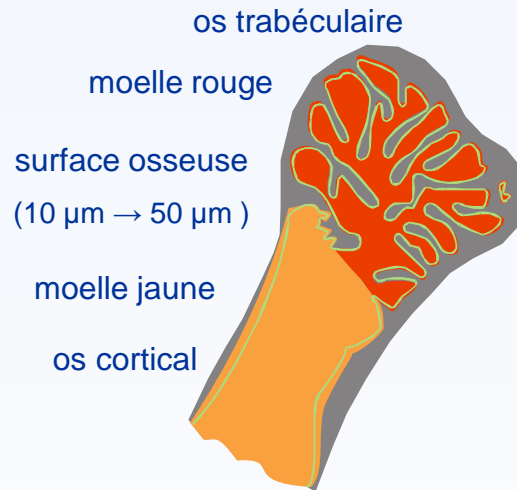
Calcul de la dose efficace

Dose absorbée moyenne $D_{T,R}$ dans la région T due au rayonnement de type R

T = organe (ex: foie), tissue (ex: moelle osseuse) ou région sensible d'un tissu (ex: surface osseuse)



fantôme masculin de référence fantôme féminin de référence



Dose à la peau

- pour le calcul de la dose efficace = moyenne sur les voxels externes des fantômes (~ 2 mm)
- pour la prévention des effets tissulaires = dose moyenne à 50-100 µm de la surface du cm² le plus exposé

Calcul de la dose efficace

Les risques par Gy diffèrent suivant les rayonnements =>



Dose équivalente H_T

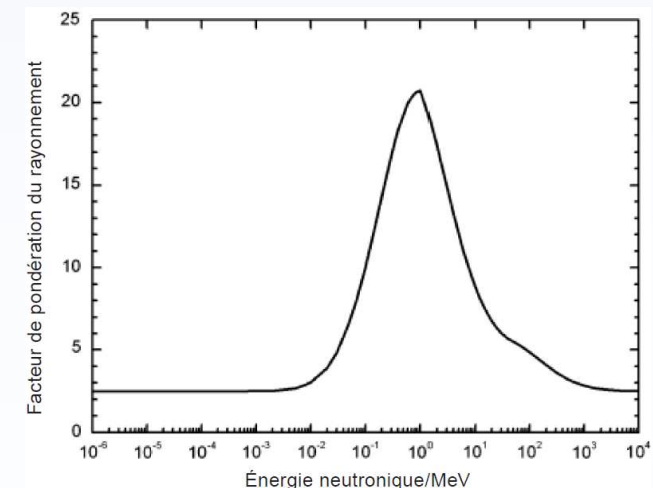
- Somme pondérée des doses absorbées dues à tous les types de rayonnement R

$$H_T = \sum_R w_R \times D_{T,R} \quad \text{exprimée en sieverts (1 Sv = 1 J.kg}^{-1}\text{)}$$

- Facteurs de pondération w_R pour les rayonnements

type de rayonnement	w_R
photons	1
électrons et muons	1
Protons et pions chargés	2
particules α , fragments de fission, noyaux lourds	20

neutrons



$$w_R = \begin{cases} 2,5 + 18,2 \cdot e^{-[\ln(E_n)]^2/6} & \text{pour } E_n < 1 \text{ MeV} \\ 5,0 + 17,0 \cdot e^{-[\ln(2 \cdot E_n)]^2/6} & \text{pour } 1 \text{ MeV} \leq E_n \leq 50 \text{ MeV} \\ 2,5 + 3,25 \cdot e^{-[\ln(0,04 \cdot E_n)]^2/6} & \text{pour } E_n > 50 \text{ MeV} \end{cases}$$

Calcul de la dose efficace

L'irradiation du corps peut être partielle =>

Dose efficace E

- Somme pondérée des doses équivalentes reçues par les tissus

$$E = \sum_T w_T \times \left[\frac{H_T^M + H_T^F}{2} \right] \text{ exprimée en sieverts (1 Sv = 1 J.kg}^{-1}\text{)}$$

- Facteurs de pondération w_T pour les tissus

organe ou tissu	w_T
moelle rouge hématopoïétique, côlon, poumons, estomac, sein, "le reste"*	0,12
gonades	0,08
vessie, œsophage, foie, thyroïde	0,04
surface osseuse, cerveau, glandes salivaires, peau	0,01

$$\sum_T w_T = 1$$



* $H_{\text{"le reste"}}$ = moyenne des doses équivalentes aux glandes surrénales, voies respiratoires extra-thoraciques, vésicule biliaire, cœur, reins, ganglions lymphatiques, muscle, muqueuse buccale, pancréas, intestin grêle, rate, thymus et prostate (homme) ou utérus (femme)

Choix des valeurs de w_T

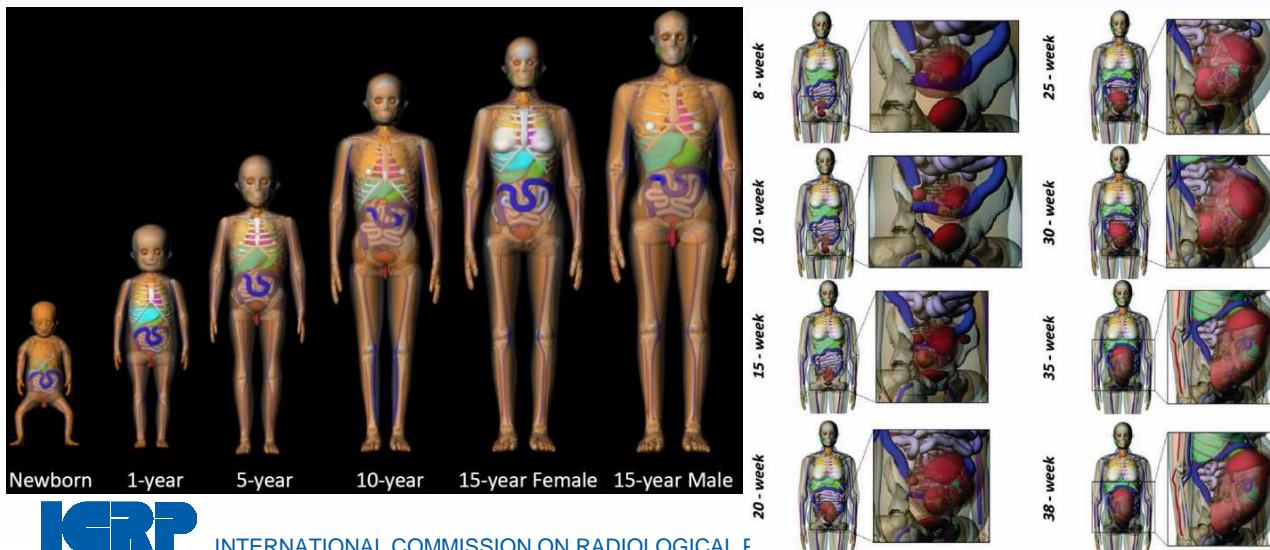
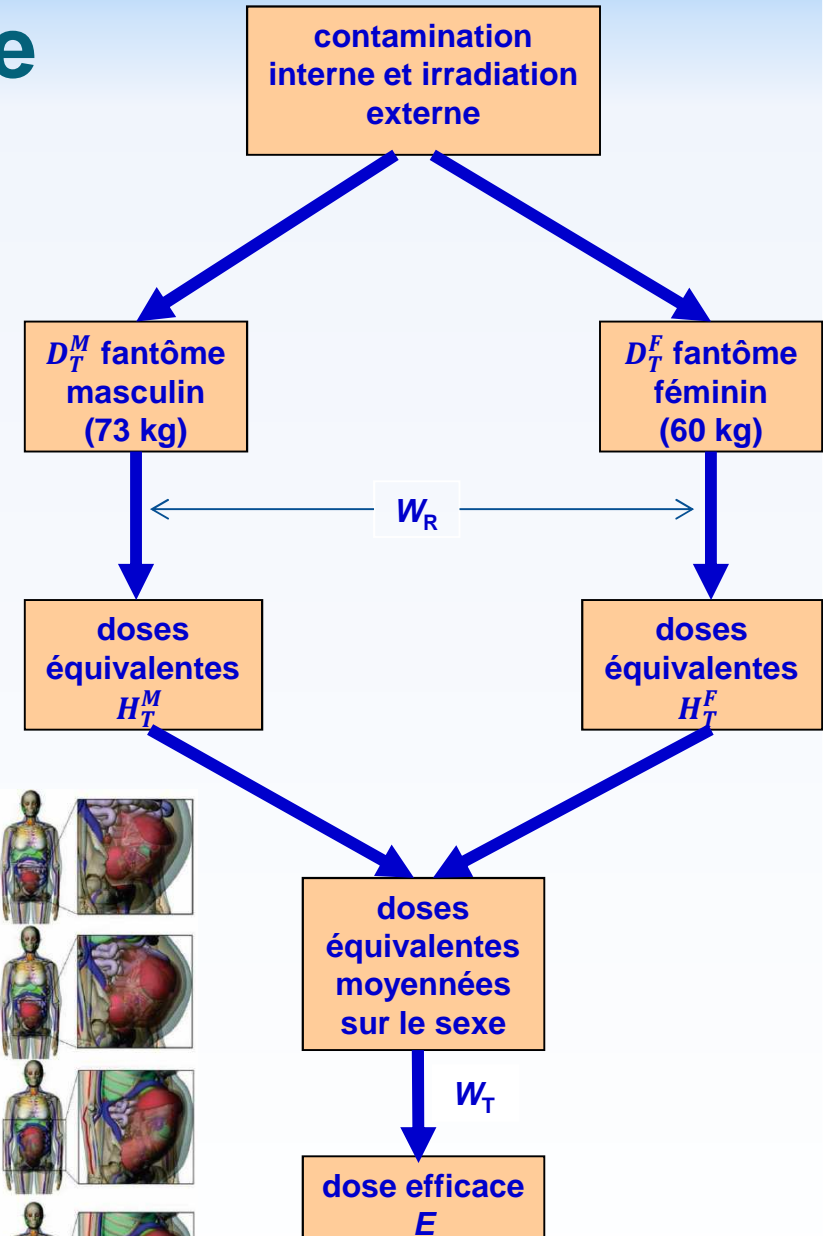
[Publication 103 : détriment stochastique pour une population exposée]

tissu	détriment ($\times 10^{-4} \text{ Gy}^{-1}$)	détriment relatif	pondération tissulaire (w_T)
œsophage	13.1	0.023	0.04
estomac	67.7	0.118	0.12
colon	47.9	0.083	0.12
foie	26.6	0.046	0.04
poumon	90.3	0.157	0.12
surface osseuse	5.1	0.009	0.01
peau	4.0	0.007	0.01
sein	79.8	0.189	0.12
ovaire	9.9	0.017	
vessie	16.7	0.029	0.04
thyroïde	12.7	0.022	0.04
moelle rouge	61.5	0.107	0.12
autres solides	113.5	0.198	0.12
gonades (héréditaire)	25.4	0.044	0.08
Total	574	1.000	1.00

Calcul de la dose efficace

La dose efficace est définie et évaluée pour une personne de référence

- Elle ne tient pas compte des caractéristiques spécifiques de l'individu exposé.
- En particulier, les w_T sont indépendants de l'âge et du sexe.
- Il existe cependant des modèles dosimétriques spécifiques pour les enfants et pour la femme enceinte.



Calcul de la dose efficace

En utilisant des coefficients de dose

- pour une irradiation externe

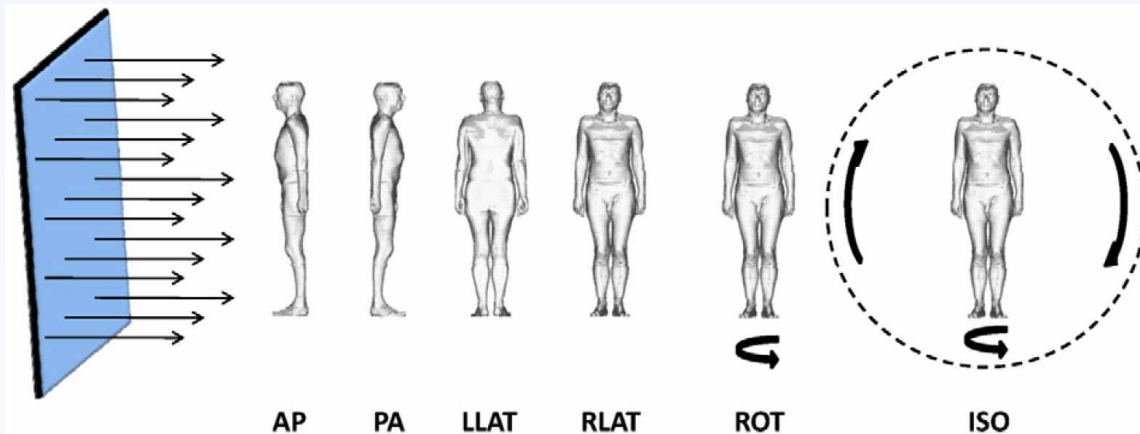
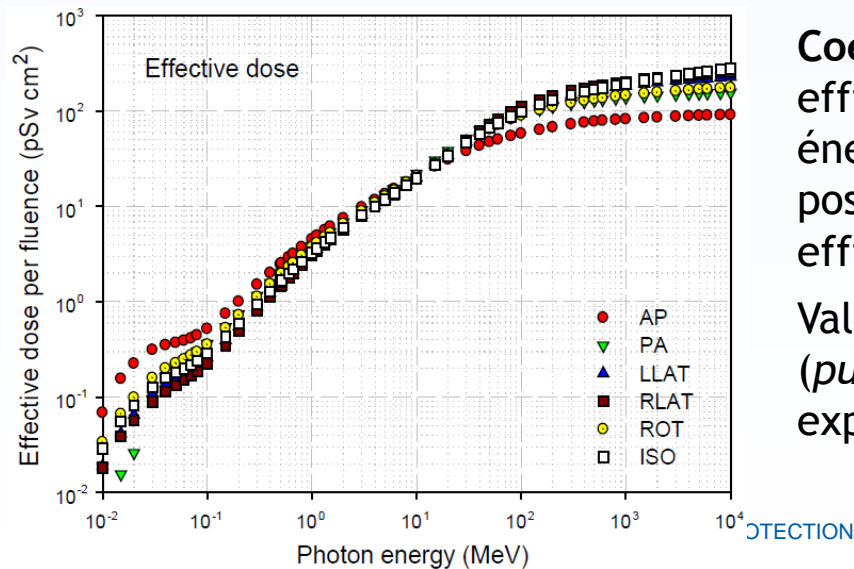


Fig. 3.2. Schematic representation of the idealised geometries considered. AP, antero-posterior; PA, postero-anterior; LLAT, left lateral; RLAT, right lateral; ROT, rotational; ISO, isotropic.

Les grandeurs dosimétriques sont évaluées par simulation Monte Carlo des interactions rayonnement-matière dans des fantômes de référence pour des géométries d'irradiation de référence.



Coefficients de conversion de la fluence en dose efficace suivant géométrie d'irradiation, type et énergie des particules (photons, neutrons, électrons, positrons, protons, pions, muons, ions hélium) + dose efficace par kerma dans l'air pour les photons

Valeurs disponibles pour l'adulte de référence (*publication 116*). En préparation pour l'enfant exposé à des sources dans l'environnement (TG 90).

Calcul de la dose efficace

En utilisant des coefficients de dose

- pour une contamination interne

Distribution et élimination des radionucléides incorporés suivant des modèles biocinétiques de référence, dépendants de l'âge

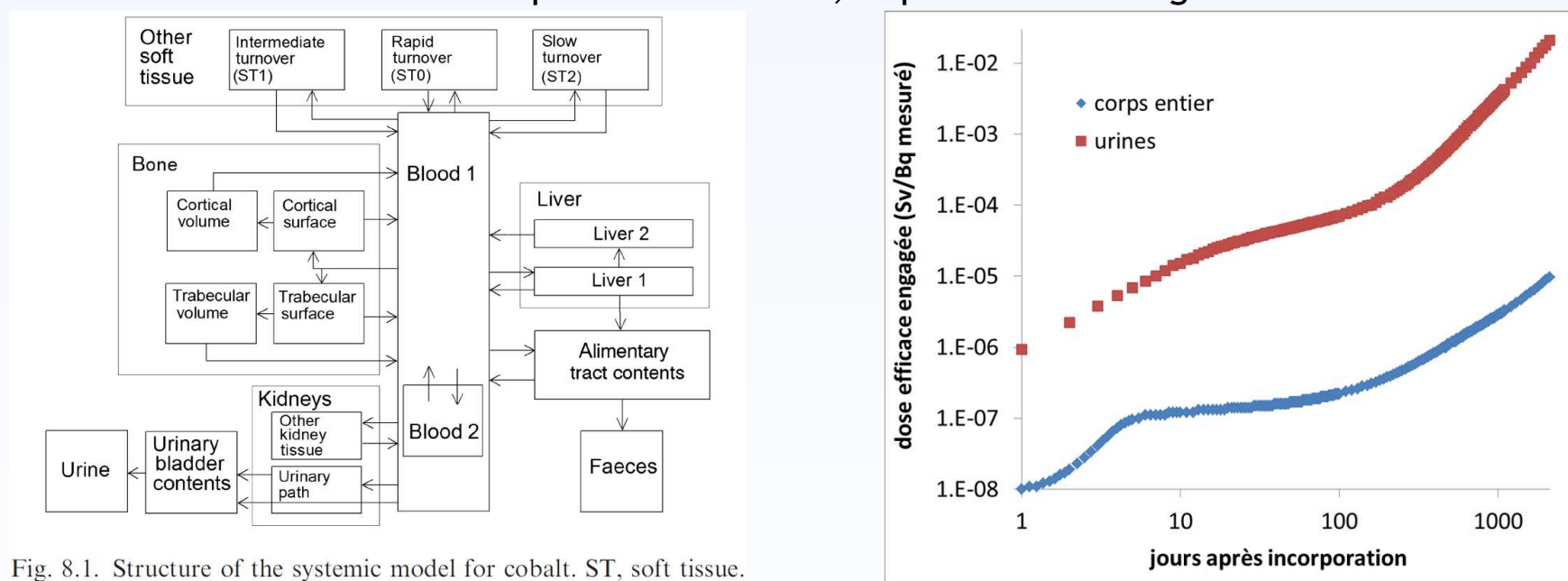


Fig. 8.1. Structure of the systemic model for cobalt. ST, soft tissue.

Coefficients de dose efficace engagée suite à ingestion ou inhalation des principaux radioisotopes d'une centaine d'éléments par le travailleur et la population, dont les enfants, la femme enceinte et allaitante (*publications 30, 68, 72, 88 et 95, www.icrp.org*).

Révision en cours par TG 95 dans les séries *Occupational intakes of radionuclides* (*publications 130, 134, 137...*) et *Environmental intakes of radionuclides*.

Utilisation de la dose efficace E

- E permet **d'additionner toutes les expositions** aux rayonnements en ajustant suivant le risque avec des facteurs de pondération simplifiés.
- E est utilisée pour **optimiser** la protection et **limiter** l'exposition dans la planification et le contrôle réglementaire.
- E s'applique sans incertitudes et se relie à un détriment nominal pour une irradiation externe uniforme à du rayonnement à faible TEL, sous l'hypothèse d'une relation dose-risque linéaire sans seuil et d'une **équivalence entre les expositions chroniques et aiguës, internes et externes.**

[Rapport du TG79]

Dose équivalente

Une grandeur inutile et confuse ?

- **Confusion** entre la **dose équivalente** (intermédiaire dans le calcul de la dose efficace) et la grandeur opérationnelle d'**équivalent de dose** (estimateur de la dose efficace).
- **Confusion** entre **dose équivalente** et **dose efficace**, exprimées dans la même unité (**Sv**) mais qui peuvent différer significativement, ex : contamination I-131, si $E = 40$ mSv alors $H_{\text{thyroïde}} = 1$ Sv.
- **Limites de dose équivalente utilisées pour éviter des effets tissulaires** en cas d'irradiation des mains et des pieds, du cristallin et de la peau. Mais EBR moins variables que pour les effets stochastiques => w_R utile ici ?

[Rapport du TG79]

Dose équivalente

Solution proposée : l'abandonner et la remplacer par la dose absorbée moyenne à l'organe (Gy)

- Fixer les **limites** de dose à l'organe évitant les **réactions tissulaires en dose absorbée** sans changer les valeurs numériques. Prise en compte de l'EBR pour quelques situations d'exposition aux neutrons et autres rayonnements à TEL élevé.
- Contrôle des effets stochastiques presque entièrement par la dose efficace. Lorsqu'un **organe unique** reçoit l'essentiel de la dose, **mieux vaut l'exprimer en dose absorbée**. Ex : Une contamination à l'I-131 peut conduire à une dose efficace de 10 mSv, résultant essentiellement d'une dose absorbée de 250 mGy à la thyroïde.

[Rapport du TG79]

Application à l'exposition du public

Dose efficace estimée pour une « personne représentative » des individus les plus exposés dans la population (ex : 95^{ème} percentile).

Coefficients de dose disponibles pour l'enfant à naître et pour 6 classes d'âge :

- embryon et fœtus
- contamination du nourrisson par le lait maternel
- de 0 à 1 an : modèle nourrisson de 3 mois
- de 1 à 2 ans : modèle enfant de 1 an
- de 2 à 7 ans : modèle enfant de 5 ans
- de 7 à 12 ans : modèle enfant de 10 ans
- de 12 à 17 ans : modèle enfant de 15 ans
- au-delà de 17 ans : modèle adulte

[Publication 101]

Combinés aux données de consommation alimentaire et air inhalé pour une évaluation dosimétrique, ex : données britanniques

Table A1. Illustrative habit data used in calculating the doses

	Milk consumption rate (kg/year)	Green vegetable consumption rate (kg/year)	Beef consumption rate (kg/year)	Inhalation (m ³ /h)
3 months	350	15	10	0.12
1 year	320	30	20	0.22
5 years	280	32.5	25	0.37
10 years	240	35	30	0.64
15 years	260	45	35	0.84
Adult	240	80	45	0.92

Application à l'exposition du public

Rapports entre les doses estimées par classe d'âge (tous radionucléides)

Table A7. Minimum and maximum ratios for the pathways for all radionuclides using illustrative habit data

Pathway	Ratio	Minimum ratio	Maximum ratio
Ingestion of milk	1-year-old child: fetus and 3-month-old breast-fed infant *	0.94	312,888
	1-year-old child: 5-year-old child	1.14	2.51
	10-year-old child: 15-year-old child	0.49	3.15
Ingestion of green vegetables	1-year-old child: fetus and 3-month-old breast-fed infant *	0.26	88,000
	1-year-old child: 5-year-old child	0.92	2.03
	10-year-old child: 15-year-old child	0.41	2.66
Ingestion of beef	1-year-old child: fetus and 3-month-old breast-fed infant *	0.31	104,296
	1-year-old child: 5-year-old child	0.80	1.76
	10-year-old child: 15-year-old child	0.46	2.93
Inhalation	1-year-old child: 3-month-old infant	0.55	2.51
	1-year-old child: 5-year-old child	0.54	1.65
	10-year-old child: 15-year-old child	0.41	2.84

[Publication 101]

Incertitudes sur expositions plus importantes sur expositions que sur coefficients de dose =>

Il suffit en pratique de considérer **3 classes d'âge (1 an, 10 ans, adulte)** dans la plupart des évaluations dosimétriques. Dose à l'enfant à naître en général plus faible qu'à l'adulte, exceptions : isotopes P, Ca et Sr.

Optimisation avec les **mêmes contraintes et niveaux de référence pour toute la population**, mais en reconnaissant que les **risques individuels sont différents**.

Dose collective

Somme de la dose efficace de tous les individus d'un groupe :

$$S(E_1, E_2, \Delta T) = \int_{E_1}^{E_2} E \left(\frac{dN}{dE} \right)_{\Delta T} dE \quad \text{en hommes-sieverts}$$

(dN/dE)dE individus exposés à une dose efficace entre E et E+dE (dans la gamme de doses entre E1 et E2) pendant la période ΔT.

Outil utile pour l'optimisation de la protection des travailleurs (en permettant d'envisager le meilleur équilibre entre des expositions relativement élevées de quelques travailleurs et des expositions plus faibles d'un plus grand nombre de travailleurs).

Peut aussi s'appliquer utilement à l'optimisation des expositions du public, ex : pour envisager les conséquences possibles du choix de différents systèmes de traitement des déchets ou de différentes options de protection en situation post-accidentelle.

Dose collective

Utiliser la **dose collective** pour prévoir des **effets sanitaires** possibles ne devrait être fait qu'avec la plus grande **prudence**.

- Ne remplace pas une étude épidémiologique. Le cas échéant, elle doit être considérée **dans son contexte** et **en relation avec les taux de base** de mortalité dans la population.
- Diviser une population en groupes homogènes dans **la géographie**, **le temps** et les niveaux de dose. Reconnaître les **incertitudes** dans l'évaluation des expositions du public.

[Publication 101]

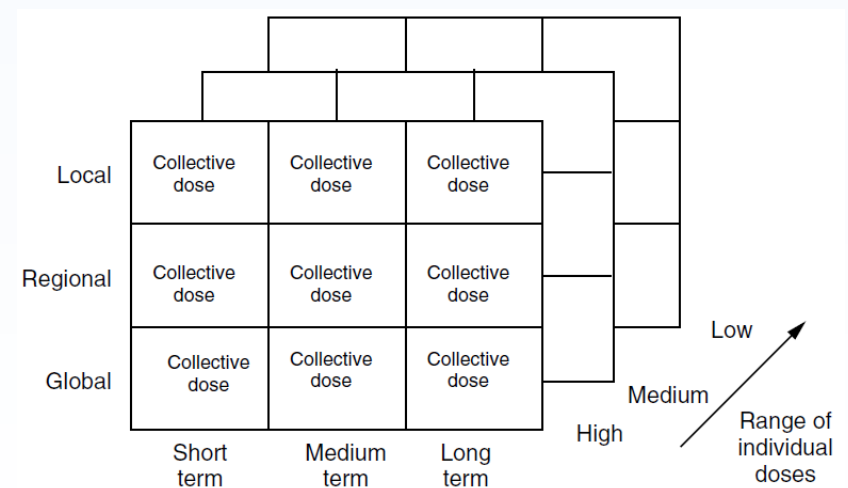


Fig. 4.1. Illustration of a collective dose matrix.

Application à l'imagerie médicale

Utilisation des indicateurs dosimétriques mesurables

- **radiologie conventionnelle** : produit dose.surface (PDS, cGy.cm^2) ou dose à la surface d'entrée (De, mGy)
- **mammographie** : dose à l'entrée (De, mGy) ou dose moyenne à la glande (DMG, mGy)
- **radiologie dentaire** : produit dose.surface (PDS, cGy.cm^2)
- **scanographie** : indice de dose scanographique du volume (IDSV, mGy) et produit dose.longueur (PDL, mGy.cm)
- **médecine nucléaire** : activité administrée (MBq)

Préférée à la dose efficace pour

- enregistrement des doses patients
- comparaison de différentes machines, procédures, services pour un même examen
- établissement de niveaux de référence diagnostiques (NRD)*
- optimisation d'une technique d'imagerie

* cf : Roch P, Célier D. Analyse des données relatives à la mise à jour des niveaux de référence diagnostiques en radiologie et en médecine nucléaire. Bilan 2013-2015. Rapport IRSN, 2016

Application à l'imagerie médicale

Tableau 5.1: Valeurs typiques de dose efficace (mSv) estimées dans 3 pays pour des examens usuels chez l'adulte

[Rapport du TG79]

Examen	UK	USA	Russie
Radiologie conventionnelle			
Thorax de face (PA)	0,014	0,03	0,1
Thorax de profil	0,038	0,07	0,18
Rachis lombaire de face (AP)	0,39	2,0	0,6
Rachis lombaire de profil	0,21	2,0	0,6
Abdomen de face (AP)	0,43	0,7	1,0
Bassin de face (AP)	0,28	1,25	0,7
Radiologie interventionnelle			
Coronarographie	3,9	15	15
Angiographie fémorale	2,3	7	5-10
Scanographie			
Tête	1,8	2,1	1,8
Thorax	14	11	6,3
Abdomen	16		9
Abdomen + pelvis	13	17	
Thorax + abdomen + pelvis	19	29	25
Médecine nucléaire			
Scintigraphie osseuse (^{99m}Tc)	3	5	3
TEP (^{18}F FDG)	7	10	5



Application à l'imagerie médicale

[Rapport du TG79]

Dose efficace utile pour

- comparer des techniques qui exposent des **régions du corps différentes**
- fournir un indicateur pour classer les procédures médicales en grandes catégories de risque radiologique, à des fins de **communication avec patients et praticiens**
- aider les décisions concernant
 - la **justification** des procédures médicales
 - la planification de l'exposition des volontaires en **recherche** biomédicale et des **accompagnants**
 - l'évaluation initiale d'une **exposition involontaire**

Application à l'imagerie médicale

[Rapport du TG79]

Tableau 5.2 : Niveaux de dose et terminologie pour différents examens médicaux

Dose efficace (mSv)	Risque de cancer	Terme proposé	Exemples de procédures médicales entrant dans les différentes catégories de dose *
< 0,1		négligeable	radiographies du thorax, d'un membre, du cou, dentaire; lymphoscintigraphie au ^{99m}Tc , marquage ^{14}C et ^{57}Co pour mesure in vitro
0,1–1	déduit de modèles de risque LSS	minime	radiographie de la colonne vertébrale, du bassin, de la tête, de la colonne cervicale; marquage au ^{51}Cr pour mesure in vitro; scintigraphie rénale ou pulmonaire de ventilation au ^{99m}Tc
1–10		très faible	repas baryté, scanographie de la tête, lavement baryté, angiographie cardiaque, radiologie interventionnelle; scintigraphie de perfusion du myocarde, scintigraphie pulmonaire de perfusion, scintigraphie osseuse, scintigraphie des cavités cardiaques pendant une épreuve d'effort et tomographie d'émission monophotonique (TEMP) avec ^{99m}Tc ; imagerie par ^{18}F , ^{123}I , et ^{111}In

Application à l'imagerie médicale

[Rapport du TG79]

Tableau 5.2 : Niveaux de dose et terminologie pour différents examens médicaux

Dose efficace (mSv)	Risque de cancer	Terme proposé	Exemples procédures médicales entrant dans les différentes catégories de dose *
10–100	déduit de modèles de risque LSS	faible	scanographie du thorax, de l'abdomen et du pelvis, scanner double énergie, radiologie interventionnelle; scintigraphie du myocarde au ^{201}Tl , scintigraphie au ^{67}Ga ; actes diagnostiques multiples, réparation endovasculaire d'anévrisme (10-35 mSv) angioplastie rénale, angioplastie iliaque, suivi de réparation endovasculaire d'anévrisme (35-100 mSv)
100s	$>10^{-2}$ basé sur observations épidémiologiques	modéré	procédures multiples et suivi

* Pour des patients adultes. Les doses efficaces sont basées sur des données médicales britanniques et CIPR.

Niveaux de dose et terminologie UNSCEAR

UNSCEAR 2012 annex A : Attributing health effects to ionizing radiation exposure and inferring risks

Table 1: Terminology for bands of radiation dose used in this report

<i>Terminology for dose bands</i>	<i>Range of absorbed dose for low-LET radiation^{a, b}</i>	<i>Scenarios</i>
High	Greater than about 1 Gy	Typical dose (whole or partial body) to individuals after severe radiation accidents or from radiotherapy
Moderate	About 100 mGy to about 1 Gy	Doses to about 100,000 of the recovery operation workers after the Chernobyl accident (annex D [U14])
Low	About 10 to about 100 mGy ^c	Dose to an individual from multiple whole-body computerized tomography (CT) scans
Very low	Less than about 10 mGy	Dose to an individual dose from conventional radiology (i.e. without CT or fluoroscopy)

Mise en perspective des expositions

Quelle quantité de rayonnement ?

Voici la dose de rayons X reçue par type d'examen.



IRM* ou Échographie*	_____
= 0 cliché pulmonaire = 0 jour de rayonnement naturel	←
A. Radiographie d'un membre	_____
= 0,2 cliché pulmonaire = 1,5 jour de rayonnement naturel	←
B. Panoramique dentaire	_____
= 0,5 cliché pulmonaire = 4 jours de rayonnement naturel	←
C. Radiographie pulmonaire	_____
= 1 cliché pulmonaire = 7 jours de rayonnement naturel	←
D. Mammographie	_____
= 3 clichés pulmonaires = 20 jours de rayonnement naturel	←
E. Scanner du crâne	} _____
F. Radiographie de l'abdomen	
= 40 clichés pulmonaires = 300 jours de rayonnement naturel	←
G. Un an de rayonnement naturel	_____
= 50 clichés pulmonaires = 365 jours de rayonnement naturel	←
H. Scanner du thorax	_____
= 120 clichés pulmonaires = 900 jours de rayonnement naturel	←
I. Scanner abdominopelvien	_____
= 200 clichés pulmonaires = 1 500 jours de rayonnement naturel	←

brochure IRSN/AVIAM "Radiographie et scanner, posons-nous les bonnes questions"



Merci à Dominique Laurier et à John Harrison pour leur aide dans la préparation de cette présentation

Merci de votre attention

www.icrp.org

www.icrp.org

Dose engagée

- E est en général calculée pour des expositions annuelles : dose externe reçue dans l'année + dose interne engagée, c.à.d. intégrée sur 50 ans (ou jusqu'à 70 ans pour les enfants), suite aux incorporations de l'année en cours.

Ex : fractions de dose efficace engagée reçues au cours du temps après incorporation

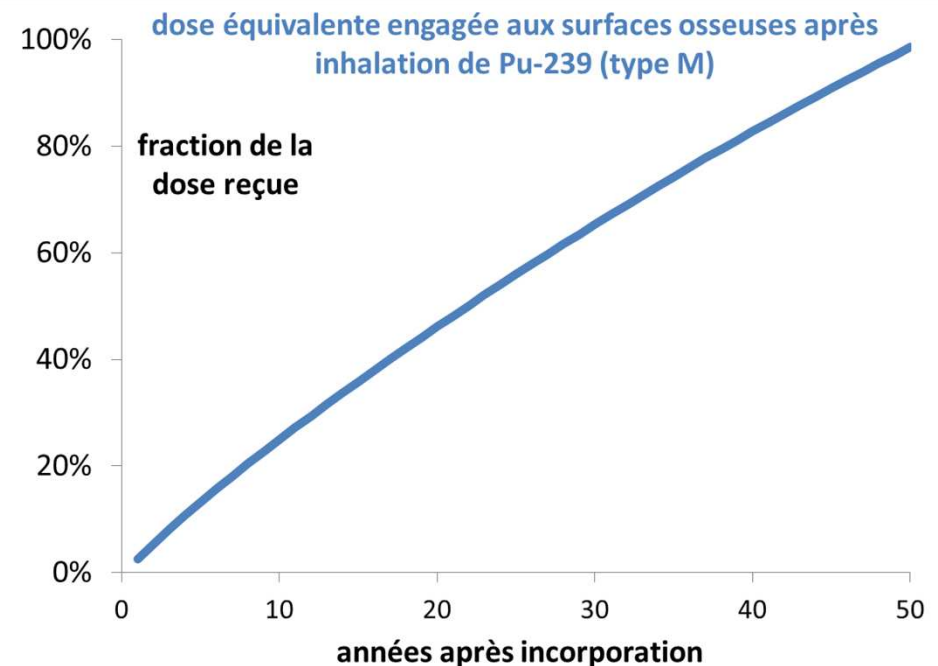
ingestion I-131

temps	1 semaine	1 mois	1 an
fraction	54%	100%	100%

inhalation nitrate Pu-239

dose	1 an	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans
fraction	10%	34%	53%	72%	100%

Pour la majorité des radionucléides, l'essentiel de la dose engagée est délivrée dans l'année. Mais la dose engagée permet de prendre en compte de façon pratique les expositions à long terme résultant de l'incorporation de certains radionucléides.

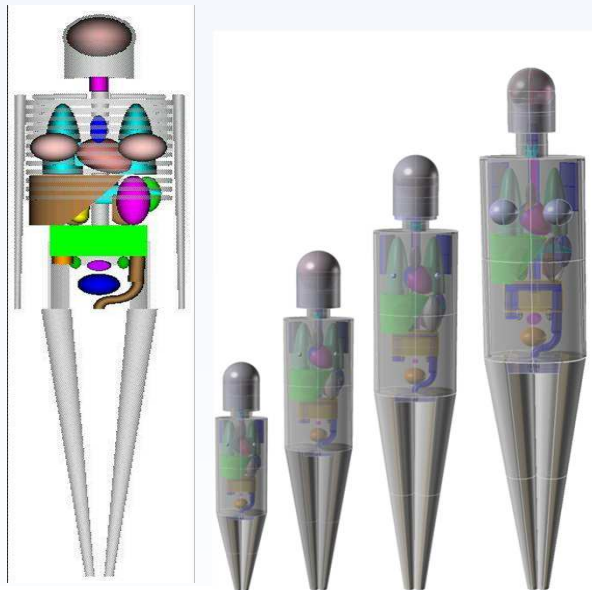


Calcul de la dose efficace

En utilisant des coefficients de dose

- pour le diagnostic en médecine nucléaire

Avec fantômes stylisés, modèles biocinétiques non recyclants, w_T de la *publication 60* et formalisme du Medical Internal Radiation Dose (MIRD) Committee of the United States Society of Nuclear Medicine



C.9.3. Biokinetic data for ^{18}F -FDG

Organ (S)	F_s	T (h)	a	$\tilde{A}_s/A_0(\text{h})$
Brain	0.08	∞	1.0	0.21
Heart wall	0.04	∞	1.0	0.11
Lungs	0.03	∞	1.0	0.079
Liver	0.05	∞	1.0	0.13
Other organs and tissues	0.80	0.20	0.075	1.7
		1.5	0.225	
		∞	0.70	
Urinary bladder contents	0.24			
<i>Adult, 15 years, 10 years</i>				0.26
<i>5 years</i>				0.23
<i>1 year</i>				0.16

Coefficients de dose efficace par activité administrée d'une soixantaine de composés radiopharmaceutiques (radionucléides + vecteurs) à des patients enfants et adultes (*publications 128*).

Révision en cours par TG 36 suivant les recommandations de la *publication 103*.

Doses efficaces pour des examens usuels (France)

C. Etard, B. Aubert. Exposition de la population française aux rayonnements ionisants liée aux actes de diagnostic médical en 2012. Rapport IRSN, 2014

ANNEXE 1

Liste des codes et libellés des actes retenus dans l'étude, présentés par modalité d'imagerie et par zone anatomique explorée.

Valeur et origine de la dose efficace moyenne associée à ces actes.

zone anatomique explorée	code CCAM	Libellé de l'acte	E / acte (mSv)	Origine de E
RADIOLOGIE CONVENTIONNELLE				
Tête	LAQK005	Radiographie du crâne et/ou du massif facial selon 3 incidences ou plus	0,08	Procédure SFR + Bilan NRD
	LAQK003	Radiographie du crâne et/ou du massif facial selon 1 ou 2 incidences	0,04	Procédure SFR + Bilan NRD
	LBQK001	Tomographie unilatérale ou bilatérale de l'articulation temporomandibulaire	0,5	Etude IRSN
	HCQH001	Sialographie	0,5	Procédure SFR
	BBQH001	Lacrymo-dacryo-cystographie unilatérale ou bilatérale	0,5	idem supra
	LBQK005	Radiographie unilatérale ou bilatérale de l'articulation temporomandibulaire	0,012	rapport NRPB W4
Cou	LDQK002	Radiographie du segment cervical de la colonne vertébrale selon 3 incidences ou plus	0,3	Procédure SFR