



# La position de la CIPR sur le calcul des doses et des risques associés aux expositions au tritium

François Paquet, IRSN, Direction Scientifique  
John D. Harrison, HPA, UK

# Les sources d'exposition au tritium (Rappel)

- Origine naturelle (200 g/an)
- Essais nucléaires atmosphériques (650 kg)
- Usines de traitement des combustibles usés  
(la Hague 23g en 1994)
- Réacteurs de puissance
- Industriels, petits et futurs utilisateurs
- Entreposages de déchets et centres de stockage de surface
- ..

# Les effets du tritium (Rappel)

- Effets cellulaires précoces *in vitro*
- Induction de cancers chez l'animal
- Effets *in utero* (SNC) selon espèce et conditions expérimentales
- Effets non cancéreux chez l'homme (aplasie médullaire)

**Tous ces effets à dose élevée (> 200 mGy ou > kBq/mL)  
débit de dose élevé (> mGy/j)**

# Inquiétudes sur le tritium

**Demande de ré-évaluer les doses afin de  
« mieux rendre compte de la toxicité et des  
risques associés aux expositions tritium »**

**« Tritium effectiveness is two or three times that recognized by  
ICRP » (Fairlie, 2007)**

**« Divers résultats scientifiques suggèrent qu'il faut revoir les  
données concernant les effets du tritium » (CLI, 2009)**

**« Données récentes incitent à poursuivre recherches sur /..  
/dosimétrie à l'échelon cellulaire.. » (Chenal, 2008)**

# Inquiétudes sur le tritium

Demande de ré-évaluer les doses afin de  
« *mieux rendre compte de la toxicité et des  
risques associés aux expositions tritium* »

**D'accord,...**

**à condition de ne pas se tromper d'outil !**

# La position de la CIPR

**1. Gestion des expositions**

**2. Evaluation des risques**

# La gestion des expositions au tritium

Basée sur le concept de la dose efficace

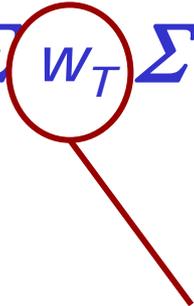
$$E : \sum W_T \sum W_R D_{T,R}$$

En joule par Kg, Sievert (Sv)

**Energie physique déposée dans les tissus**

# La gestion des expositions au tritium

Basée sur le concept de la dose efficace

$$E : \sum W_T \sum W_R D_{T,R} \quad \text{En joule par Kg, Sievert (Sv)}$$


Tient compte de la sensibilité relative  
des différents tissus

# La gestion des expositions au tritium

Basée sur le concept de la dose efficace

$$E : \sum W_T \sum W_R D_{T,R}$$

En joule par Kg, Sievert (Sv)

Tient compte de la toxicité relative des différents rayonnements

$W_R$

Photons : 1  
Electrons, Muons : 1  
Protons : 2  
Alpha : 20  
Neutrons :  $\Delta$

# La gestion des expositions au tritium

Basée sur le concept de la dose efficace

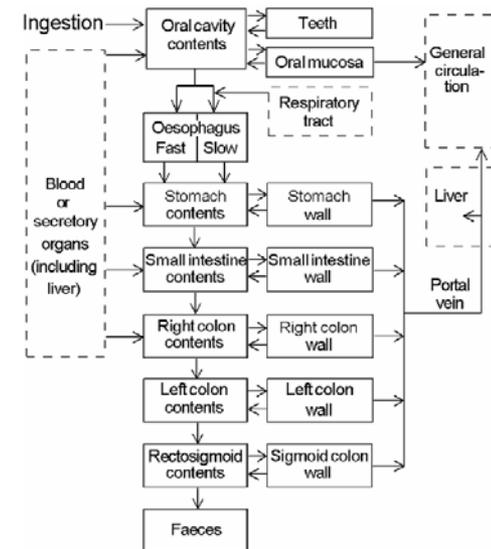
Grandeur complexe, intégrant

- l'énergie moyenne déposée,
- l'EBR des rayonnements
- la contribution de chaque tissu au détriment total

# La gestion des expositions au tritium

Basée sur le concept de la dose efficace

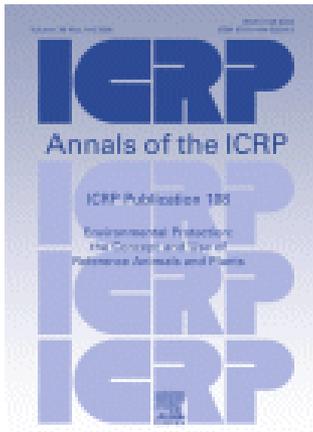
$$E : \sum W_T \sum W_R (D_{T,R})$$



Dans le cas des contaminations internes, énergie déposée calculée à l'aide de modèles biocinétiques et dosimétriques qui décrivent temps de résidence dans organisme, et dépôts d'énergie sur cellules cibles

# La gestion des expositions au tritium

## Le calcul de la dose efficace



*Modèles biocinétiques et dosimétriques*



*Coefficients de dose ( Sv par Bq)*

### ***Publications***

***30 Pts 1-4, 48,  
54, 56, 61, 66,  
67, 68, 69, 70,  
71, 72, 78, 88,  
95 + CD-ROMs***

- inhalation ou ingestion*
- travailleurs ou membres du public*
- adultes, enfants et fœtus*

# La gestion des expositions au tritium

## Le calcul de la dose efficace

**Table A.1. Ingestion dose coefficients,  $e(\tau)$ , to age 70 y ( $\text{Sv Bq}^{-1}$ )**

Nuclide	Physical half-life	$f_1$		$e(\tau)$		$e(\tau)$			
		<1y	3 months	>1y	1 Year	5 Years	10 Years	15 Years	Adult
<b>Hydrogen*</b>									
Tritiated Water	12.3 y	1.000	6.4E-11	1.000	4.8E-11	3.1E-11	2.3E-11	1.8E-11	1.8E-11
OBT	12.3 y	1.000	1.2E-10	1.000	1.2E-10	7.3E-11	5.7E-11	4.2E-11	4.2E-11

*Coefficients de dose de la CIPR  
en Sv par Bq*

Ingestion de 1000 Bq d'eau tritiée par des adultes

$$E = 1000 \times 1.8 \cdot 10^{-11} = 1.8 \cdot 10^{-8} \text{ Sv}$$

# La gestion des expositions au tritium

## La dose efficace

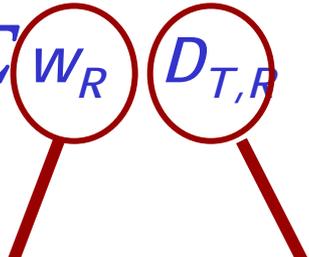
Utilisation « simple ».

Permet de gérer les expositions en vérifiant que les doses reçues sont inférieures aux limites réglementaires ou aux contraintes spécifiées

(et sert uniquement à ça !!)

# La gestion des expositions au tritium

Ce système est il adapté au cas du tritium ?

$$E : \sum W_T \sum W_R D_{T,R}$$
The image shows the equation  $E : \sum W_T \sum W_R D_{T,R}$  with two magnifying glasses. The first magnifying glass is positioned over the term  $W_R$  and the second is over the term  $D_{T,R}$ . The magnifying glasses have red handles and frames.

# La gestion des expositions au tritium

1. Calcul de l'énergie déposée  $E : \sum w_T \sum w_R D_{T,R}$

Calculée à l'aide des modèles biocinétiques et dosimétriques

*Calcul de la rétention et distribution des radionucléides dans les organes et tissus et donc le nb total de désintégrations dans chaque région « source »*

*Calcul de la dose absorbée moyenne (Gy) pour chaque tissus « cible », à partir des désintégrations des tissus « source » et à l'aide de fantômes anthropomorphes*

# La gestion des expositions au tritium

1. Calcul de l'énergie déposée  $E : \sum w_T \sum w_R D_{T,R}$

## Le modèle biocinétique du tritium

Ingestion HTO, OBT, inhalation HT  
100% absorbé dans le sang

Distribution uniforme dans les tissus sous forme HTO *et* OBT

Deux compartiments de rétention

		Dans organisme		
		HTO	OBT	
Incorporation	HTO	97% (10j)	3% (40j)	$1,8 \cdot 10^{-11}$ Sv/Bq
	OBT	50% (10j)	50% (40j)	$4,2 \cdot 10^{-11}$ Sv/Bq

# La gestion des expositions au tritium

1. Calcul de l'énergie déposée  $E : \sum w_T \sum w_R D_{T,R}$



## *Période biologique du tritium contestée pour OBT (1/2)*

Ingestion par rats de carrelets de la baie de Sellafield, marqués au  $^3\text{H}$  (Hodgson et al., 2005)

Modèle Rat

HTO	97% (3j)	3% (10j)
$^3\text{H}$ -Poisson	70% (3j)	30% (25j)

Modèle homme CIPR (rappel)

HTO	97% (10j)	3% (40j)
OBT	50% (10j)	50% (40j)

# La gestion des expositions au tritium

1. Calcul de l'énergie déposée  $E : \sum w_T \sum w_R D_{T,R}$



## *Période biologique du tritium contestée pour OBT (1/2)*

Ingestion par rats de carrelets de la baie de Sellafield, marqués au  $^3\text{H}$  (Hodgson et al., 2005)

Modèle Rat

HTO	97% (3j)	3% (10j)
$^3\text{H}$ -Poisson	70% (3j)	30% (25j)

Modèle homme CIPR (rappel)

HTO	97% (10j)	3% (40j)
OBT	50% (10j)	50% (40j)



**Proposition pour homme ingérant poisson ou fruit de mer de Sellafield**  
**70% (10j)                      30% (100j)**

**Coefficient de dose de  $6 \times 10^{-11}$  Sv/Bq soit 45% en plus que CIPR**

# La gestion des expositions au tritium

1. Calcul de l'énergie déposée  $E : \sum w_T \sum w_R D_{T,R}$

*Période biologique du tritium contestée pour OBT (2/2)*

Ingestion humaine de soles de la baie de Sellafield, marquées au  $^3\text{H}$  (Hunt et al., 2009)

Données expérimentales humaines

Modèle homme CIPR (rappel)

$^3\text{H}$ -Sole 100% (4-11j)

OBT 50% (10j)

50% (40j)



**Coefficients de dose de la CIPR largement protecteurs**

# La gestion des expositions au tritium

1. Calcul de l'énergie déposée  $E : \sum w_T \sum w_R D_{T,R}$

## Le modèle biocinétique du tritium

Intervalle des valeurs de la littérature

Valeur CIPR

Absorption vers le sang

0.9-0.99

1

Incorporation sous  
forme OBT

1-5% si HTO  
0-75% si OBT

3%  
50%

Période biologique adultes

4-12 j HTO  
20-76 j OBT1  
140-550 j OBT2

10 j  
40 j  
-

*D'après Harrison et al., 2002*

# La gestion des expositions au tritium

1. Calcul de l'énergie déposée  $E : \sum w_T \sum w_R D_{T,R}$

## Le modèle biocinétique du tritium

### Incertitudes sur les coefficients de dose

en Sv/Bq x 10<sup>11</sup>

		5%	50%	95%	UF
Adultes	HTO	2.1	3.9	6.6	1.7
	OBT	3.9	8.7	20	2.2
Fœtus	HTO	3.7	7.6	14	1.9
	OBT	6.9	17	40	2.4

*D'après Harrison et al., 2002*

# La gestion des expositions au tritium

1. Calcul de l'énergie déposée  $E : \sum w_T \sum w_R D_{T,R}$

## Le modèle biocinétique du tritium

### Conclusions

Grande variabilité dans les valeurs, qui génèrent des incertitudes dans les doses réellement délivrées

Néanmoins, pour la gestion des expositions, la CIPR propose d'utiliser des valeurs fixes applicables à des individus de référence et utilisables uniquement dans le domaine des faibles doses

HTO	99%	10j	0.98%	40j	0.02%	350j
OBT	50%	10j	49%	40j	1%	350j

# La gestion des expositions au tritium

1. Calcul de l'énergie déposée  $E : \sum w_T \sum w_R D_{T,R}$

## Le modèle biocinétique du tritium

### Conclusions (suite)

La CIPR rappelle que :

Ces valeurs ne sont pas utilisables pour une estimation de la dose ou du risque aux individus

Le modèle OBT ne s'applique que pour des formes organiques non définies (en général incorporées dans nourriture)

Nécessité d'appliquer coefficients spécifiques pour chaque forme organique définie

# La gestion des expositions au tritium

2. Le facteur de pondération pour le tritium

$$E : \sum w_T \sum w_R D_{T,R}$$


La valeur du  $w_R$  pour les électrons  
du tritium est contestée

*« Tritium effectiveness is two or three times that recognized by ICRP (Fairlie, 2007) »*

*« We suggest .... the use of a value of two for  $w_R$  for tritium » (AGIR, 2007) »*

# La gestion des expositions au tritium

## 2. Le facteur de pondération pour le tritium

*Cette contestation est fondée sur la toxicité potentielle du tritium intégré à l'ADN et sur les valeurs d'EBR<sup>1</sup> rapportées dans la littérature*

*<sup>1</sup> Efficacité Biologique Relative. Définie comme étant le rapport de la dose d'un rayonnement de référence (rayons X, rayonnement gamma) à la dose du rayonnement étudié produisant un même effet biologique.*

# La gestion des expositions au tritium

## Les EBR des électrons du tritium

<i>Le tritium sous forme HTO</i>	EBR	Ryt référence
Etudes survie cellulaire	1.1-3.5 2-3	$\gamma$ X
Aberrations chromosomiques	1-7 0.2-16	$\gamma$ X
Etudes expérimentales cancer	2-3 0.8-1.5	$\gamma$ X

# La gestion des expositions au tritium

## Les EBR des électrons du tritium

### *Le tritium sous forme OBT*

	EBR	Ryt référence
Mutations cell. germinales souris AA marqués	0.5-2	HTO
Mortalité cell. in vitro AA marqués	1.3	HTO
Survie d'oocytes H-TdR	0.01-4	HTO
Survie spermatogonies H-TdR	0.7	HTO
Mortalité blastocytes H-TdR	1000*	HTO

\*Ne peut être considéré comme une valeur d'EBR

# La gestion des expositions au tritium

## Les EBR des électrons du tritium

### Dépendent

- de l'effet considéré

### Chez la souris

Leucémie

EBR = 1.2 (Johnson et al., 1995)

Survie spermatogonies

EBR = 2.4 (Lambert, 1969)

# La gestion des expositions au tritium

## Les EBR des électrons du tritium

### Dépendent

- de l'effet considéré
- des conditions expérimentales (dose, débit de dose, modèles,.)

# La gestion des expositions au tritium

## Les EBR des électrons du tritium

### Dépendent

- de l'effet considéré
- des conditions expérimentales (dose, débit de dose, modèles,..)

### Aberrations chromosomiques chez humains

lymphocytes

EBR = 8 (Vulpis, 1984)

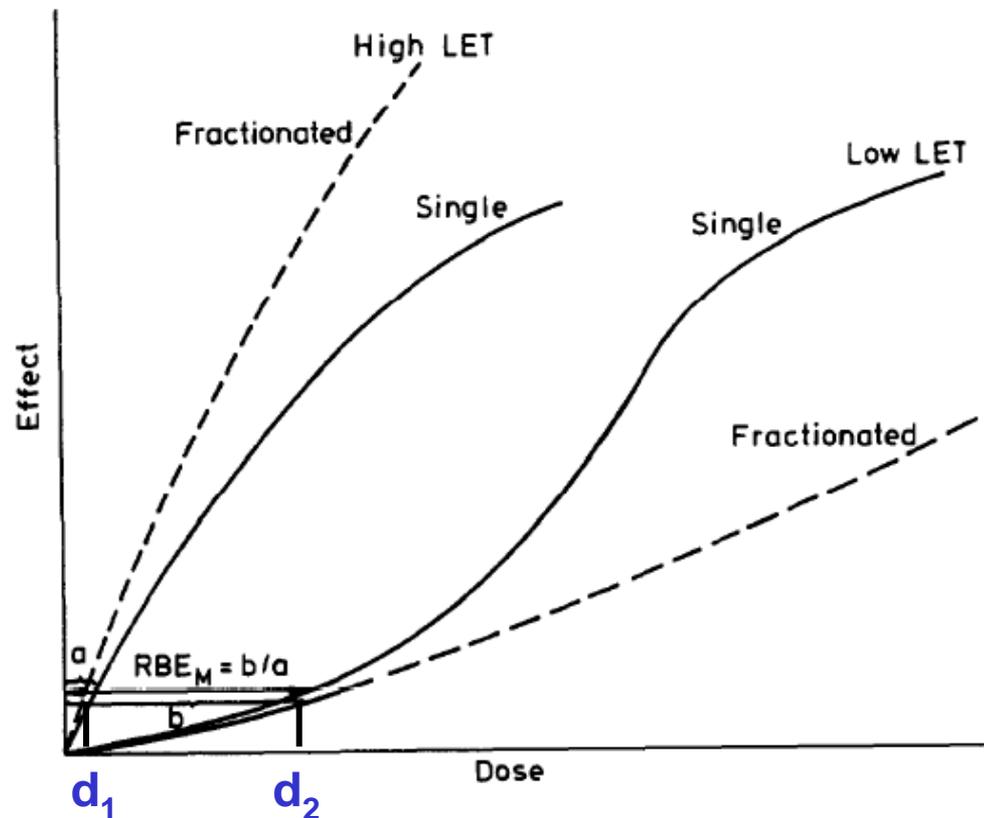
sperme

EBR = 1.5 (Kamiguchi et al., 1990)

# La gestion des expositions au tritium

## Les EBR des électrons du tritium

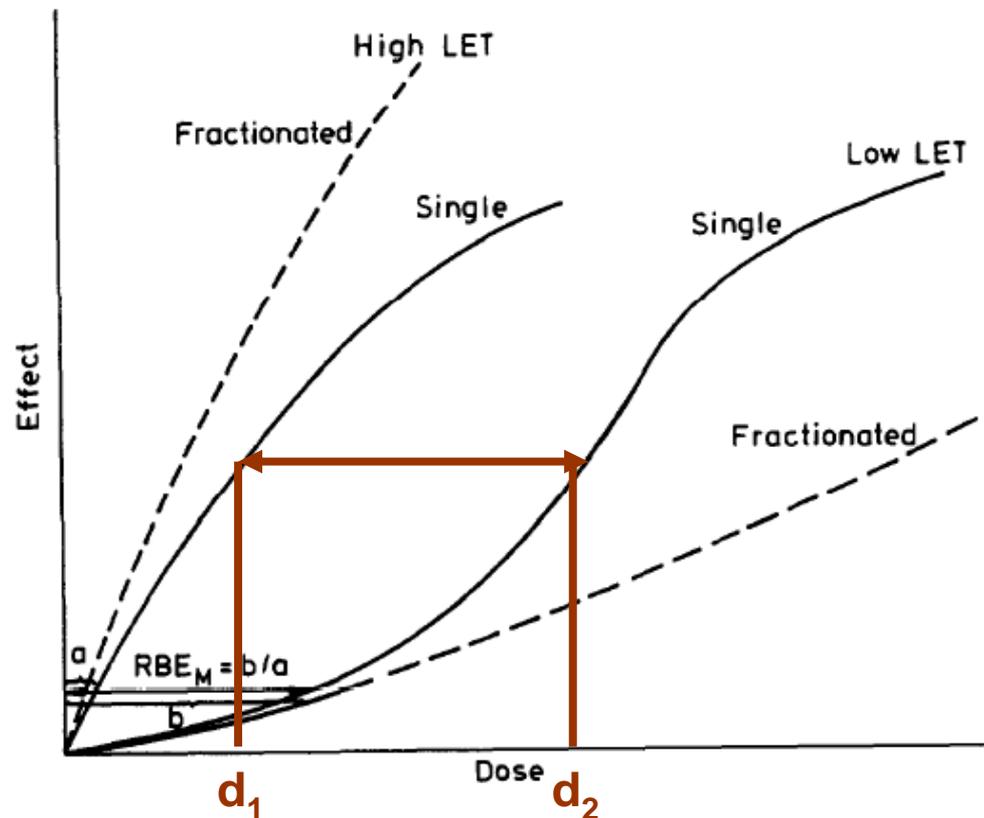
EBR varie en fonction des doses et débit de dose du rayonnement considéré et du rayonnement de référence



# La gestion des expositions au tritium

## Les EBR des électrons du tritium

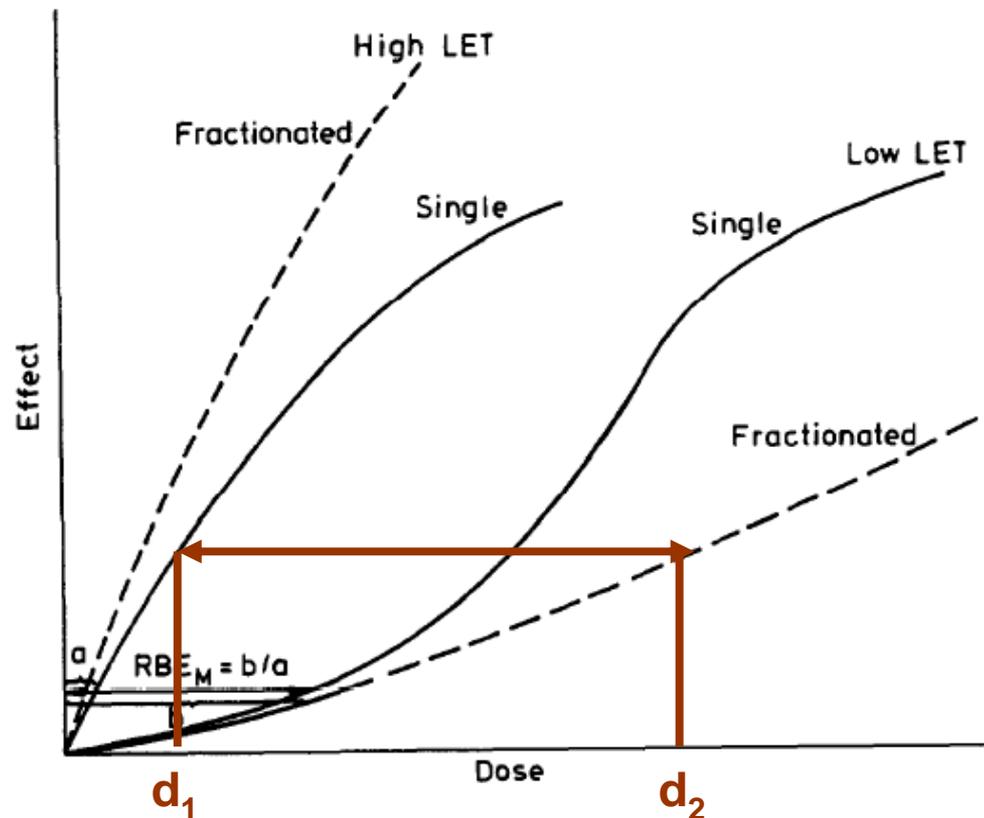
EBR varie en fonction des doses et débit de dose du rayonnement considéré et du rayonnement de référence



# La gestion des expositions au tritium

## Les EBR des électrons du tritium

EBR varie en fonction des doses et débit de dose du rayonnement considéré et du rayonnement de référence



# La gestion des expositions au tritium

## Les EBR des électrons du tritium

### Dépendent

- de l'effet considéré
- des conditions expérimentales (dose, débit de dose, modèles,..)
- du rayonnement de référence

### Aberrations chromosomiques dans lymphocytes humains

Rays X aigus EBR = 1.4 (Kamiguchi et al., 1990)

Rays gamma chroniques EBR = 3.1 (Tanaka et al., 1994)

# La gestion des expositions au tritium

## Les EBR des électrons du tritium (Bilan)

Intervalle des valeurs d'EBR répertoriées pour le tritium  
0.2 (Kozlowski *et al.* 2001) à 15.8 (Vulpis, 1984)

Centrées, pour les effets stochastiques sur

- 2.2 par rapport à un rayonnement gamma chronique
  - 1.2 par rapport à un rayonnement X chronique
- (Little et Lambert, 2008)

# La gestion des expositions au tritium

Les EBR des électrons du tritium (Bilan)

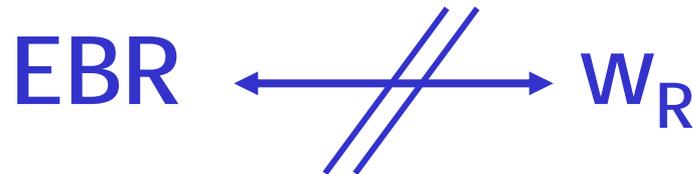
Ces valeurs d'EBR nécessitent elles de modifier  
le facteur de pondération  $w_R$  des électrons ?

$$E : \sum w_T \sum w_R D_{T,R}$$

# La gestion des expositions au tritium

Les EBR sont des grandeurs scientifiques, de valeur très variables

Les  $w_R$  sont des grandeurs de gestion, fixes



# La gestion des expositions au tritium

$w_R$  défini pour calcul de dose efficace qui

- sert à gérer des expositions, dans le domaine des faibles doses et faibles débits de dose
- est conçue pour permettre additivité des doses et comparaison avec limites ou contraintes
- est relative au détriment total lié aux cancers et effets héréditaires

# La gestion des expositions au tritium

$w_R$  défini pour calcul de dose efficace qui

- est calculée pour une personne « de référence »
- est construite sur de nombreuses hypothèses et simplifications (RLSS, additivité des doses, extrapolation HN aux autres expositions,..)



$w_R$  doit rester une valeur générale et représenter un compromis entre connaissances scientifiques et utilisation pratique en toutes circonstances

# La gestion des expositions au tritium

Les  $w_R$  (et donc la dose efficace)

Ne peuvent pas servir à estimer un risque individuel

Ne sont pas applicable aux effets déterministes

# L'évaluation des risques associés aux expositions au tritium

Dose absorbée au tissus (Gy) avec estimation incertitudes

Anatomie et physiologie réelle de l'individu (âge, morphologie,...)

Facteurs de risque (antécédents, multi expositions,...)

EBR de l'effet redouté

Comparaison avec abaques

# Bilan Général

- Grandes variabilité dans paramètres des modèles biocinétiques et dans valeurs d'EBR
- Incertitudes fortes dans détermination des doses réelles
- Lacunes de connaissance en épidémiologie tritium et dans les effets / biocinétiques des OBT

# La position de la CIPR

- Changer le  $w_R$  ne permettra pas de mieux estimer les risques car grandeur pas adaptée
- Dose efficace n'est qu'une grandeur de gestion, utilisable en dessous des limites de doses
- Changer le  $w_R$  de 1 à ?? pour la gestion donnerait le signal erroné que nous avons des connaissances sur ce sujet
- Nécessité pour CIPR de disposer d'un système simple

# La position de la CIPR

- La CIPR continue de préconiser un  $w_R$  de 1 pour tous les électrons pour la gestion des expositions
- La CIPR recommande l'utilisation des EBR les plus appropriées pour l'évaluation de risques
- La CIPR recommande l'utilisation de la dose efficace comme outil d'optimisation pour améliorer la protection des personnes