

*Dosimétrie*  
*en*  
*Médecine Nucléaire*

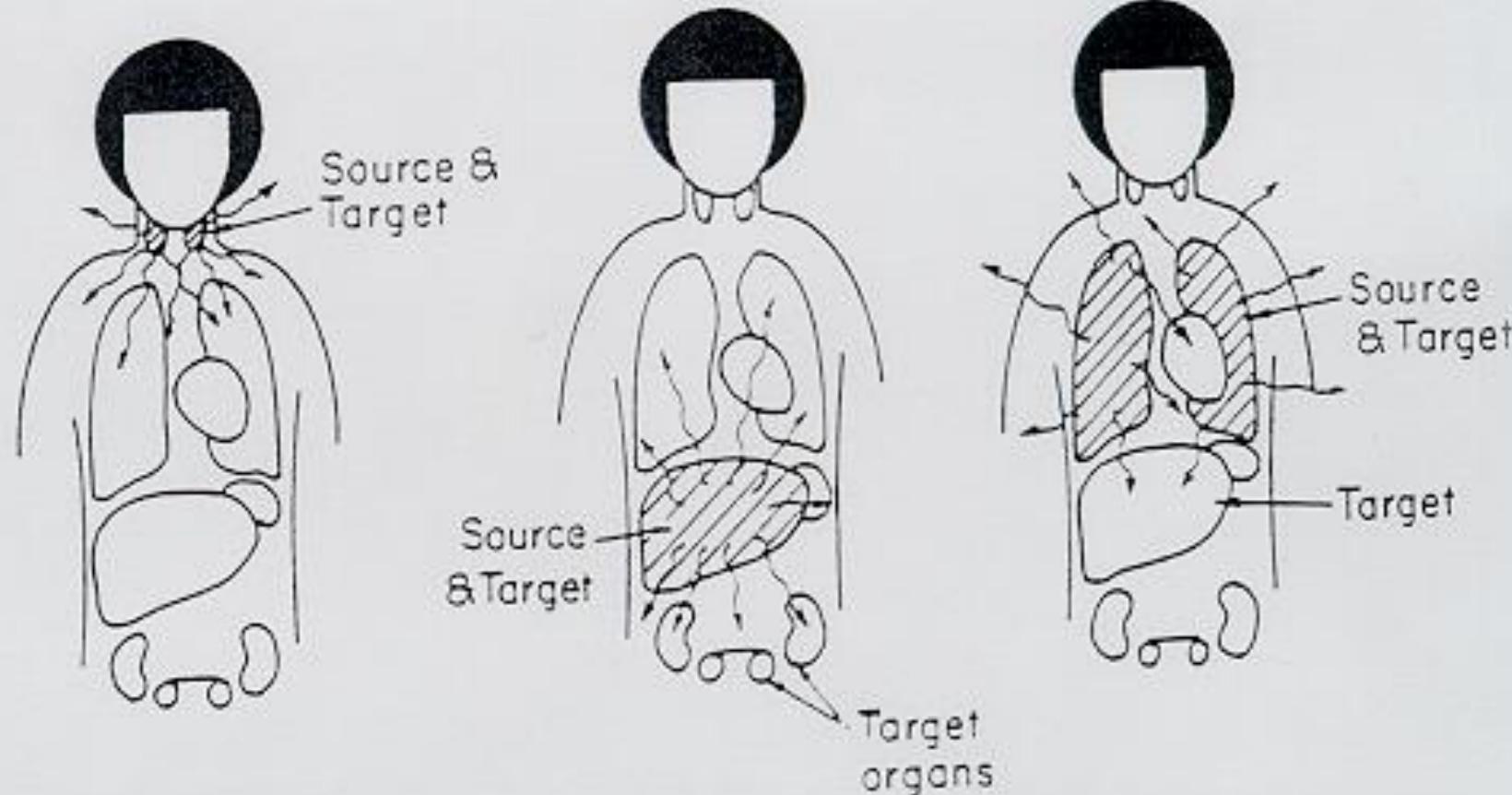
*Pr R. SEBIHI*

# La médecine nucléaire

- La médecine nucléaire consiste en l'utilisation des radioéléments sous forme non scellée à des fins
- diagnostiques
  - thérapeutiques

Applications diagnostiques	Applications thérapeutiques
<ul style="list-style-type: none"><li>• Activités faibles : entre 40 MBq et 1 GBq (<math>^{99m}\text{Tc}</math>).</li><li>• émetteur <math>\gamma</math></li><li>• détecteur utilisé : gamma caméra)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Activités importantes d'Iode 131 : 1 jusqu'à 10 GBq</li><li>• émetteur <math>\beta</math> et <math>\gamma</math></li></ul>

# Dosimétrie en médecine nucléaire



$^{131}\text{I}$  - Iodide

$^{99\text{m}}\text{Tc}$  - Colloid

$^{133}\text{Xe}$  - Saline

# Principe de dosimétrie interne

Problème plus épineux



Source disséminée dans le corps du patient.

- Le produit est compartimenté dans les organes du patient :
  - ↗ de quelle façon ?
  - ↗ Combien de temps va-t-il y rester ? (Temps de résidence)
  - ↗ Est il distribué de manière homogène ds les organes ?

# Principe de dosimétrie interne

Paramètres biologiques	Paramètres physiques
1- Combien d'activité dans l'organe en question?	1- Quelle est l'énergie émise par cette activité?
2- Combien de temps l'activité reste-t'elle dans l'organe ou tissu?	2- Quelle est la fraction de l'énergie émise qui sera déposée dans le tissu?

## Les facteurs d 'influence

La taille et la position des organes cibles et sources  
**Géométrie du patient**

La distribution de l'activité dans le patient et son évolution au cours du temps  
**Métabolisme du patient**

Les caractéristiques physiques du radioélément  
**type, énergies d 'émission,...**

# Création du MIRD

MIRD = Medical Internal Radiation Dose Committee

- Comité de la ‘Society of Nuclear Medicine’ (USA)
- Groupe mixte (médecins + physiciens)
- Publication via the SNM (JNM ou autre) :
  - 18 Pamphlets
  - 19 Dose estimate reports
  - 3 livres

*Schéma pour calculer la dose absorbée*

Medical Internal Radiation Dose (MIRD)- Committee of the Society of Nuclear Medicine

de 1968 à nos jours... (consulter [www.snm.org](http://www.snm.org) ou JNM)

# MIRD Pamphlets

No.1	A schema for absorbed-dose calculations for biologically-distributed radionuclides.	<i>Loevinger and Berman, 1968 (revised 1976)</i>
No.2	Energy deposition in water by photons from point isotropic sources.	<i>Berger, 1968</i>
No.3	Absorbed fractions for photon dosimetry.	<i>Brownell, Ellett and Reddy, 1968</i>
No.4/6	Radionuclide decay schemes and nuclear parameters for use in radiation dose estimation.	<i>Dillman 1969 ,1970</i>
No.5	Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom.	<i>Snyder, Ford, Warner and Fisher, 1969 (rev. 1978)</i>
No.7	Distribution of absorbed dose around point sources of electrons and beta particles in water and other media.	<i>Berger, 1971</i>
No.8	Absorbed fractions for small volumes containing photon-emitting radioactivity.	<i>Ellett and Humes, 1971</i>
No.9	Radiation dose to humans from Se-75-L-Selenomethionine.	<i>Lathrop, Johnston, Blau and Rothschild 1972</i>

# MIRD Pamphlets

No.10	Radionuclide decay schemes and nuclear parameters for use in radiation dose estimation.	<i>Dillman and Von der Lage, 1975</i>
No.11	“S” absorbed dose per unit accumulated activity for selected radionuclides and organs.	<i>Snyder, Ford, Warner, Watson, 1975</i>
No.12	Kinetic models for absorbed doses calculations.	<i>Berman, 1977</i>
No.13	Specific absorbed fractions for photon sources uniformly distributed in the heart chambers and heart wall of a heterogeneous phantom.	<i>Coffey , Cristy and Warner, 1981</i>
No.14	A dynamic urinary bladder model for radiation dose calculations.	<i>Thomas, Stabin, Chen and Samaratunga, 1992</i>
No.15	Radionuclide S values in a revised dosimetric model of the adult head and brain.	<i>Bouchet et al, 1999</i>
No.16	Techniques for quantitative radiopharmaceutical biodistribution data acquisition and analysis for the use in human radiation dose estimates.	<i>Siegel et al, 1999</i>
No.17	The dosimetry of nonuniform activity distribution radionuclide values at the voxel level.	<i>Bolch et al, 1999</i>
No.18	Administered Cumulated Activity for Ventilation Studies.	<i>Thomas, 2001</i>

# MIRD Dose Estimate Reports :

$^{75}\text{Se}$ -L-Selenomethionine (Lathrop *et al.* 1973)

Gallium (-66, -67, -68, -72) citrate isotopes (Cloutier *et al.* 73)

$^{99\text{m}}\text{Tc}$  as sulfur colloid (Atkins 1975)

sodium pertechnetate (Lathrop 1976)

chelated by DTPA (Thomas 1984)

labelling albumin microspheres (Blau 1982)

used with bone imaging agents (Weber *et al.* 1989)

labelling red blood cells (Atkins *et al.* 1990)

$^{198}\text{Au}$ -Colloidal Gold (Cloutier 1975)

$^{123}\text{I}$ ,  $^{124}\text{I}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{126}\text{I}$ ,  $^{130}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{I}$  as Sodium Iodide (Berman 1975)

$^{123}\text{I}$ ,  $^{124}\text{I}$ ,  $^{126}\text{I}$ ,  $^{130}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$  Sodium Rose Bengal (Freeman 1975)

$^{197}\text{Hg}$  and  $^{203}\text{Hg}$ -Labelled Chloromerodrin (Blau 1975)

Radioxenons for lung imaging (Atkins 1980)

3 isotopes of iron (52, 55, 59) (Robertson *et al.* 1982)

Radioindium-labeled autologous platelets (Robertson *et al.* 1992)

$^{111}\text{In}$ -labeled B72.3 antibody (Mardirossian *et al.* 1998)

MIRD dose estimate report no. 19: radiation absorbed dose estimates from (18)F-FDG (Hays *et al.* 2002)

# Références des livres

Le premier : détaille le **schéma du MIRD** :

*MIRD primer for absorbed dose calculations*

Loevinger R, Budinger T F and Watson E E,

The society of nuclear medicine, N.Y 1988, rev 1991

Le second : **données physiques**: type d'émissions, énergie, période,

*MIRD radionuclide data and decay schemes*

Weber D A, Eckerman K F, Dillman L T and Ryman J C,

The society of nuclear medicine, N.Y. 1989

Le troisième : Facteurs S pour  $\neq$  radionucléides à l'échelle cellulaire

*MIRD Cellular S Values*

Goddu S M, Howell R W, Bouchet L G, Bolch W E et Rao D V.

The society of nuclear medicine, N.Y. 1998

# Le formalisme du MIRD

- La dose moyenne absorbée (mGy) par unité d'activité administrée (MBq) :
- L'équation de la dose est divisée en 2 paramètres:

$$\frac{D}{A_0} = \tau S$$

## 1. Paramètres biologiques ( $\tau$ )

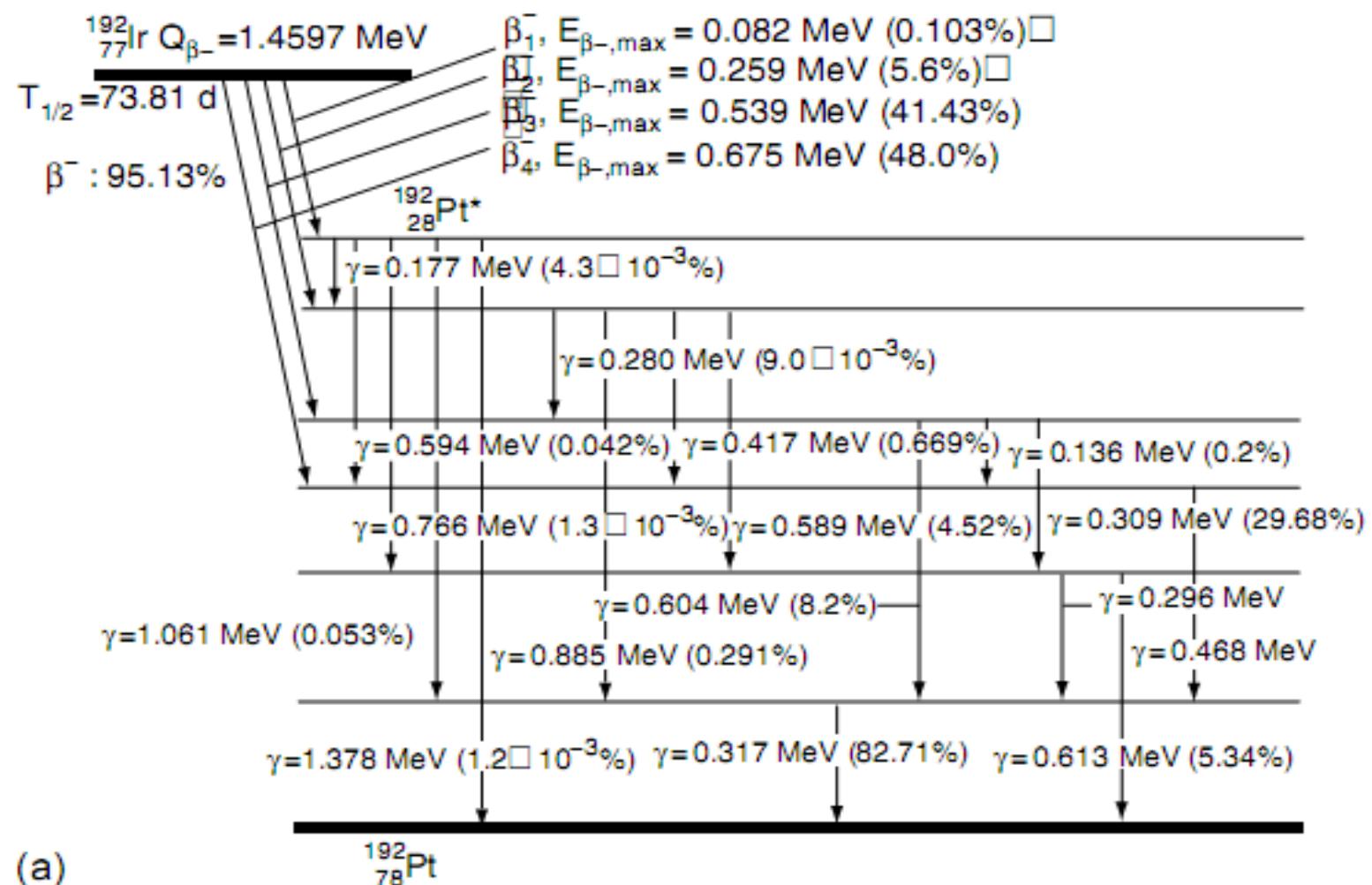
- Le temps moyen que l'activité reste dans l'organe **source**
  - Dépend du comportement physiologique du radiopharmaceutique
  - Dépend de la décroissance radioactive

## 2. Paramètres physiques (S-value)

- Dépend de la nature des radiations
- Dépend des caractéristiques d'absorption
- Dépend du modèle anatomique

# Formalisme du MIRD

- La procédure générale pour calculer la dose à l'organe cible due à la radiation émise par une source radioactive.



(a) entre la source et la cible).

# 1- Activité cumulée

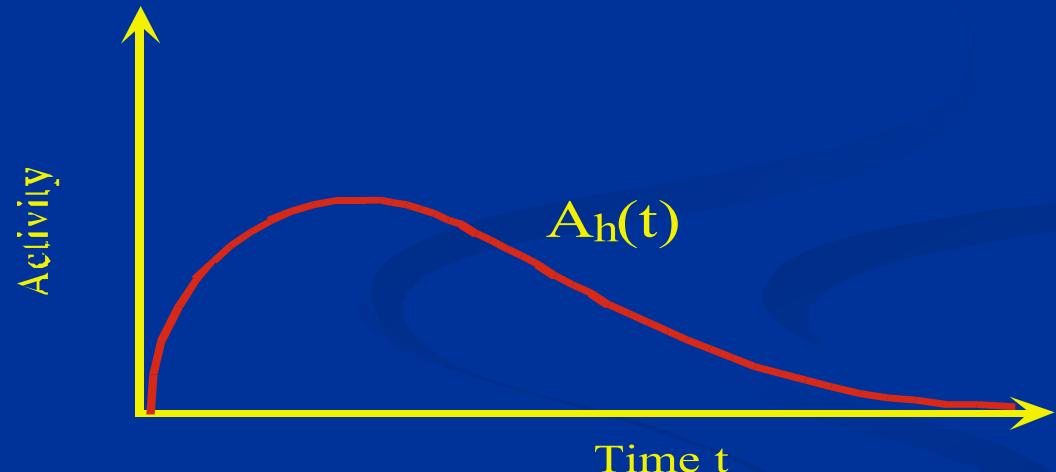
■ La dose délivrée à l'organe cible depend de:

- la quantité d'activité présente dans l'organe source,
- le temps dans lequel l'activité est présente .



■ Le produit de ces deux facteurs est l'activité cumulée, (Bq.s ou  $\mu\text{Ci.h}$ )

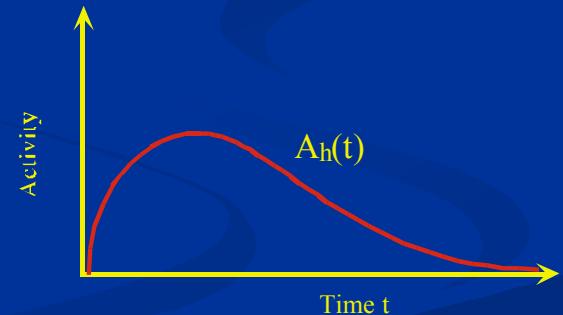
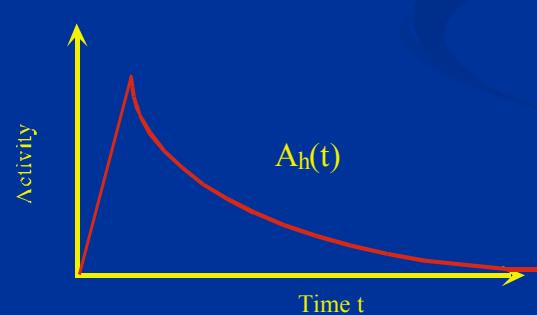
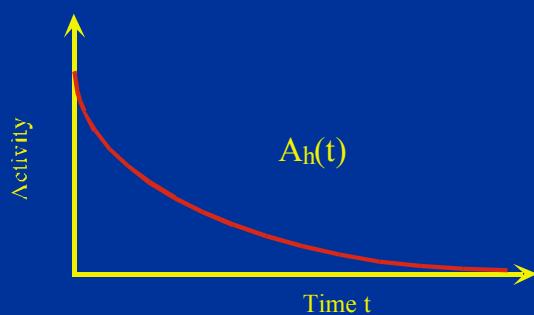
$$\tilde{A} = \int A_h(t) dt$$



Activité cumulée - 'intégration de l'activité sur le temps'

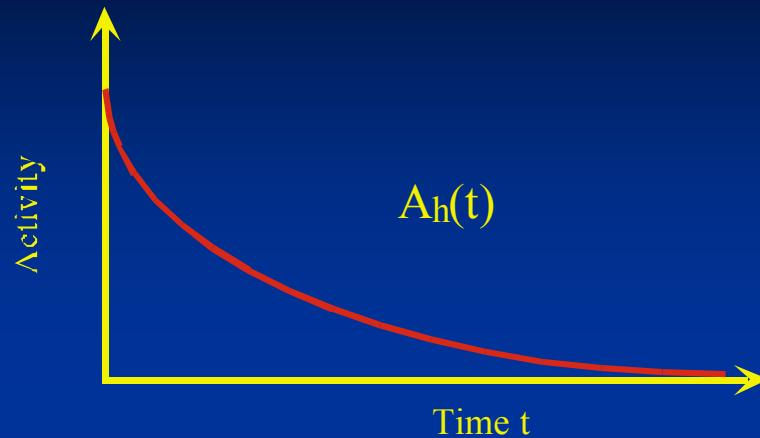
L'activité cumulée est le nbre de désintégrations durant le temps où la radioactivité est présente dans l'organe source.

- Chaque radiotraceur possède sa propre et unique distribution temporelle et spatiale dans le corps (retention, clearance, excrétion et la décroissance physique du radioélément).



Si  $A_h(t)$  peut être approximée par une fonction exponentielle :

$$A_h(t) = A_0 e^{-(\lambda_p + \lambda_b)t}$$



$$\tilde{A}_h = A_0 \int_0^{\infty} e^{-0.693t/T_{eff}}$$

Alors:

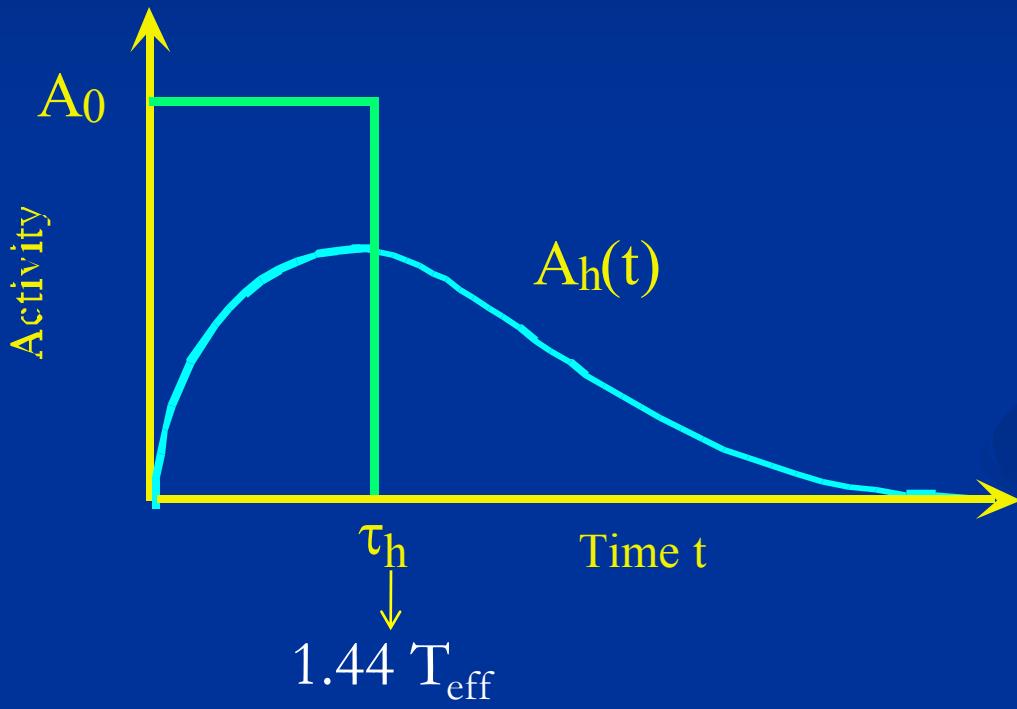
$$\tilde{A}_h = A_0 / (\lambda_p + \lambda_b) = 1,443 A_0 (T)_{eff}$$

où:  $T_{eff} = 0.693 / (\lambda_p + \lambda_b)$

et:  $\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_b}$

$T_{eff}$  est la période effective qui tient compte des composantes physique et biologique.

## Temps de résidence : $\tau_h$



$$\tilde{A}_h = \int A_h(t) dt$$

$$\tau_h = \frac{\text{Activité cumulée}}{\text{Activité initiale}} = \frac{\tilde{A}_h}{A_0}$$

$\tilde{A}_h$  en Bq.s  
 $A_0$  en Bq  $\Rightarrow \tau_h$  en s

$A_0$  est l'activité injectée

## Exemple :

Captation instantanée, pas d'élimination biologique.

Traceur marqué au  $^{11}\text{C}$ , fixé rapidement, se distribue d'une façon homogène dans le patient.

### Hypothèse:

$A_0: 10 \text{ mCi (}370 \text{ MBq)}$

$T_{1/2}: 0,34 \text{ h}$

$1\mu\text{Ci.h} = 133,2 \text{ MBq.s}$

Calculez l'activité cumulée et le temps de résidence...

## Solution

L'activité s'élimine selon une exponentielle, avec une période égale à la période physique ( $T_{1/2}$ : 0,34 h)

On a:

$$A_{CE}(t) = A(0) \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}$$

$A_{CE}(t)$  est l'activité corps entier au temps  $t$ ,

$\lambda$  est la constante de décroissance physique du  $^{11}\text{C}$ ,

$A(0)=A_0$  est l'activité administrée

Comme on a fixation instantanée ET pas d'élimination biologique:

$A_{CE}(t)$  se résume à une simple exponentielle, avec  $\lambda_b=0\dots$

L'activité cumulée est l'aire sous la courbe. Pour une décroissance complète :

$$\tilde{A}_{CE} = \int_0^{\infty} A_{CE}(t) dt = A_0 \int_0^{\infty} e^{-0,693t/T_{1/2}} dt = 1,443 \times A_0 \times T_{1/2}$$

$$\tilde{A}_{CE} = 1,443 \times (10.000) \times (0,34) = 4900 \mu\text{Ci.h}$$

$$\tilde{A}_{CE} = 1,443 \times (370 \cdot 10^6) \times (0,34 \times 3600) = 653,506 \text{ GBq.s}$$

$$\tau_{CE} = \tilde{A}_{CE} / A_0 = 4900 / 10000 = (653506 / 370) / 3600 = 0,49 \text{ h}$$

# Formalisme du MIRD

- La procédure générale pour calculer la dose à l'organe cible due à la radioactivité émise par l'organe source suit les 3 étapes essentielles:

1- La quantité d'activité et le temps de résidence ( $\tau$ ) de l'activité dans l'organe source doivent être déterminés.

**2-** La quantité de l'énergie totale émise par l'organe source est déterminée (calculée).

↳ dépend de :

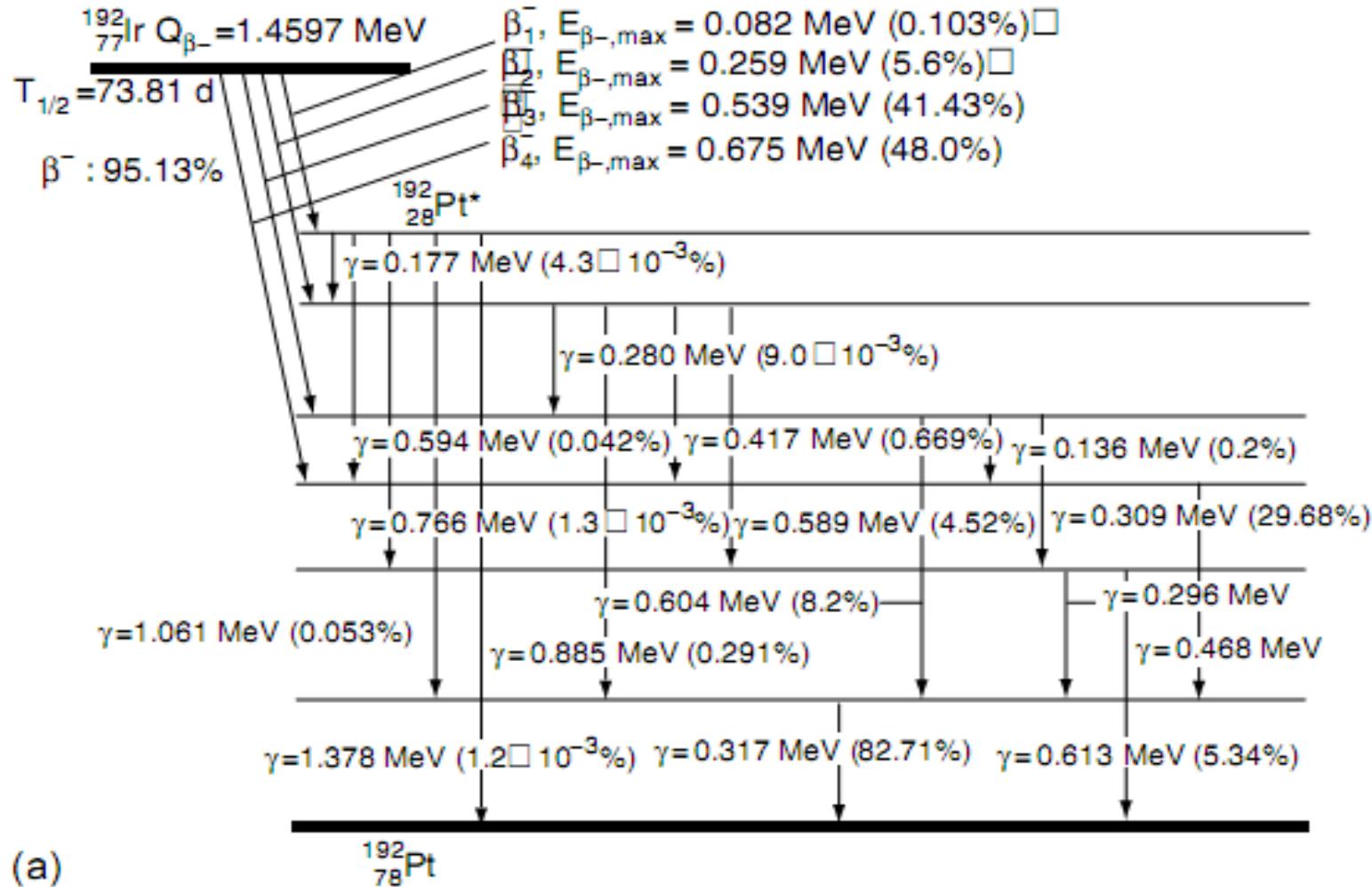
- l'énergie des émissions du radionucléide
- fréquence d'émission (nbre/désintégration)

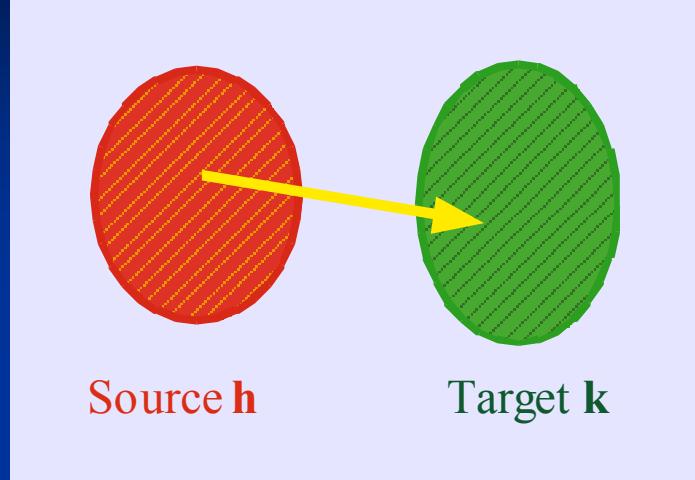
3- La fraction de l'énergie émise par l'organe source et qui est absorbée par l'organe cible doit être déterminée.

↳ dépend de :

- type et de l'énergie des émissions (caractéristiques d'absorption dans les tissus humains)
- rapports anatomiques entre l'organe source et cible (forme, taille distance entre la source et la cible).

## 2- Constante $\Delta_i$





Le produit de  $\tilde{A} \times \Delta i$



Energie émise par la  $i^{\text{ème}}$  émission (Gy.Kg)

durant le temps où la radioactivité est présente dans l'organe source.

## Exercice

Un radionucléide décroît en émettant des particules  $\beta$  (100% de désintégration avec une  $E_\beta = 0.3 \text{ MeV}$ ); suivie d'une émission de  $\gamma$  (80% de désintégration à  $E_\gamma = 0.2 \text{ MeV}$  et 20% de CE  $E_{ce} = 0.195 \text{ MeV}$  et X caractéristique de 0.005 MeV).

- Quelles sont les constantes d'équilibre de dose des émissions de ce radionucléide? ( $1 \text{ MeV/des} = 1.6 \cdot 10^{-13} \text{ Gy Kg/Bq.sec}$ )
- Sachant que l'activité cumulée est de 964 MBq.sec, Quelle serait alors l'énergie totale émise durant le temps où la radioactivité est présente dans organe source?

$$\Delta_{\beta} = (1.6 \times 10^{-13}) \times 1.0 \times 0.30 \\ = 4.80 \times 10^{-14} \text{ Gy Kg/Bq sec}$$

$$\Delta_{\gamma} = (1.6 \times 10^{-13}) \times 0.8 \times 0.20 \\ = 4.56 \times 10^{-14} \text{ Gy Kg/Bq sec}$$

$$\Delta_e = (1.6 \times 10^{-13}) \times 0.2 \times 0.195 \\ = 6.24 \times 10^{-15} \text{ Gy Kg/Bq sec}$$

$$\Delta_x = (1.6 \times 10^{-13}) \times 0.2 \times 0.005 \\ = 1.60 \times 10^{-16} \text{ Gy Kg/Bq sec}$$

$$\Delta_i = 1.6 \times 10^{-13} N_i E_i$$

$$\Delta = \Delta_{\beta} + \Delta_{\gamma} + \Delta_e + \Delta_x$$

$$\tilde{A} \Delta_i = 9.64 \times 10^2 \text{ MBq.sec} \times 8 \times 10^{-8} \text{ Gy Kg/MBq sec} \\ = 7.72 \times 10^{-5} \text{ Gy Kg} \\ = 7.72 \times 10^{-5} \text{ Joules}$$

# Formalisme du MIRD

- La procédure générale pour calculer la dose à l'organe cible due à la radioactivité émise par l'organe source suit les 3 étapes essentielles:

1- La **quantité d'activité** et le **temps de résidence ( $\tau$ )** de l'activité dans l'organe **source** doivent être déterminés.

2- La **quantité de l'énergie totale** émise par l'organe **source** est déterminée (calculée).

↳ dépend de :

- l'énergie des émissions du radionucléide
- fréquence d'émission (nbre/désintégration)

3- La fraction de **l'énergie émise** par l'organe **source** et qui est absorbée par l'organe **cible** doit être déterminée.

↳ dépend de :

- type et de l'énergie des émissions (caractéristiques d'absorption dans les tissus humains)
- rapports anatomiques entre l'organe source et cible (forme, taille distance entre la source et la cible).

### 3- Fraction absorbée

- L'étape finale est de déterminer la fraction de l'énergie émise par l'organe source et qui est absorbée par l'organe cible.



Fraction absorbée  $\phi$

$$\phi(k \leftarrow h) = \frac{E_k}{E_0}$$

Elle depend de :

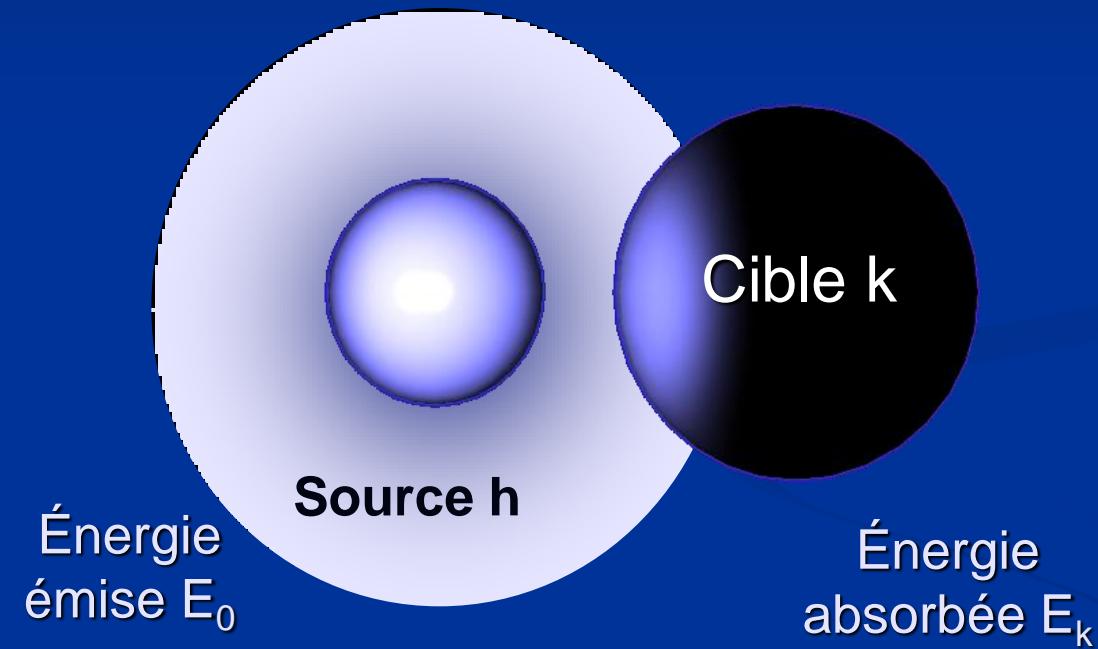
- la quantité de l'énergie de rayonnement atteignant l'organe cible,
- volume de l'organe cible,
- composition (ex: poumon, os,...) de l'organe cible.

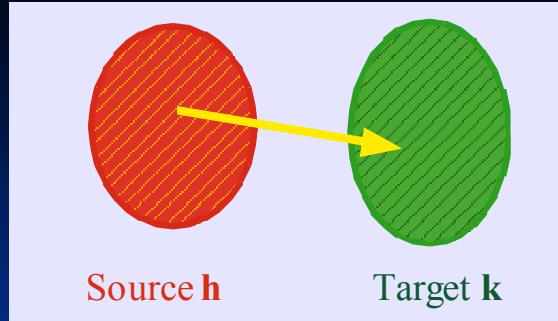


- du type d'émission,
- de l'énergie mise en jeu,
- De la relation anatomique du couple source-cible ( $k \leftarrow h$ )

- Pour une évaluation dosimétrique, la valeur de  $\phi$  doit être déterminée:
  - pour chaque type d'émission du radionucléide
  - Pour chaque paire source-cible.

$$\phi(k \leftarrow h) = \frac{E_k}{E_0}$$





### Pour les rayonnements non pénétrants

(Énergie photon et électron  $\leq 10 \text{ keV}$ )

- Les rayonnements émis dans l'organe source contribuent de façon insignifiante à la dose absorbée dans les organes cibles autre que l'organe source lui même.

### Pour les rayonnements pénétrants

(Énergie photon  $\geq 10 \text{ keV}$ )

- Les rayonnements émis dans l'organe source contribuent de façon significante à la dose absorbée dans les autres organes cibles.

$$\phi_{np}(k \leftarrow h) = 1 \quad (k = h)$$

$$\phi_{np}(k \leftarrow h) = 0 \quad (k \neq h)$$

$$0 \leq \phi_p(k \leftarrow h) < 1 \quad (k = h)$$

$$0 \leq \phi_p(k \leftarrow h) < 1 \quad (k \neq h)$$

$\phi(k \leftarrow h)$  : Fraction de l'énergie délivrée par l'organe **source h** à l'organe **cible k** pour une  $i^{\text{ème}}$  émission du radionucléide.

↗ L'énergie totale absorbée par l'organe **cible** est ainsi obtenue par l'équation suivante :

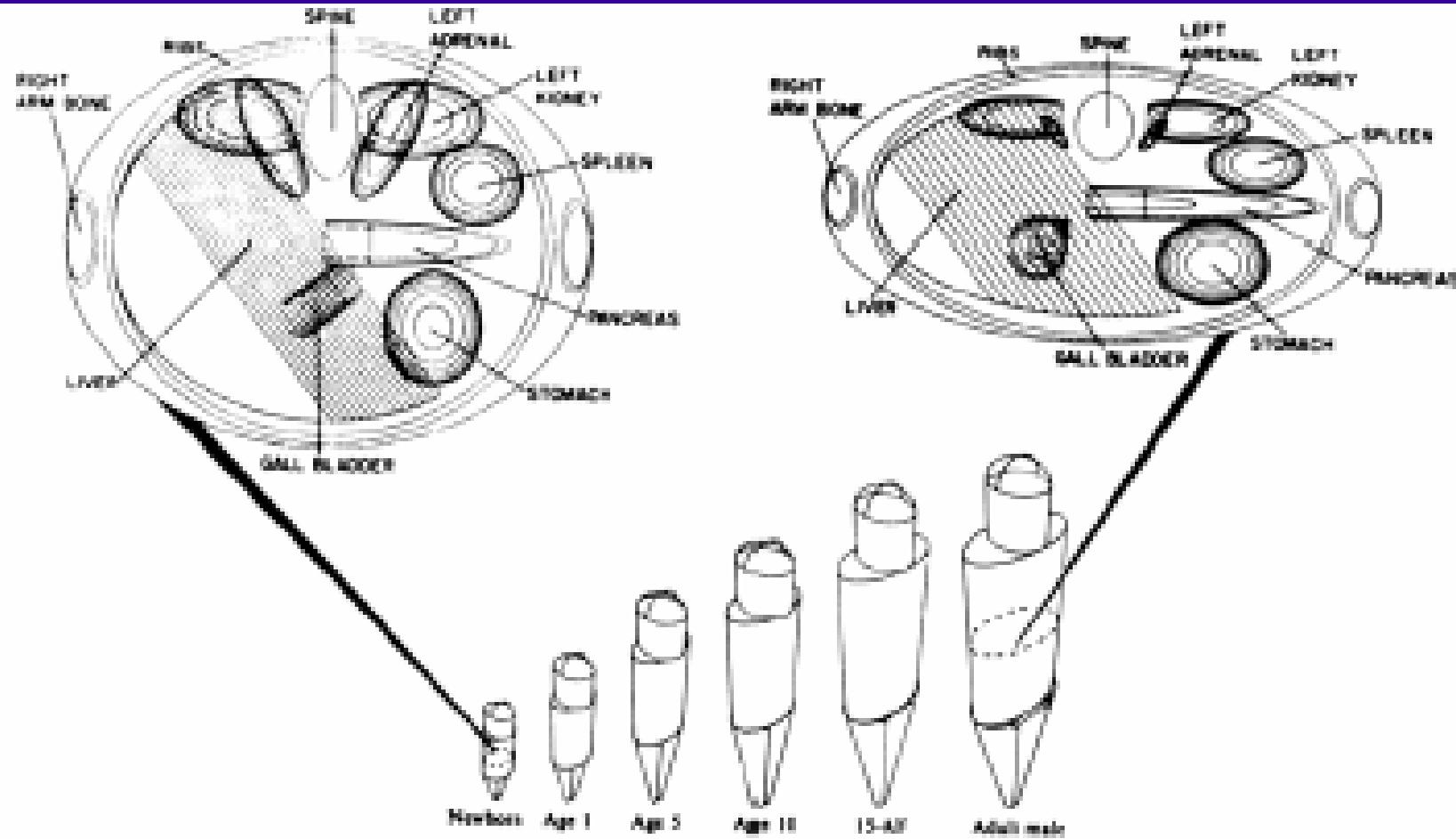
$$\text{Energie totale (Gy.Kg)} = \tilde{A} \sum_i \phi_i (k \leftarrow h) \Delta_i$$

↗ L'énergie absorbée par l'organe **cible** divisée par la masse de l'organe cible  $m_t$  donne la dose moyenne absorbée (Gray) dans la cible de l'activité existante dans l'organe source.

$$\bar{D}(k \leftarrow h) = \frac{\tilde{A}}{m_t} \sum_i \phi_i (k \leftarrow h) \Delta_i$$

$$\bar{D}(k \leftarrow h) = \frac{\tilde{A}}{m_t} \sum_i \phi_i(k \leftarrow h) \Delta_i$$

- ❖ La dose totale à l'organe cible est donc obtenue en sommant les doses de tous les organes sources du corps.
- ❖ Les valeurs de  $\phi$  sont calculées par des modèles humanoïdes mathématiques incorporant des organes et des structures anatomiques de taille et formes moyennes.
- ❖ Le modèle utilisé depuis plusieurs années est celui publié par le comité MIRD de la société de MN.
- ❖ Cristy et Eckerman ont développés une série de modèles représentant : le nouveau né, 1an, 5ans, 10ans, 15 ans et l'adulte (mise à jour de certaines données).
- ❖ Stabin et ses associés l'ont étendu jusqu'à la femme enceinte.



## Fraction spécifique d'absorption $\Phi$

- La fraction d'absorption spécifique est donné par:

$$\Phi = \frac{\phi}{m_t}$$

C'est la **fraction** de rayonnement **émis** par l'organe **source h** qui est **absorbée par gramme de masse** de l'organe **cible k**.

L'équation de dose sera alors :

$$\bar{D}(k \leftarrow h) = \frac{\tilde{A}}{m_t} \sum_i \phi_i(k \leftarrow h) \Delta_i$$

$$\bar{D}(k \leftarrow h) = \tilde{A} \sum_i \Phi_i(k \leftarrow h) \Delta_i$$

## Dose moyenne par activité cumulée, S

- Le calcul de la dose pour des rayonnements pénétrants peut être compliqué spécialement lorsqu'il y'a émission multiple.
- Le problème a été simplifié par l'introduction du facteur S.

La dose moyenne par unité d'activité cumulée sera alors:

$$\begin{aligned} S(k \leftarrow h) &= \frac{1}{m_t} \sum_i \phi_i(k \leftarrow h) \Delta_i \\ &= \sum_i \Phi_i(k \leftarrow h) \Delta_i \end{aligned}$$

La dose moyenne s'écrit alors:

$$\bar{D}(k \leftarrow h) = \tilde{A} \cdot S(k \leftarrow h)$$

1. Les radiopharmaceutiques émettent plusieurs types de rayonnements
2. Les radiopharmaceutiques se localisent dans plusieurs organes source

Pour estimer la dose que reçoit l'organe cible, il est nécessaire de sommer tous les produits des  $\tau$  pour les organes sources et les valeurs  $S$  associant à chaque organe source un organe cible:

$$\frac{\bar{D}}{A_0} = \sum \tau \cdot S$$

- Ces contributions doivent être sommées:

$$\frac{\bar{D}(k \leftarrow h)}{A_0} = \sum_h \bar{D}(k \leftarrow h) = \sum_h \tau S(k \leftarrow h)$$

### Exemple:

- Organes sources sont le foie (liver), rate (spleen) et les reins (kidneys)
- Organe cible est le foie (liver)

$$\begin{aligned}\frac{\bar{D}(liver)}{A_0} &= \tau_{liver} \cdot S(liver \leftarrow liver) \\ &+ \tau_{spleen} \cdot S(liver \leftarrow spleen) \\ &+ \tau_{kidneys} \cdot S(liver \leftarrow kidneys)\end{aligned}$$

**T A B L E 21-3**  
**S-Values (mGy/MBq·sec) for Tc-99m in the Reference Adult\***

**T A B L E 21-4**  
**S-Values (mGy/MBq·sec) for I-131 in the Reference Adult\***

**T A B L E 21-5**  
**S-values (mGy/MBq·sec) for F-18 in the Reference Adult\***

Target Organs	Source Organs												
	Adrenals	Brain	Breasts	Gall-bladder	LLI Contents	Small Intestine	Stomach	ULI Contents	Heart Contents	Heart Wall	Kidneys	Liver	Lungs
Adrenals	2.71E-03	1.16E-08	4.74E-07	2.12E-06	2.13E-07	5.88E-07	2.12E-06	6.68E-07	1.79E-06	2.11E-06	5.38E-06	3.10E-06	1.79E-06
Brain	1.16E-08	4.77E-05	4.12E-08	6.90E-09	9.28E-10	1.83E-09	1.09E-08	2.17E-09	5.10E-08	4.92E-08	4.99E-09	1.81E-08	1.00E-07
Breasts	4.74E-07	4.12E-08	1.51E-04	3.10E-07	4.44E-08	9.84E-08	5.07E-07	1.16E-07	1.95E-06	2.12E-06	2.13E-07	6.03E-07	1.79E-06
Gallbladder wall	2.28E-06	5.15E-09	3.26E-07	4.52E-04	4.73E-07	3.09E-06	2.12E-06	5.04E-06	7.19E-07	9.60E-07	2.92E-06	6.03E-06	5.70E-07
LLI wall	2.12E-07	7.77E-10	4.43E-08	4.09E-07	1.69E-04	4.24E-06	6.84E-07	1.79E-06	5.74E-08	7.21E-08	4.41E-07	1.44E-07	5.08E-08
Small intestine	5.88E-07	1.83E-09	9.84E-08	3.09E-06	4.89E-06	5.67E-05	1.39E-06	8.95E-06	1.64E-07	2.12E-07	1.55E-06	8.64E-07	1.44E-07
Stomach	1.80E-06	9.45E-09	5.39E-07	1.95E-06	9.62E-07	1.56E-06	1.06E-04	2.12E-06	1.19E-06	1.80E-06	1.80E-06	1.14E-06	8.48E-07
ULI wall	7.02E-07	2.18E-09	9.83E-08	5.37E-06	2.28E-06	9.93E-06	1.80E-06	1.11E-04	2.12E-07	2.45E-07	1.51E-06	1.35E-06	1.80E-07
Heart wall	2.11E-06	4.92E-08	2.12E-06	7.51E-07	7.87E-08	2.12E-07	1.79E-06	2.46E-07	6.52E-05	1.59E-04	6.04E-07	1.63E-06	3.09E-06
Kidneys	5.38E-06	4.99E-09	2.13E-07	2.76E-06	6.02E-07	1.55E-06	1.80E-06	1.52E-06	5.55E-07	6.04E-07	1.75E-04	2.12E-06	5.23E-07
Liver	3.10E-06	1.81E-08	6.03E-07	5.70E-06	1.80E-07	8.64E-07	1.08E-06	1.40E-06	1.50E-06	1.63E-06	2.12E-06	3.51E-05	1.42E-06
Lungs	1.79E-06	1.00E-07	1.79E-06	5.06E-07	6.55E-08	1.44E-07	8.16E-07	1.80E-07	3.26E-06	3.09E-06	5.23E-07	1.42E-06	4.85E-05
Muscle	8.80E-07	1.96E-07	3.75E-07	8.64E-07	9.13E-07	8.32E-07	7.50E-07	7.99E-07	6.52E-07	7.01E-07	7.66E-07	5.87E-07	7.01E-07
Ovaries	2.77E-07	9.44E-10	4.61E-08	7.99E-07	9.29E-06	6.35E-06	5.05E-07	5.38E-06	8.04E-08	9.49E-08	5.87E-07	3.27E-07	7.85E-08
Pancreas	7.33E-06	1.44E-08	5.39E-07	4.87E-06	3.76E-07	1.06E-06	8.47E-06	1.16E-06	1.79E-06	2.44E-06	3.75E-06	2.60E-06	1.27E-06
Red marrow	1.95E-06	7.17E-07	5.06E-07	8.15E-07	1.63E-06	1.35E-06	6.51E-07	1.16E-06	9.12E-07	9.12E-07	1.38E-06	7.17E-07	9.12E-07
Bone surfaces	1.09E-06	1.24E-06	3.59E-07	4.07E-07	6.85E-07	5.38E-07	3.91E-07	4.72E-07	6.02E-07	6.02E-07	6.35E-07	4.89E-07	6.84E-07
Skin	3.26E-07	3.92E-07	6.85E-07	2.78E-07	3.10E-07	2.78E-07	3.26E-07	2.78E-07	3.26E-07	3.27E-07	3.76E-07	3.27E-07	3.59E-07
Spleen	3.26E-06	1.97E-08	4.24E-07	8.50E-07	4.73E-07	7.82E-07	5.37E-06	7.17E-07	8.32E-07	1.14E-06	4.89E-06	5.71E-07	1.17E-06
Testes	3.29E-08	1.71E-10	0.00E+00	9.99E-08	1.22E-06	2.62E-07	5.91E-08	2.13E-07	1.44E-08	1.63E-08	6.06E-08	3.29E-08	1.06E-08
Thymus	5.05E-07	1.07E-07	2.28E-06	1.64E-07	3.78E-08	6.39E-08	3.76E-07	8.18E-08	6.20E-06	5.06E-06	1.96E-07	4.74E-07	2.12E-06
Thyroid	9.19E-08	1.14E-06	2.94E-07	4.76E-08	8.10E-09	9.75E-09	4.93E-08	1.98E-08	3.75E-07	3.75E-07	6.05E-08	9.97E-08	6.85E-07
Urinary bladder wall	1.06E-07	4.77E-10	2.96E-08	4.56E-07	3.26E-06	1.48E-06	2.13E-07	1.20E-06	4.11E-08	2.79E-08	2.13E-07	1.47E-07	2.80E-08
Uterus	2.28E-07	8.61E-10	5.41E-08	8.79E-07	3.58E-06	5.54E-06	4.09E-07	2.61E-06	7.71E-08	9.00E-08	5.39E-07	2.78E-07	6.06E-08
Total body	1.54E-06	1.21E-06	1.13E-06	9.96E-07	1.25E-06	1.38E-06	9.47E-07	1.17E-06	9.39E-07	1.50E-06	1.47E-06	1.47E-06	1.34E-06

$$\bar{D}(k \leftarrow h) =$$

$$\tilde{A}$$

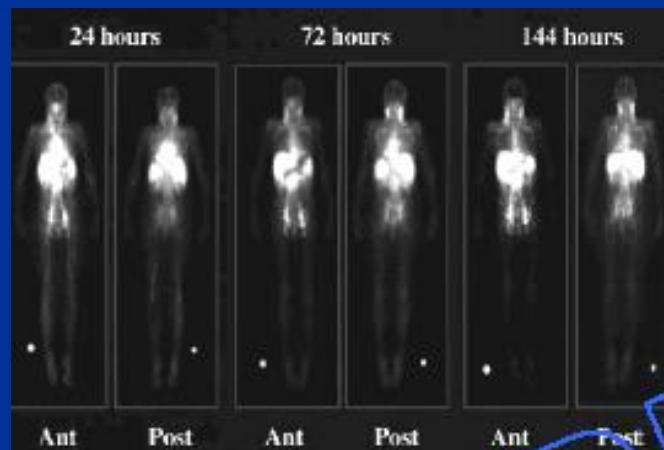
$$\sum_k$$

$$\Delta_{i,k}$$

$$\Phi_k$$

% d'énergie  
absorbée  
par unité de  
masse

Mesuré



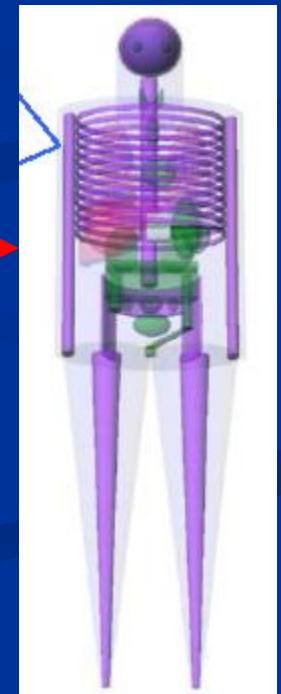
Tabulé

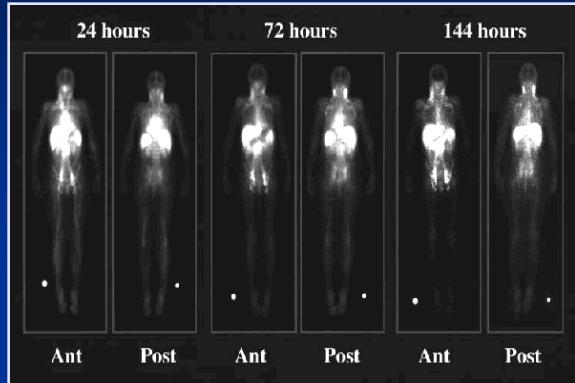
Calculé

$$S(k \leftarrow h)$$

Dose par MBq.h  
déposée dans un  
volume k

Énergie  
totale émise



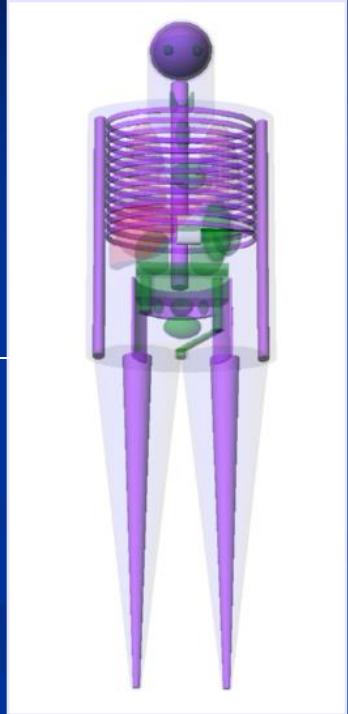


**Activité cumulée (nombre total de particules émises) estimée grâce aux images fonctionnelles**

$$\bar{D}_k = \tilde{A} \cdot \sum_i \Delta_{i,k} \times \Phi_k$$

$\sum_i$        $\Delta_{i,k}$        $\Phi_k$

$S_k$



$$\text{Dose}_k = \text{Énergie totale émise} \times \frac{\% \text{ d'énergie absorbée}}{\text{Masse de l'organe}}$$

# Résumé (dosimétrie interne)

## I. Données de distribution biologiques

Connaissance de la distribution d'activité dans le corps et l'activité déposée dans l'organe cible.

## II. Paramètres physiques

Paramètres nucléaires pour un radioélément particulier: type de particule et énergie des particules par transition et énergie émise par transition (MIRD; Radionuclide Data and Decay Schemes, The Society of Nuclear Medicine, 1989).

## III. Schéma pour calculer la dose absorbée

1. Medical Internal Radiation Dose (MIRD) Committee of the Society of Nuclear Medicine (MIRD Pamphlet No. 1, Revised, 1976)
2. MIRD Primer for absorbed dose calculations (SNM) 1991.

# Limitations

- La radioactivité est supposée être uniformément distribuée dans l'organe source.
- Organes schématisés avec des formes géométriques simples.
- Chaque organe est supposé être de densité et de composition homogène.
- L'énergie déposée est moyennée sur la masse entière de l'organe alors qu'en réalité les effets sont observés à l'échelle moléculaire/cellulaire.

# Annals of the ICRP

ICRP PUBLICATION 53

## Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals

ICRP dans les publications 53, 62 & 80



Dose absorbée / l'unité d'activité administrée  
(mGy/MBq)



Pour différents produits radiopharmaceutiques

Pour différents organes



PERGAMON PRESS

OXFORD · NEW YORK · BEIJING · FRANKFURT  
SÃO PAULO · SYDNEY · TOKYO · TORONTO

THAILAND · VIETNAM · CAMBODIA · LAOS  
INDONESIA · SINGAPORE · HONG KONG · CHINA · TAIWAN  
SEASIDE NOMADAE

# Effective dose - bone scan

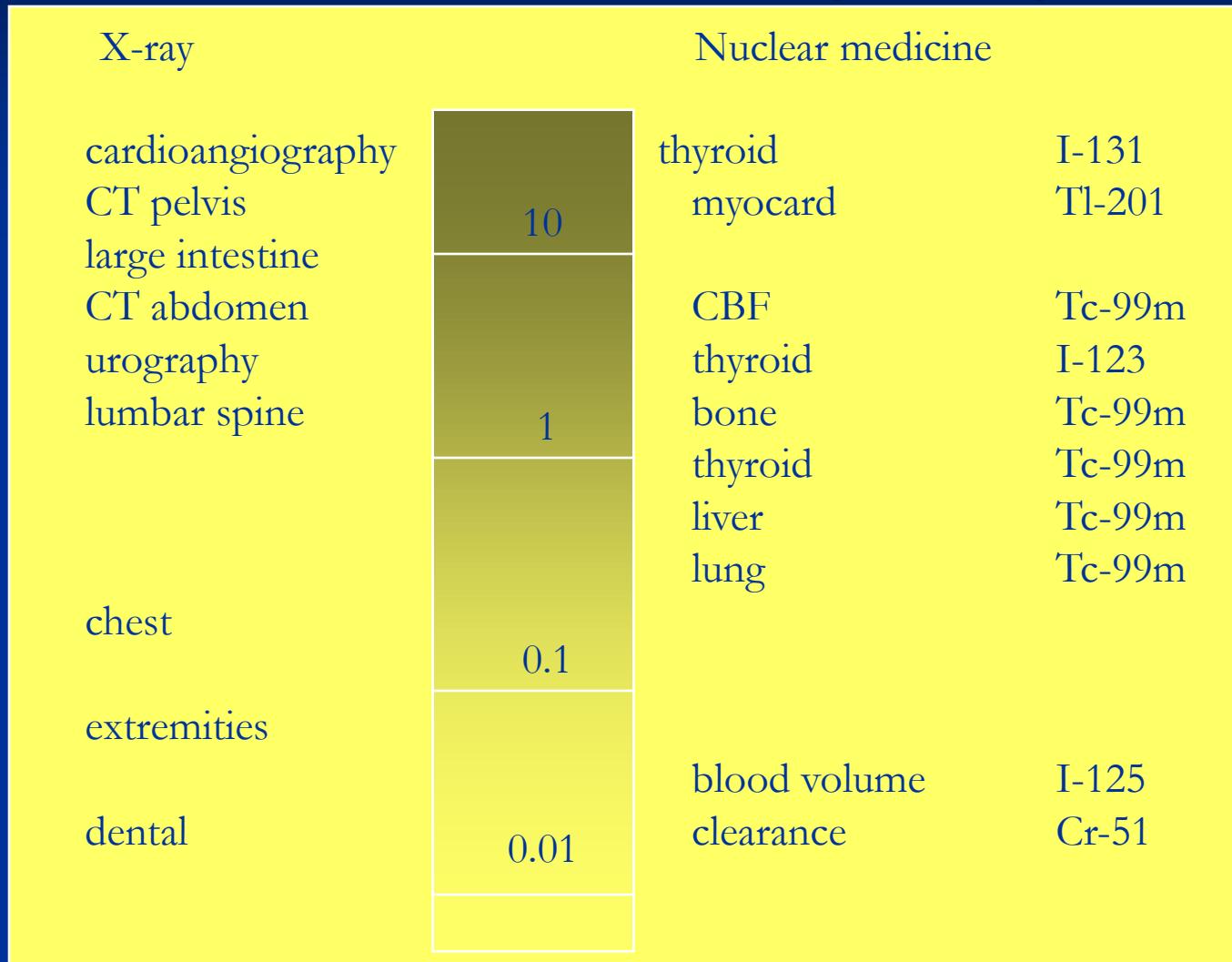


<i>Organ/tissue</i>	$w_T$	<i>mGy/MBq</i>	<i>Product</i>
Gonads	0.20	0.0024	0.000480
Bone marrow	0.12	0.0096	0.001152
Colon	0.12	0.0038	0.000456
Lungs	0.12	0.0013	0.000156
Stomach	0.12	0.0012	0.000144
Bladder	0.05	0.0500	0.000250
Breast	0.05	0.0009	0.000045
Liver	0.05	0.0013	0.000065
Esophagus	0.05	0.0080	0.000400
Thyroid	0.05	0.0010	0.000050
Skin	0.01	0.0019	0.000019
Bone surface	0.01	0.000630	0.000630
Remainder	0.05	0.0019	0.000095

*Effective dose (mSv/MBq):*

**0.0039**

# Dose Efficace (mSv)



Exercices & Corrections

## Exercice 1 :

Captation instantanée, pas d'élimination biologique.

Traceur marqué au  $^{11}\text{C}$ , fixé rapidement, se distribue d'une façon homogène dans le patient.

Hypothèse: pas d'élimination biologique.

$A_0$ : 10 mCi (370 MBq)

$T_{1/2}$ : 0,34 h

$1\mu\text{Ci.h} = 133,2 \text{ MBq.s}$

Calculez l'activité cumulée et le temps de résidence...

### Exercice 3

Calculer la dose au foie (liver) pour une injection de 100 MBq de sulfure colloïde de  $^{99m}\text{Tc}$ . On suppose que 60% de l'activité est prise au piège par le foie, 30% par la rate (spleen) et 10% par la moelle osseuse (red marrow) avec une fixation instantanée et sans excrétion biologique?

# MIRD

**But :** Estimation des doses (évaluation du risque) lors de l'administration médicale des radiopharmaceutiques.

**Méthodes :** Hypothèses simplifiées. Ceci permet :

- Utilisation pratique
- Comparaisons possibles entre services de Médecine Nucléaire

**Limites :** Hypothèses simplifiées (!)

- Pertinence (Valeur pratique) des calculs ?
- Domaine de validité des résultats ?