

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Evolution des modèles de calcul des doses de rayonnement

François Paquet
IRSN

Comment calcule t'on une dose ? (rappel)

La méthode utilisée en dosimétrie interne

Incorporation

Incorporation → **Dépôt dans les tissus**

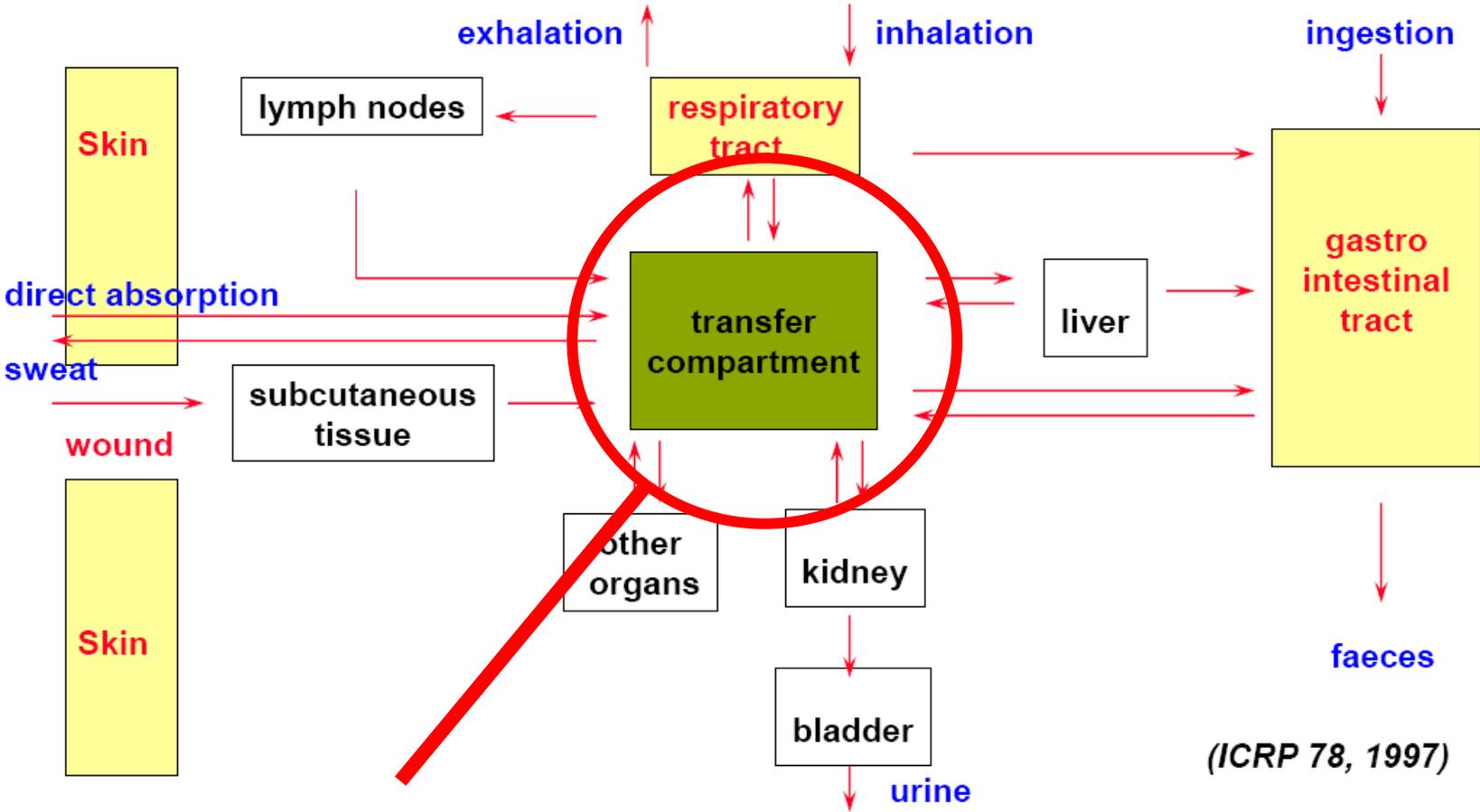
Modèles biocinétiques

Incorporation



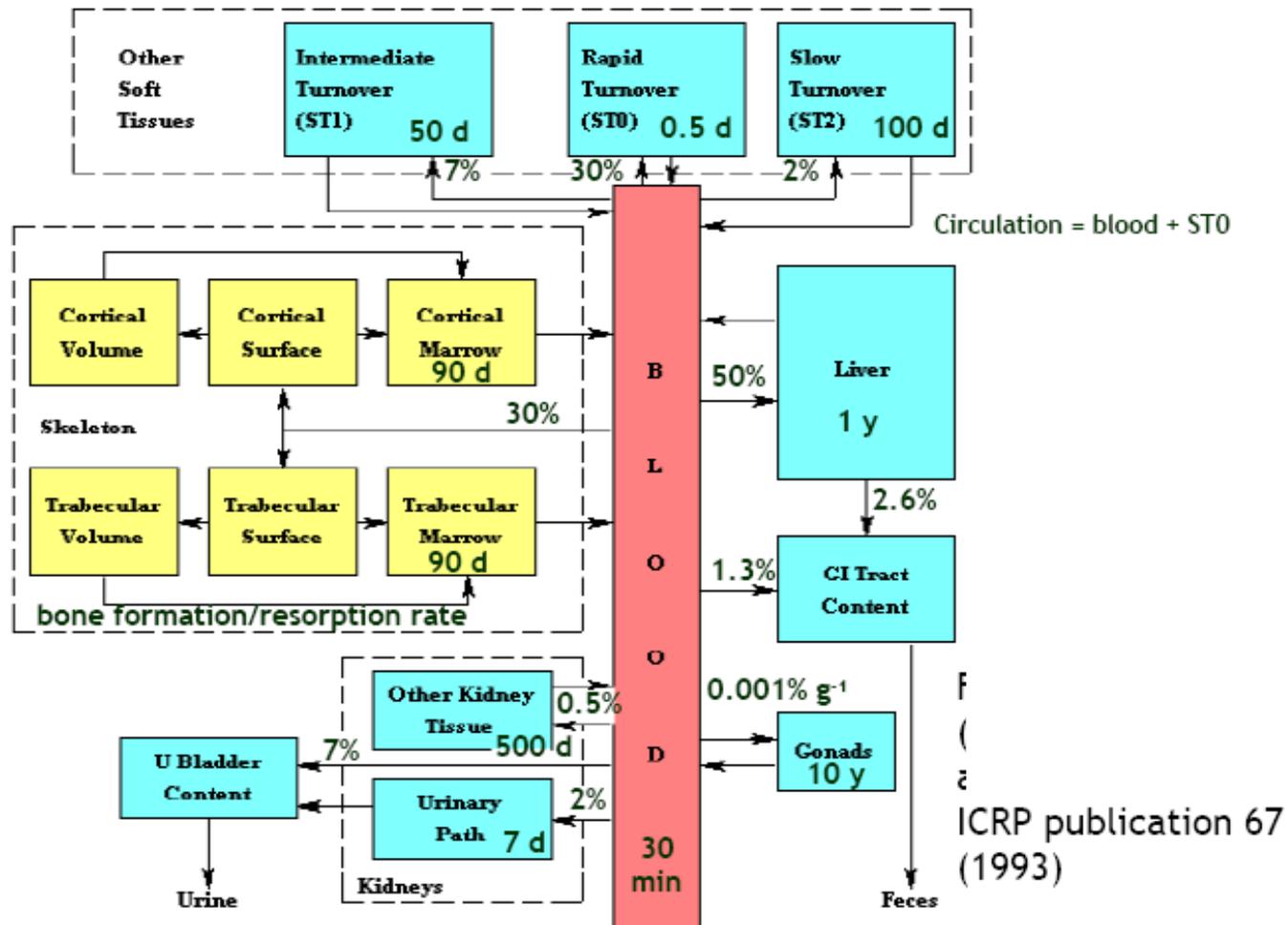
Dépôt dans
les tissus

Modèle biocinétique générique

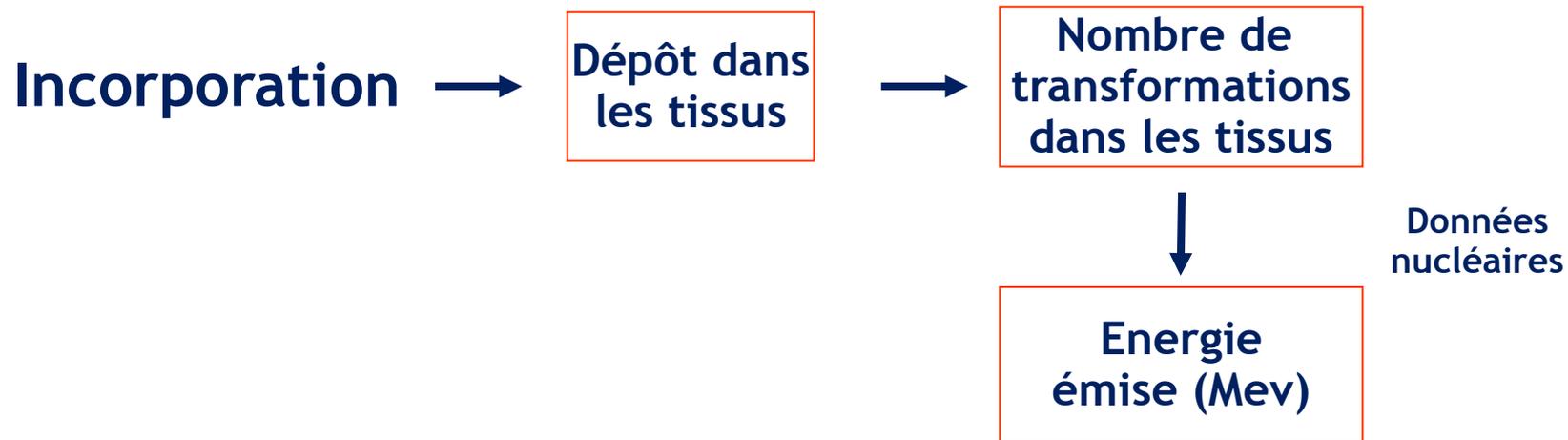


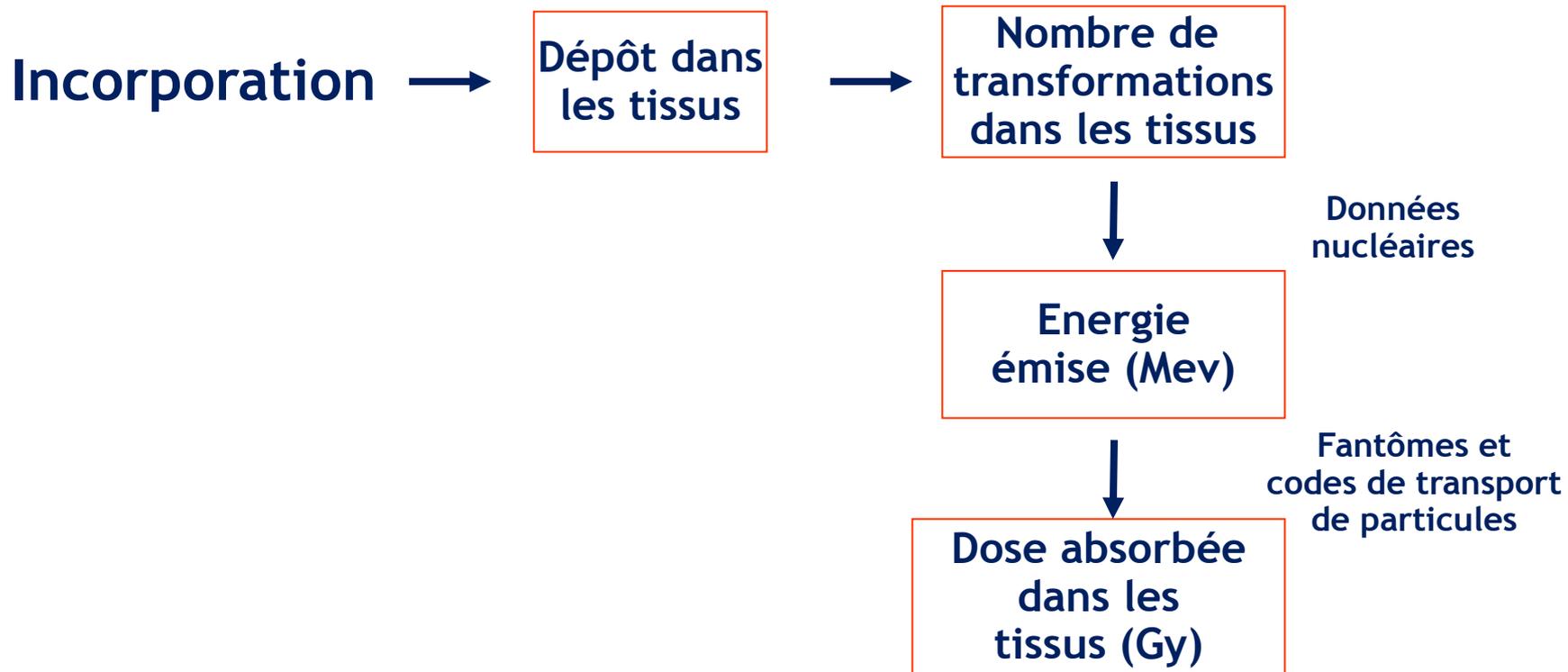
Les modèles systémiques

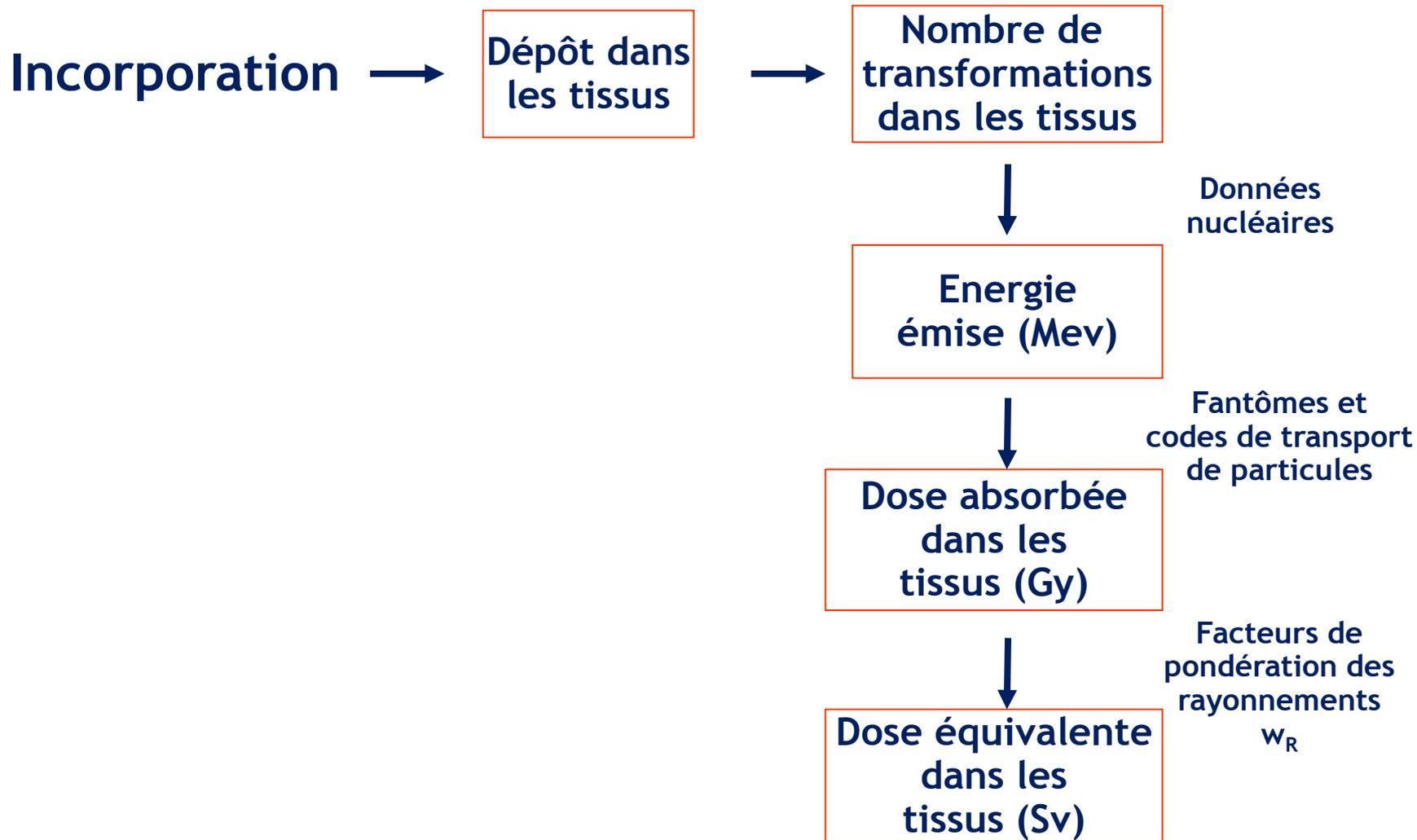
Structure du modèle humain de l'américium

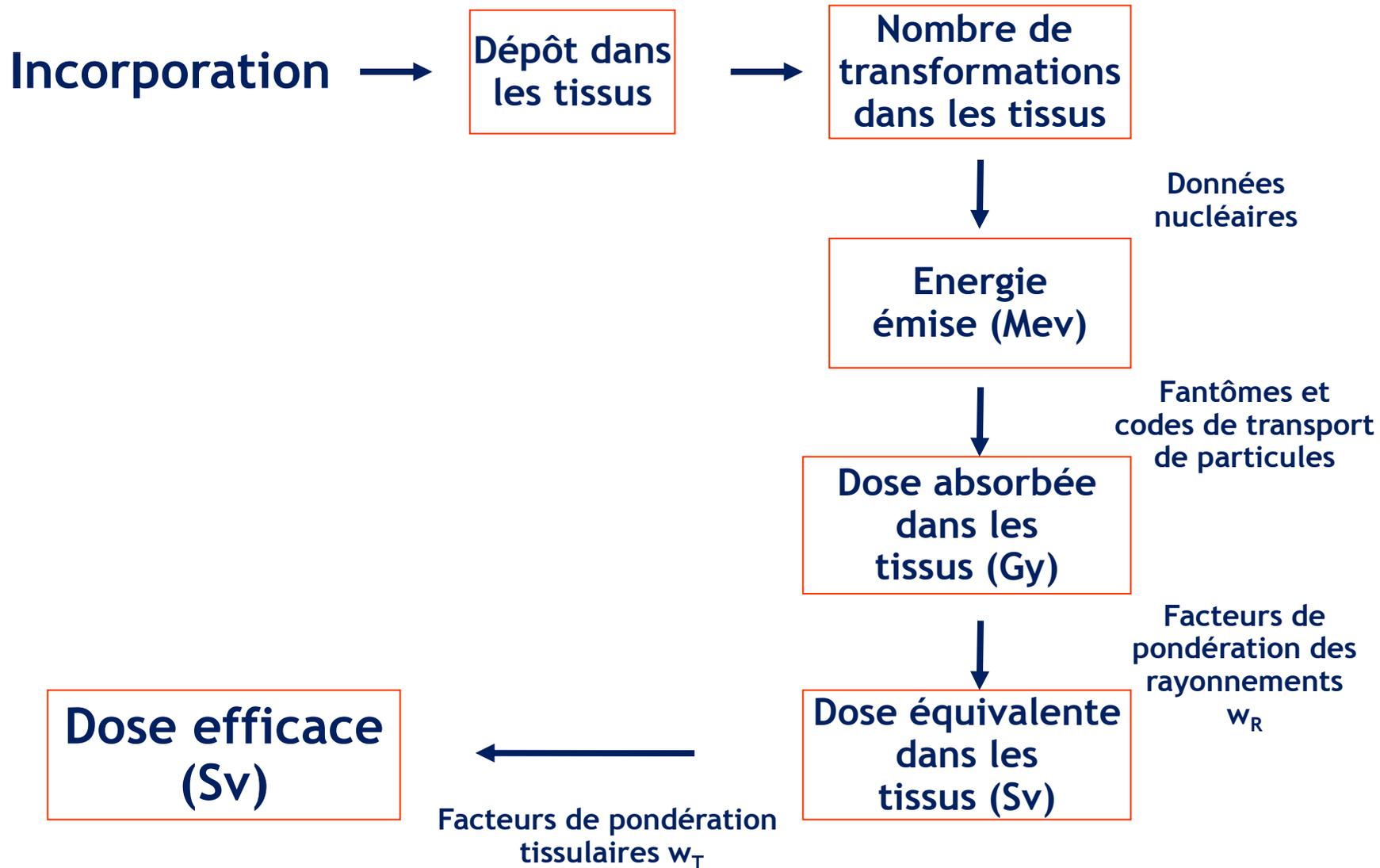












Incorporation →

Dépôt dans les tissus



Nombre de transformations dans les tissus

Modèles dosimétriques



Données nucléaires

$$\bar{D}(r_T, T_P, G, T_C) = \sum_{r_S} \int_0^{T_C} A(r_S, T_P + \tau, G) S(r_T \leftarrow r_S, T_P + \tau, G) d\tau$$

$$\bar{d}(r_T, T_P, G, T_C) = \sum_{r_S} \int_0^{T_C} a(r_S, T_P + \tau, G) S(r_T \leftarrow r_S, T_P + \tau, G) d\tau$$

$$S(r_T \leftarrow r_S, T_P, G) = \sum_i E_i Y_i \Phi(r_T \leftarrow r_S, T_P, G, E_i)$$

Facteurs de pondération et de transport de particules

Facteurs de pondération des rayonnements w_R

Dose efficace (Sv)



Facteurs de pondération tissulaires w_T

Dose équivalente dans les tissus (Sv)

Modèles biocinétiques

Incorporation

Dépôt dans les tissus

Nombre de transformations dans les tissus

Modèles dosimétriques

Données nucléaires

Énergie émise (MeV)

Fantômes et codes de transport de particules

Dose absorbée dans les tissus (Gy)

Facteurs de pondération des rayonnements w_R

Dose efficace (Sv)

Dose équivalente dans les tissus (Sv)

Facteurs de pondération tissulaires w_T

Une simplification nécessaire

Procédure complexe, peu accessible

La CIPR a défini des outils afin de permettre aux non- spécialistes de définir la dose reçue après contamination interne

Incorporation

Dépôt dans les tissus

Nombre de transformations dans les tissus

Données nucléaires

Energie émise (Mev)

Fantômes et codes de transport de particules

Dose absorbée dans les tissus (Gy)

Facteurs de pondération des rayonnements w_R

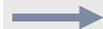
Dose équivalente dans les tissus (Sv)

Facteurs de pondération tissulaires w_T

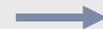
DPUI

Dose efficace (Sv)

Incorporation



Dépôt dans les tissus



Nombre de transformations dans les tissus



Données
aires

Type	F	M	S
DPUI μSv/Bq	0.6	2.1	6.8

mes et transport
ticules

Pour ²³⁴U

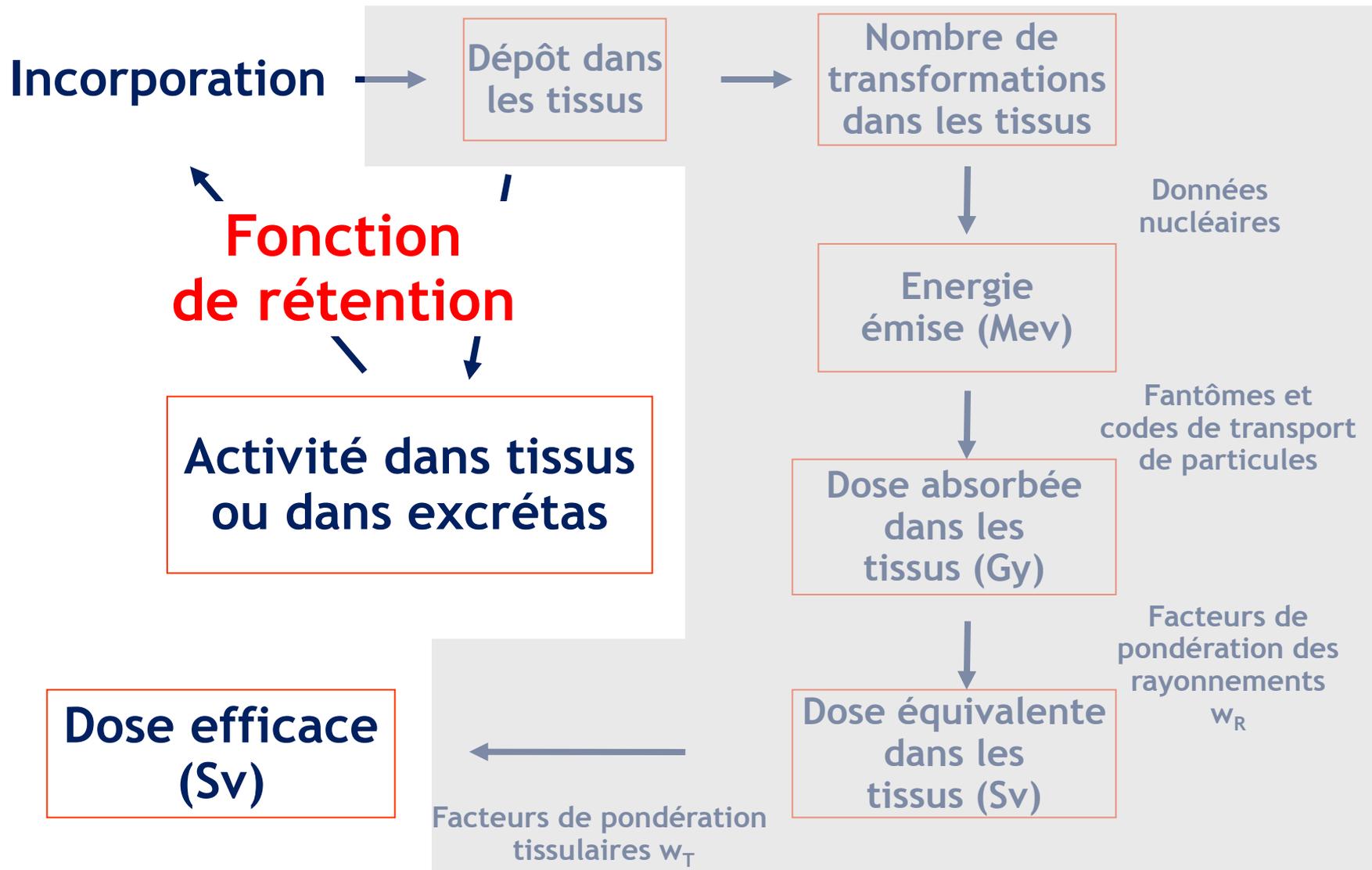
urs de
tion des
ements
/R

Dose efficace (Sv)

Incorporation x DPUI = dose

Facteurs de pondération tissulaires w_T

tissus (Sv)



$$\text{Bq inhalés} = \text{Bq mesurés} \times 10^5$$

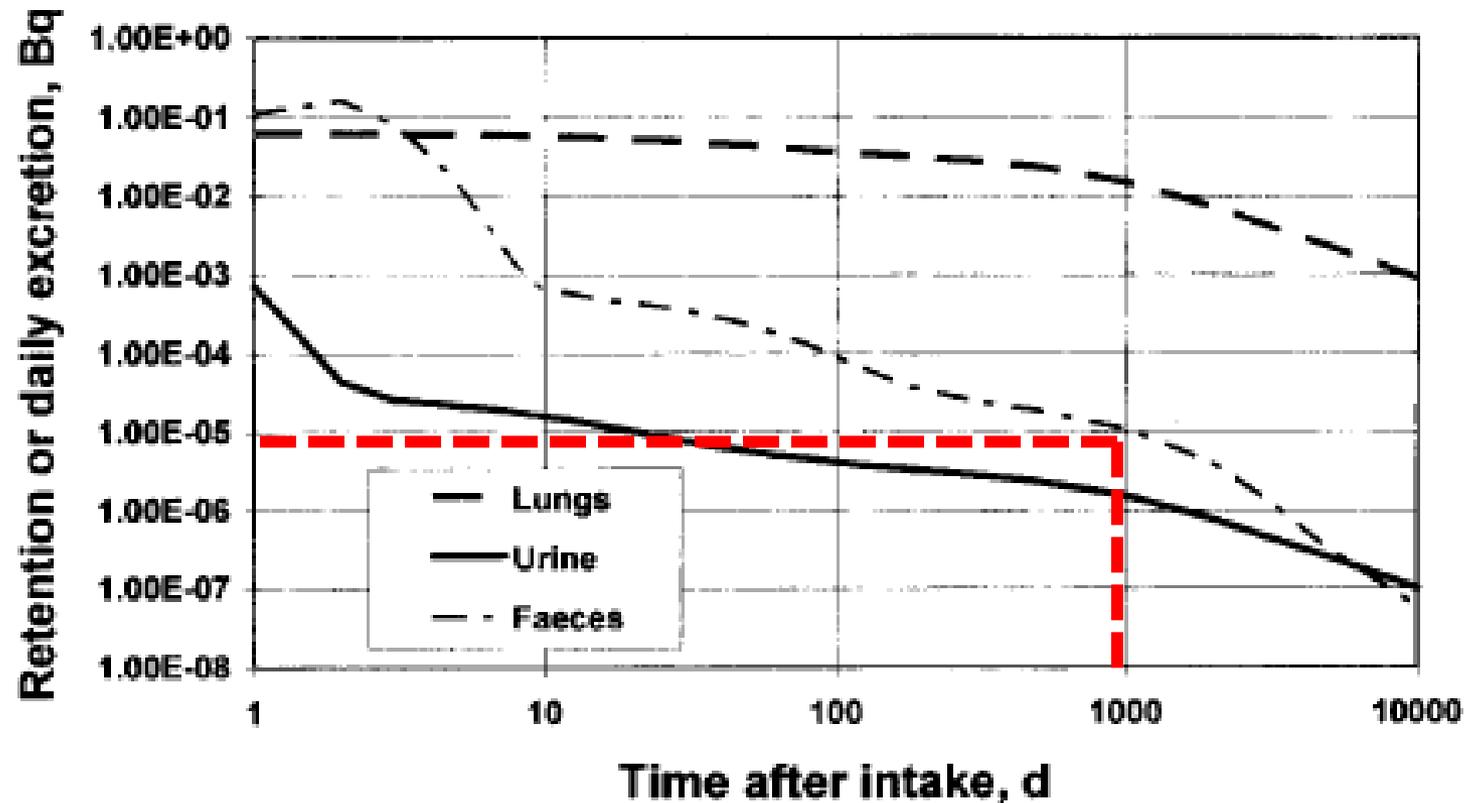
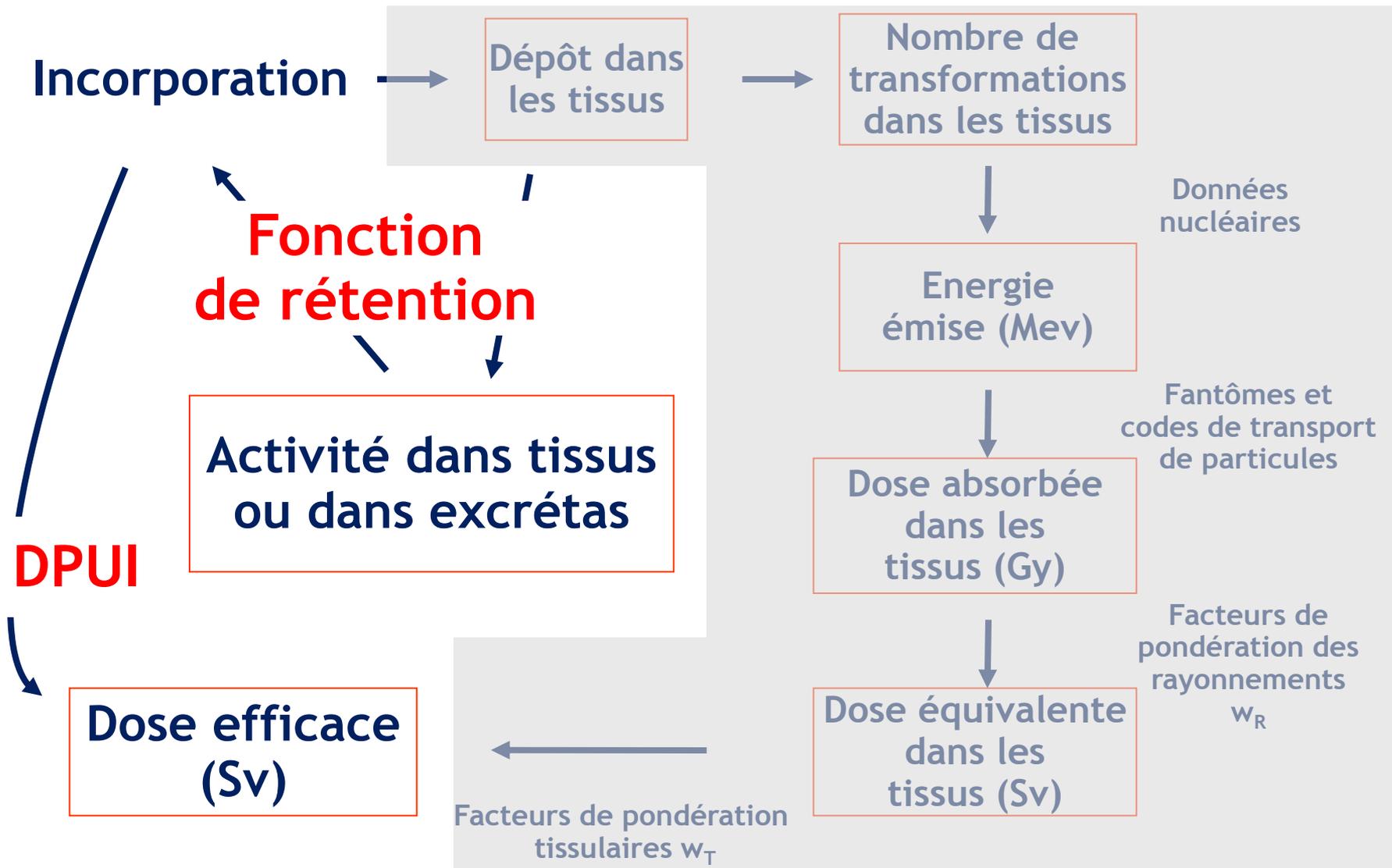


Fig. A.10.3. ^{234}U Inhalation Type S: predicted values (Bq per Bq intake) following acute intake.



Les publications passées de la CIPR sur ce sujet

Pour les travailleurs

Publication 30 (ICRP, 1979, 1980, 1981, 1988)

Coefficients de dose et LAI pour inhalation et ingestion.

Fondés sur publication sur homme de référence (Publication 23, 1975) et Recommandations de 1977 (Publication 26, 1977).

Publication 68 (ICRP, 1994)

MAJ des coefficients de dose selon les recommandations de 1991 (Publication 60, 1991), HRTM (Publication 66, 1994), nouvelles données sur squelette (Publication 70, 1995) et quelques modèles systémiques révisés. Suppression des LAI

Publications 54 et 78 (ICRP, 1988, 1997)

Guide pour la mise en place de programmes de surveillance et pour l'interprétation des mesures après inhalation et ingestion. Fournit des coefficients de dose et fonctions de rétention

Les publications passées de la CIPR sur ce sujet

Pour les membres du public

Publications 56, 67, 69, 71 and 72 (ICRP, 1989, 1993, 1995)

Coefficients de dose selon l'âge après inhalation et ingestion pour 91 éléments. Fondés sur les derniers modèles biocinétiques et les dernières recommandations

Publications 88 and 95 (2001,2004)

Dose aux embryons/foetus et nouveaux nés

AGE-DEPENDENT DOSES FROM INTAKE OF RADIONUCLIDES

17

Table A.1.—(continued)

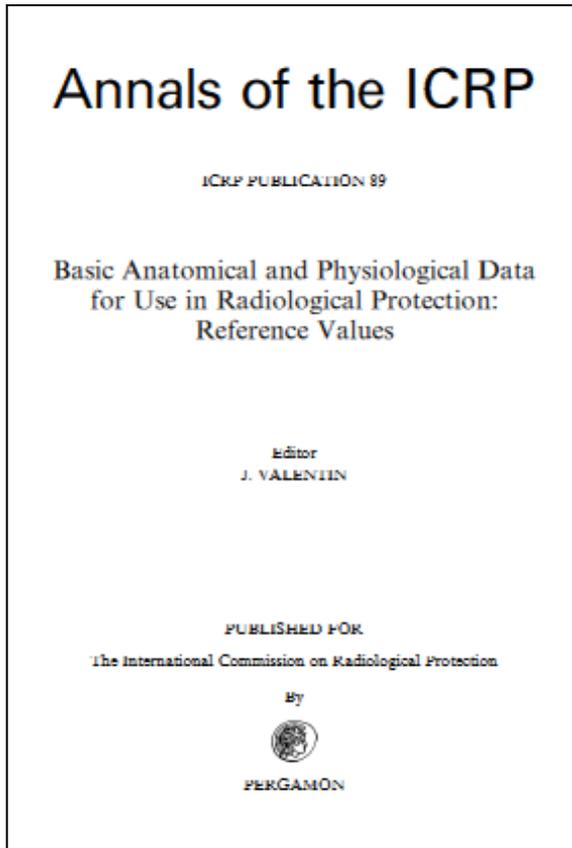
Nuclide	Physical half-life	f_1		$e(\tau)$		$e(\tau)$			
		<1y	3 months	>1y	1 Year	5 Years	10 Years	15 Years	Adult
Chromium									
Cr-48	23.0 h	0.200	1.4E-09	0.100	9.9E-10	5.7E-10	3.8E-10	2.5E-10	2.0E-10
		0.020	1.4E-09	0.010	9.9E-10	5.7E-10	3.8E-10	2.5E-10	2.0E-10
Cr-49	0.702 h	0.200	6.8E-10	0.100	3.9E-10	2.0E-10	1.1E-10	7.7E-11	6.1E-11
		0.020	6.8E-10	0.010	3.9E-10	2.0E-10	1.1E-10	7.7E-11	6.1E-11
Cr-51	27.7 d	0.200	3.5E-10	0.100	2.3E-10	1.2E-10	7.8E-11	4.8E-11	3.8E-11
		0.020	3.3E-10	0.010	2.2E-10	1.2E-10	7.5E-11	4.6E-11	3.7E-11

De nombreux progrès...

En physiologie et dans les modèles biocinétiques

- Nouvelles données sur l'homme de référence (ICRP 89, 2002)

De nombreux progrès...



Homme de référence



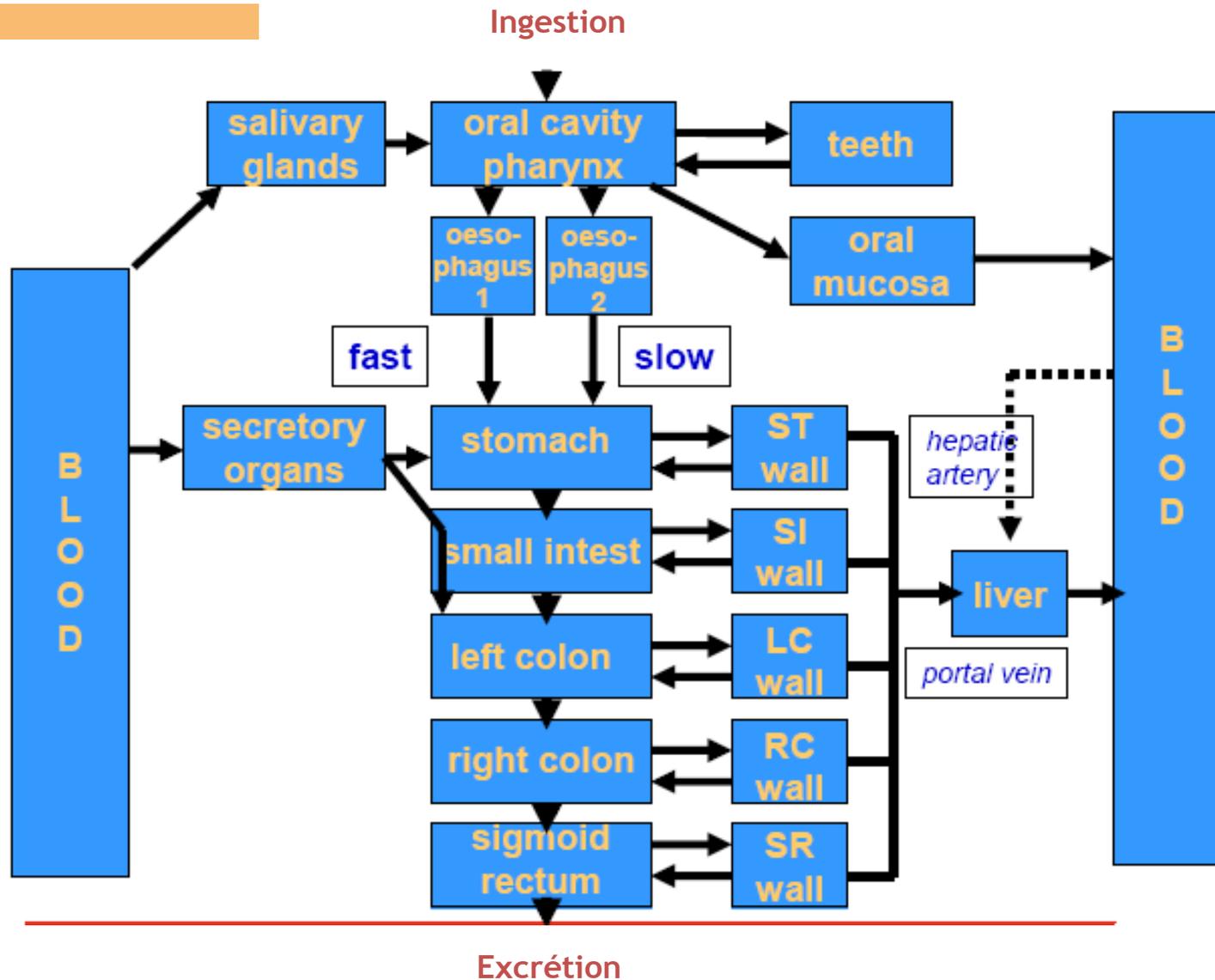
Homme et femme (et enfants)
de référence

De nombreux progrès...

En physiologie et dans les modèles biocinétiques

- Nouvelles données sur l'homme de référence (ICRP 89, 2002)
- Human Alimentary Tract Model (ICRP 100, 2006)

Le nouveau modèle alimentaire humain



De nombreux progrès...

En physiologie et dans les modèles biocinétiques

- Nouvelles données sur l'homme de référence (ICRP 89, 2002)
- Human Alimentary Tract Model (ICRP 100, 2006)
- Nouveaux modèles systémiques, plus réalistes sur le plan physiologique

Modèle systémique pour l'iode

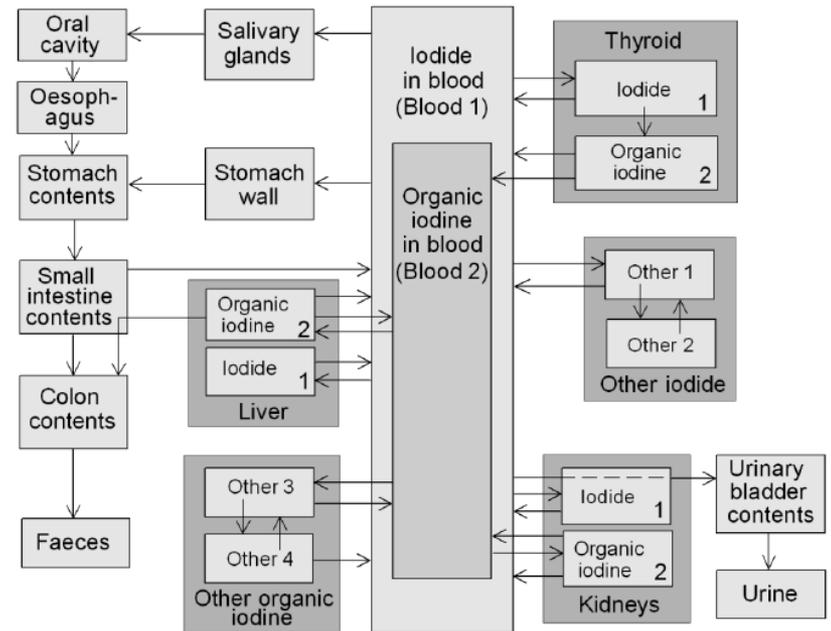
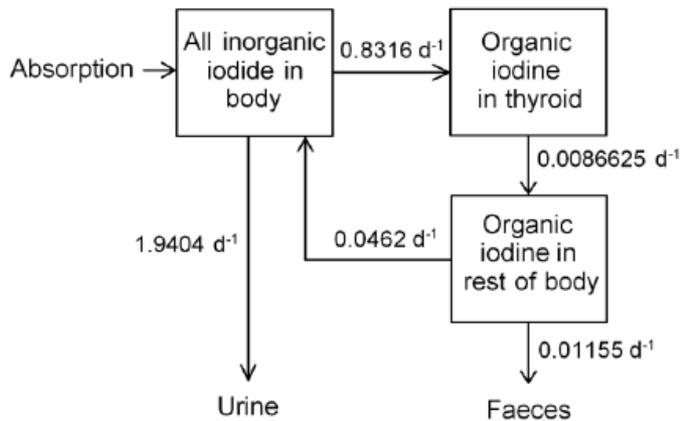


Figure 5-2. Structure of the biokinetic model for systemic iodine used in this report.

L'ancien modèle (ICRP 1994, 1997)

Le nouveau modèle

Trois compartiments :

- iode inorganique circulant
- iode organique thyroïdal
- iode organique extrathyroïdal

Modèle systémique pour le strontium

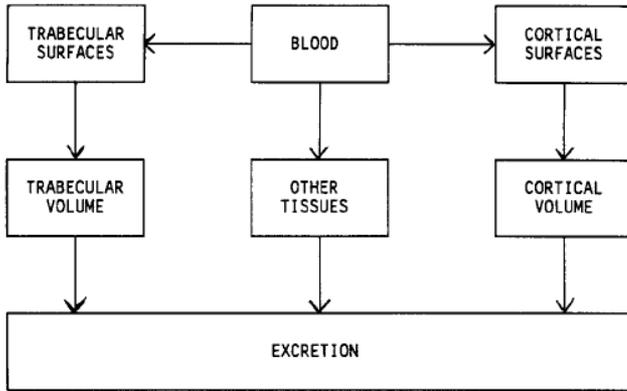


Fig. 2. Diagram of the biokinetic model for strontium.

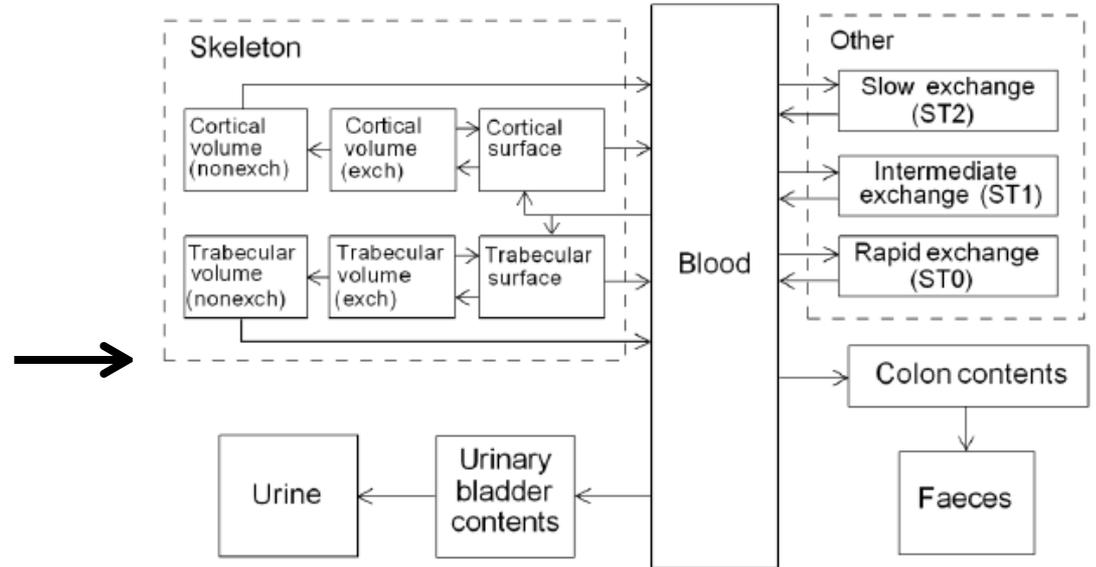


Figure 10-1. Structure of the biokinetic model for systemic strontium. Abbreviations: exch = exchangeable, nonexch = non-exchangeable.

L'ancien modèle (ICRP 1989)

Le nouveau modèle

De nombreux progrès...

En physiologie et dans les modèles biocinétiques

- Nouvelles données sur l'homme de référence (ICRP 89, 2002)
- Human Alimentary Tract Model (ICRP 100, 2006)
- Nouveaux modèles systémiques, plus réalistes sur le plan physiologique
- **Nouvelles données sur le comportement des produits de filiation**

De nombreux progrès...

En physiologie et dans les modèles biocinétiques

- Nouvelles données sur l'homme de référence (ICRP 89, 2002)
- Human Alimentary Tract Model (ICRP 100, 2006)
- Nouveaux modèles systémiques, plus réalistes sur le plan physiologique
- Nouvelles données sur le comportement des produits de filiation
- **Nouvelles données en faveur d'une MAJ du HRTM**

De nombreux progrès...

En physiologie et dans les modèles biocinétiques

- Nouvelles données sur l'homme de référence (ICRP 89, 2002)
- Human Alimentary Tract Model (ICRP 100, 2006)
- Nouveaux modèles systémiques, plus réalistes sur le plan physiologique
- Nouvelles données sur le comportement des produits de filiation
- Nouvelles données en faveur d'une MAJ du HRTM

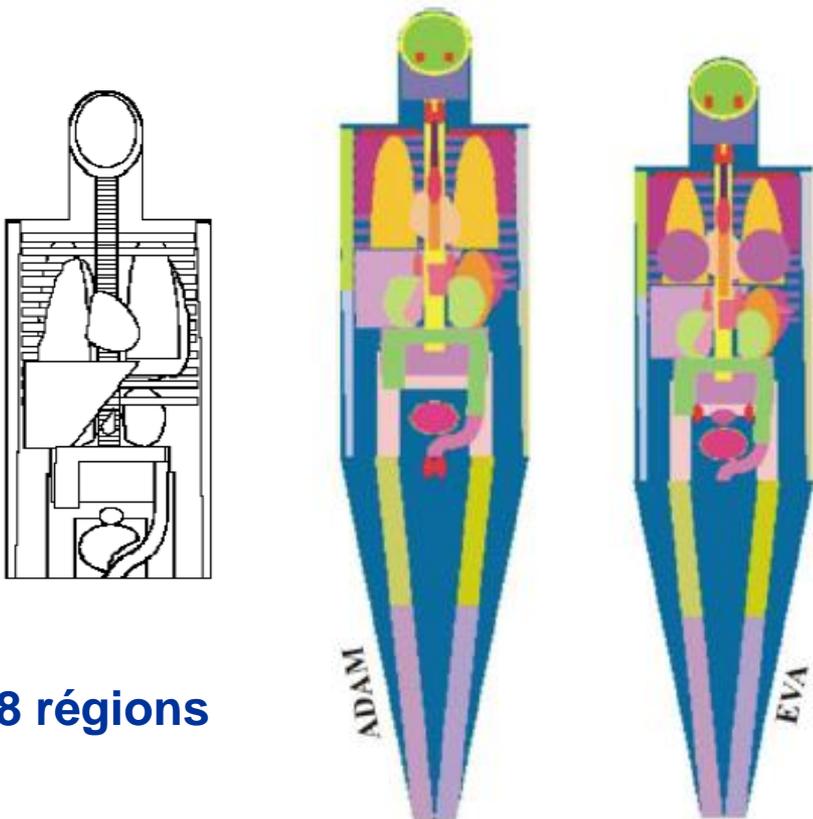
Dans les domaines de la dosimétrie et de la mesure

- Développement de nouveaux fantômes de référence ,
sur le modèle de l'homme de référence (ICRP 110, 2009)

Les modèles dosimétriques

2. Les fantômes anthropomorphes

1970 s Les fantômes mathématiques



68 régions

Taille et forme du corps et des tissus sont représentés par des équations

The brain is an ellipsoid given by

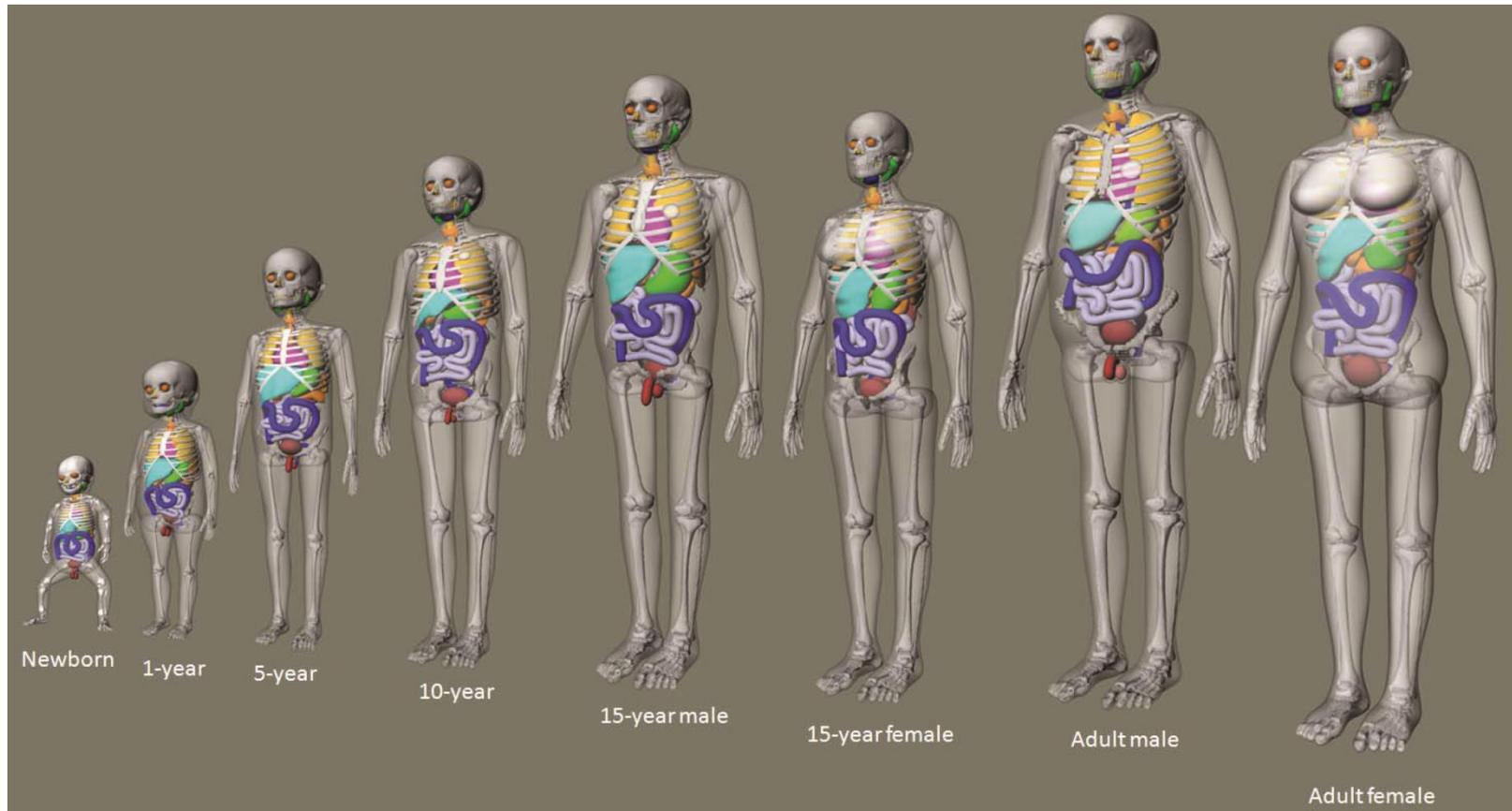
$$\left(\frac{x}{6}\right)^2 + \left(\frac{y}{9}\right)^2 + \left(\frac{z - 86.5}{6.5}\right)^2 \cong 1,$$

and the volume is 1,470 cm³ (Fig. 4).

Fantomes MIRD5 ou ADAM et EVA

Les modèles dosimétriques

2. Les fantômes anthropomorphes



De nombreux progrès...

En physiologie et dans les modèles biocinétiques

- Nouvelles données sur l'homme de référence (ICRP 89, 2002)
- Human Alimentary Tract Model (ICRP 100, 2006)
- Nouveaux modèles systémiques, plus réalistes sur le plan physiologique
- Nouvelles données sur le comportement des produits de filiation
- Nouvelles données en faveur d'une MAJ du HRTM

Dans les domaines de la dosimétrie et de la mesure

- Développement de nouveaux fantômes de référence ,
sur le modèle de l'homme de référence (ICRP 110, 2009)
- Nouvelles données sur la dosimétrie du squelette (ICRP 116, 2010)

De nombreux progrès...

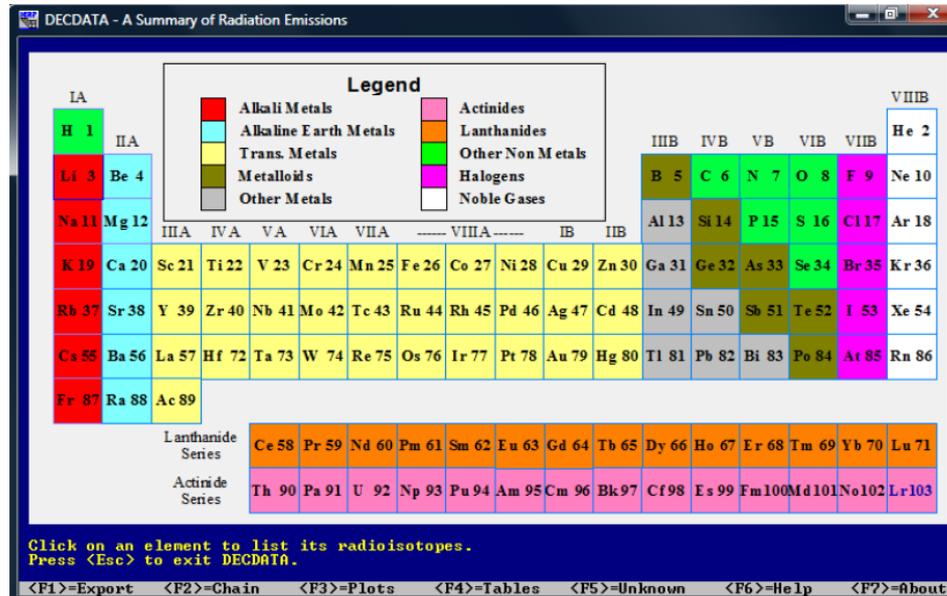
En physiologie et dans les modèles biocinétiques

- Nouvelles données sur l'homme de référence (ICRP 89, 2002)
- Human Alimentary Tract Model (ICRP 100, 2006)
- Nouveaux modèles systémiques, plus réalistes sur le plan physiologique
- Nouvelles données sur le comportement des produits de filiation
- Nouvelles données en faveur d'une MAJ du HRTM

Dans les domaines de la dosimétrie et de la mesure

- Développement de nouveaux fantômes de référence ,
sur le modèle de l'homme de référence (ICRP 110, 2009)
- Nouvelles données sur la dosimétrie du squelette (ICRP 116, 2010)
- Révision des données de décroissance radioactive (ICRP 107, 2008)

Les nouvelles données de décroissance radioactive : la CIPR 107



Révision de la publication CIPR 38 avec CD et logiciel (2008)

Schémas de décroissance, énergie et rendement des radiations émises pour 1252 radioisotopes (dont 330 périodes < 10 min) de 97 éléments

Spectres β , Auger- CK (136) et neutrons (28)

Coefficient de kerma dans l'air

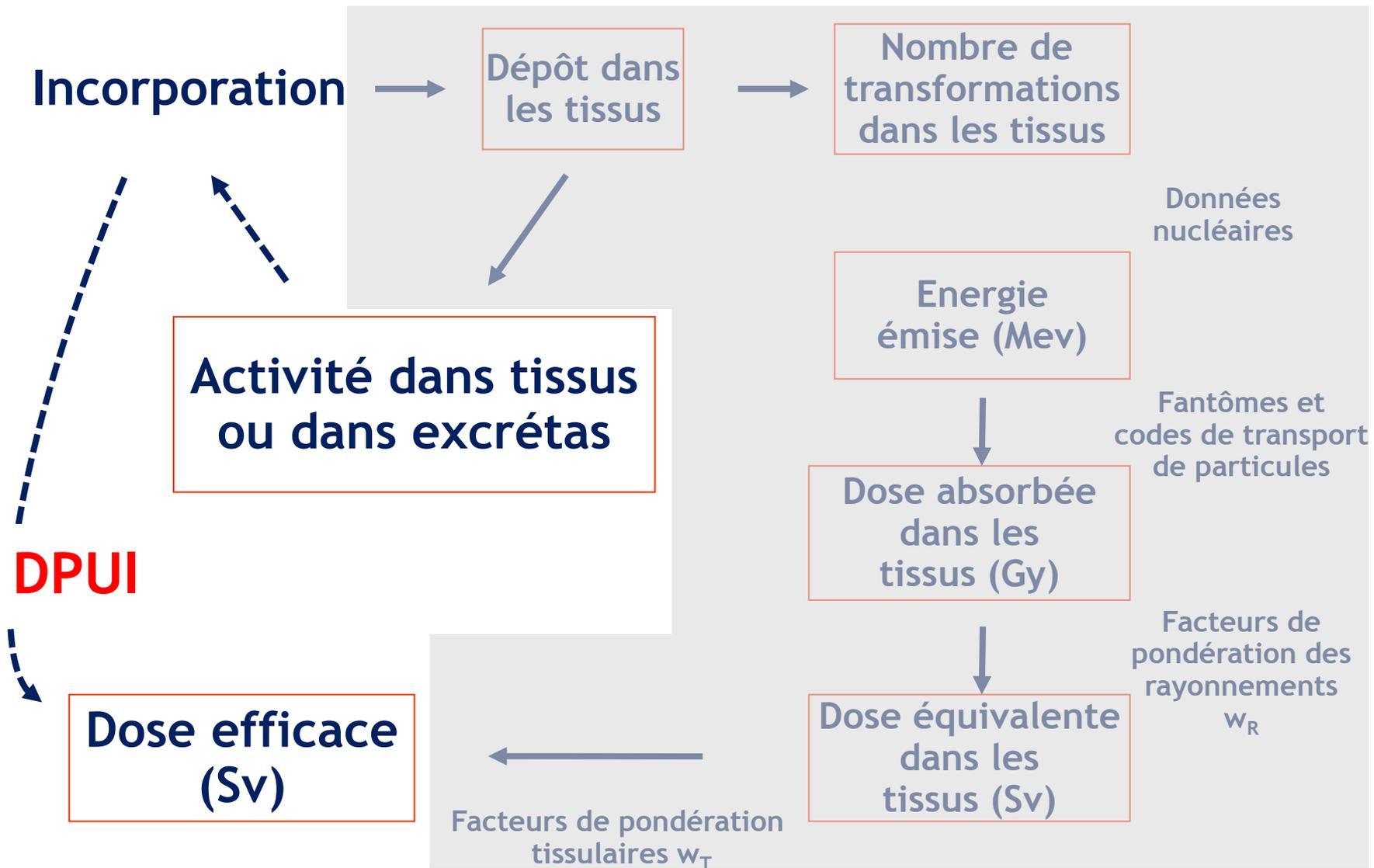
De nombreux progrès...

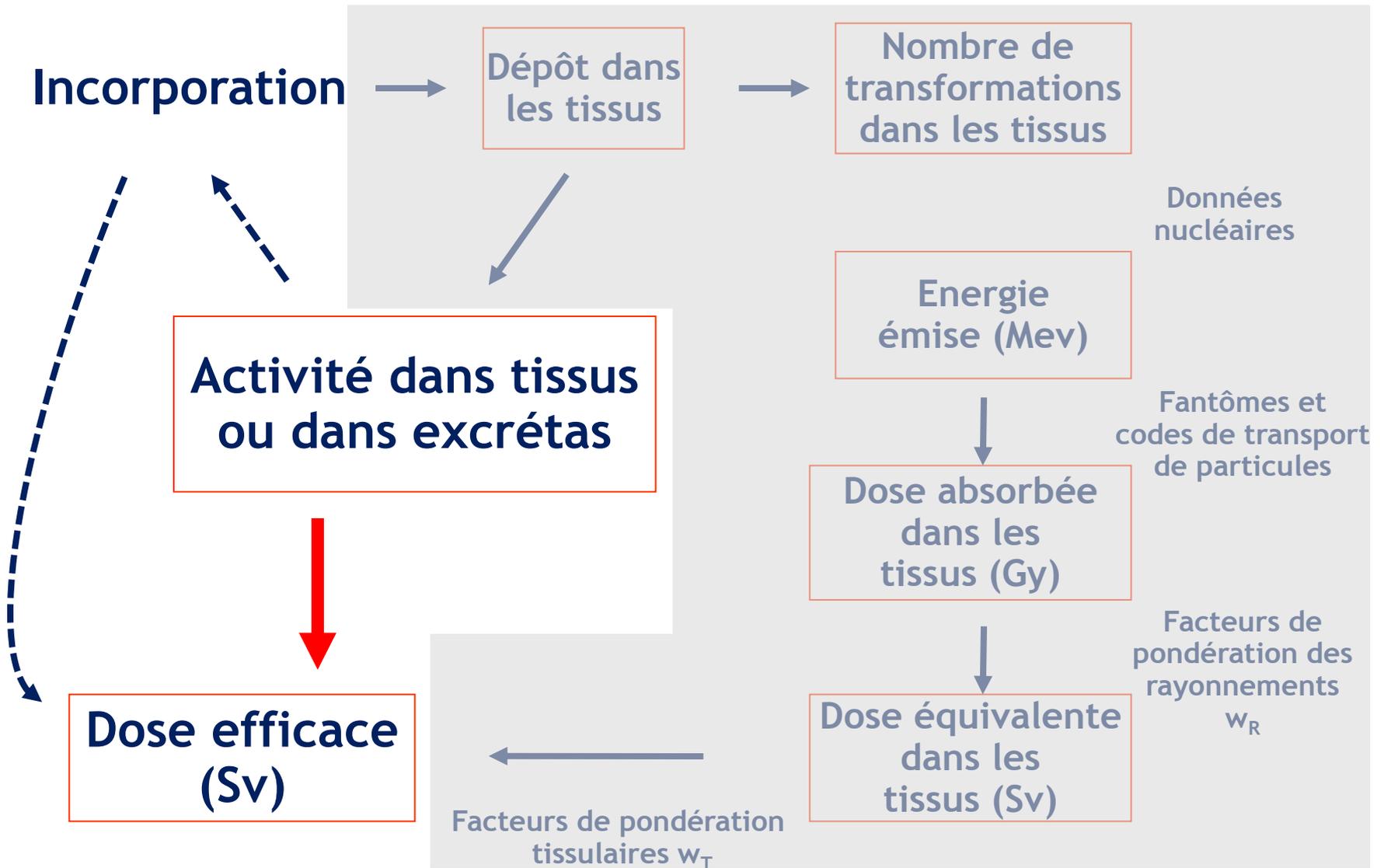
En physiologie et dans les modèles biocinétiques

- Nouvelles données sur l'homme de référence (ICRP 89, 2002)
- Human Alimentary Tract Model (ICRP 100, 2006)
- Nouveaux modèles systémiques, plus réalistes sur le plan physiologique
- Nouvelles données sur le comportement des produits de filiation
- Nouvelles données en faveur d'une MAJ du HRTM

Dans les domaines de la dosimétrie et de la mesure

- Développement de nouveaux fantômes de référence ,
sur le modèle de l'homme de référence (ICRP 110, 2009)
- Nouvelles données sur la dosimétrie du squelette (ICRP 116, 2010)
- Révision des données de décroissance radioactive (ICRP 107, 2008)
- Nouveau concept de dose par contenu





De nombreux progrès... (suite)

Dans les recommandations de la CIPR (ICRP 103, 2007)

- Adoption des nouveaux fantômes de référence

De nombreux progrès... (suite)

Dans les recommandations de la CIPR

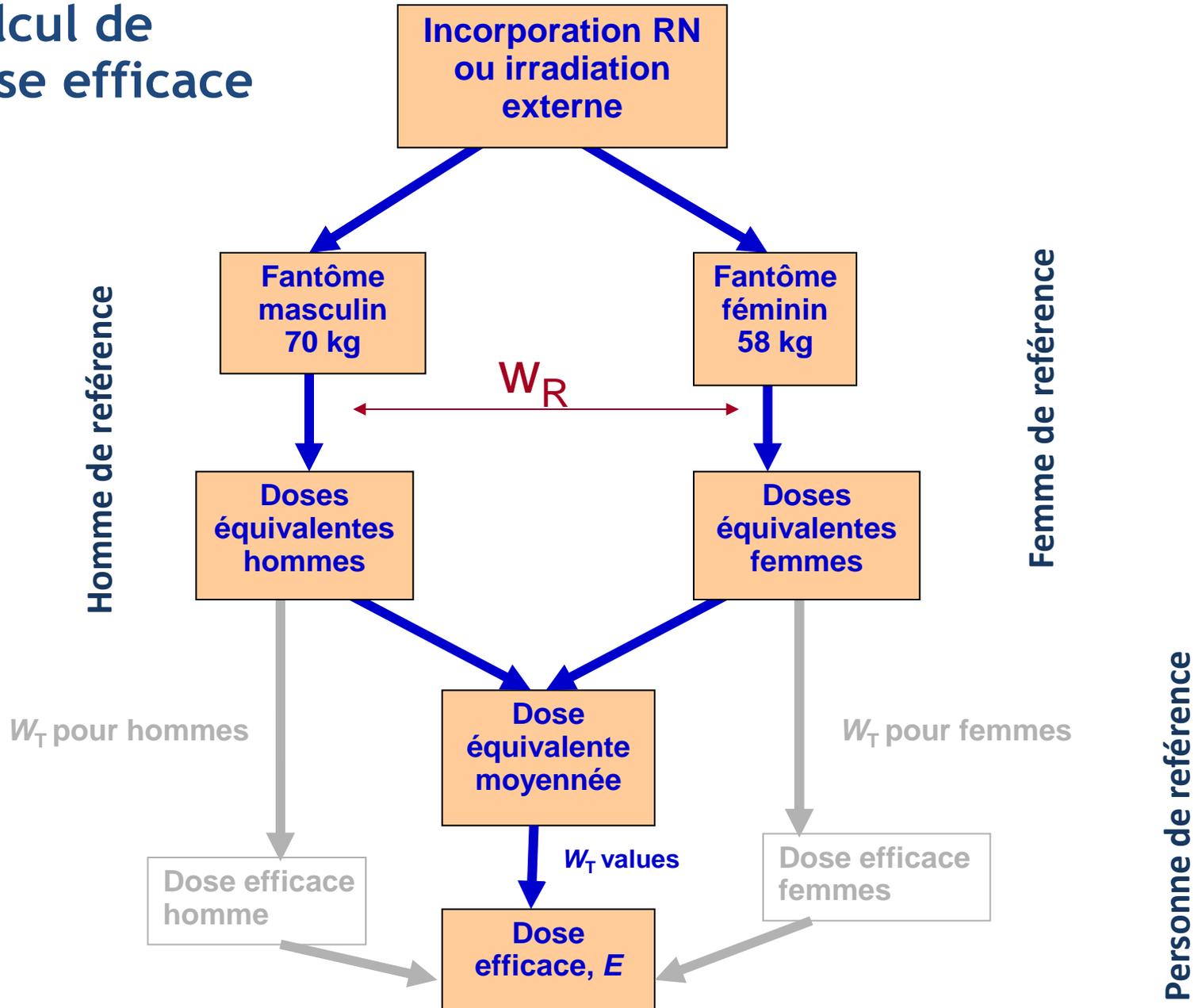
- Adoption des nouveaux fantômes de référence
- Changements dans les facteurs de pondération

De nombreux progrès... (suite)

Dans les recommandations de la CIPR

- Adoption des nouveaux fantômes de référence
- Changements dans les facteurs de pondération
- Changements dans le mode de calcul de la dose efficace

le calcul de la dose efficace



De nombreux progrès... (suite)

Dans les recommandations de la CIPR

- Adoption des nouveaux fantômes de référence (ICRP 103, 2007)
- Changements dans les facteurs de pondération (ICRP 103, 2007)
- Changements dans le mode de calcul de la dose efficace (ICRP 103, 2007)
- Décision de gestion du Radon selon une approche dosimétrique (ICRP 2009)

De nombreux progrès... (suite)

Ces nouvelles données ont rendu nécessaires une mise à jour des anciennes publications ainsi que la fourniture de nouveaux coefficients de dose accompagnés de conseils portant sur la surveillance médicale des personnes exposées

Fait pour les coefficients de dose externe (ICRP 116, 2010)
Doit être fait pour la dosimétrie interne

Mise à jour des coefficients de dose

Répartition des tâches en deux parties

- Révision des modèles et coefficients de dose pour les travailleurs (*série OIR, 2006 → 2018*)
- Révision des modèles et coefficients de dose pour les membres du public (*Série « Age dependant », Embryo and fetus, maternal transfer,..., 2014 → 2020?*)

La série OIR

5 volumes

OIR Part 1

- Introduction
- Contrôles des expositions professionnelles aux radionuclides
- Modèles biocinétiques et dosimétriques
- Méthodes de surveillance individuelle et aux postes de travail
- Programmes de surveillance
- Evaluations rétrospectives de dose
- Données présentées dans ces rapports

Publiée en Octobre 2015

La série OIR

5 volumes

OIR Parties 2 à 5

Pour chaque élément (chapitre):

- Formes chimiques aux postes de travail
- Radioisotopes principaux, période radioactive et modes de décroissance
- Revue des données biocinétiques après inhalation, ingestion et transfert systémique
- Description des modèles biocinétiques (inh, ing, sys)
- Techniques de mesure et limites de détection
- Coefficients de dose, fonctions de rétention, dose par contenu, selon les formes chimiques, la taille des particules, le mode de contamination (inh/ing/inj. et aigue/chronique)
répartis entre copie papier et annexe électronique

La série OIR

5 volumes

OIR Part 2

Hydrogen (H), Carbon (C), Phosphorus (P), Sulphur (S), Calcium (Ca), Iron (Fe), Cobalt (Co), Zinc (Zn), Strontium (Sr), Yttrium (Y), Niobium (Nb), Molybdenum (Mo) and Technetium (Tc). **2016**

OIR Part 3

Ruthenium (Ru), Antimony (Sb), Tellurium (Te), Iodine (I), Cesium (Cs), Barium (Ba), Iridium (Ir), Lead (Pb), Bismuth (Bi), Polonium (Po), Radium (Ra), Thorium (Th) and Uranium (U). **2016**

OIR Part 4

Lanthanides series, actinium (Ac), protactinium (Pa) and actinoid elements. **2017**

OIR Part 5

Fluorine (F), Sodium (Na), Magnesium (Mg), Potassium (K), Manganese (Mn), Nickel (Ni), Selenium (Se), Molybdenum (Mo), Technetium (Tc) and Silver (Ag)
+ tous les autres

Fin

francois.paquet@irsn.fr