

RadioProtection Cirkus

© Grandeurs Dosimétriques

Nom de l'auteur : Marc AMMERICH

N° chrono : DOC-FO-17_1

Version du : 28 mars 2018

Le portail de la RP pratique et opérationnelle
www.rpcirkus.org - www.forum-rpcirkus.com

GRANDEURS DOSIMÉTRIQUES

- Les grandeurs physiques
- Les grandeurs de protection
- Les grandeurs opérationnelles



GRANDEURS DOSIMÉTRIQUES

➤ Les grandeurs physiques

Les grandeurs de protection

Les grandeurs opérationnelles



GRANDEURS PHYSIQUES

Les grandeurs physiques sont des grandeurs accessibles quantitativement par le calcul ou par la mesure.

On distingue parmi ces grandeurs :

- les grandeurs servant à caractériser le champ de rayonnement.
- les grandeurs dosimétriques servant à caractériser l'effet « physique » des rayonnements sur la matière en terme d'énergie transférée ou de dépôt d'énergie.



GRANDEURS PHYSIQUES

Quelques exemples :

Le nombre de particules N .

N est le nombre de particules émises, transférées ou reçues.

Le flux de particules \dot{N} ou taux d'émission.

\dot{N} représente le nombre de particules émises, transférées ou reçues pendant un intervalle de temps = **Particules par seconde**

Le débit de fluence $\dot{\Phi}$

$\dot{\Phi}$ représente le nombre de particules traversant une sphère élémentaire de section diamétrale da pendant un intervalle de temps dt = **Particules par centimètre carré et par seconde**



GRANDEURS PHYSIQUES

Quelques exemples :

La dose absorbée **D**

La dose absorbée est l'énergie moyenne communiquée par le rayonnement ionisant, à un volume de matière de masse dm .

Unité : $J.kg^{-1}$ (Gray)

Le débit de dose absorbée **D**

La débit de dose absorbée est l'énergie moyenne communiquée par le rayonnement ionisant, à un volume de matière de masse dm pendant un intervalle de temps dt .

Unité : $J.kg^{-1} .s^{-1}$ (Gray / s) – pas pratique



GRANDEURS DOSIMÉTRIQUES

Les grandeurs physiques

➤ Les grandeurs de protection

Les grandeurs opérationnelles



GRANDEURS DE PROTECTION

Métrologie = mesure

Mais dans le cas des grandeurs de protection, mesurer quoi ?

A-t-on une grandeur unique ? Hélas non !

Une grandeur mesurable :
La Dose absorbée (énergie par unité de masse)

Les grandeurs de protection : une pondération de la dose absorbée
par des facteurs multiplicatifs sans dimension,
Et donc des grandeurs non mesurables.



GRANDEURS DE PROTECTION

Elles sont fondées sur les limites de doses et définies par une commission internationale (ICRP : International Commission on Radiological Protection). En français : Commission Internationale de Protection Radiologique



GRANDEURS DE PROTECTION

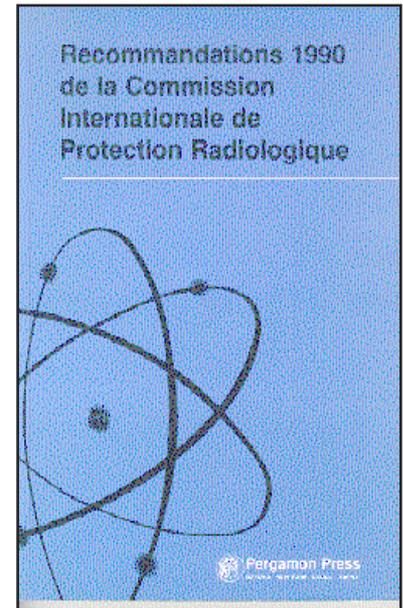
La Commission Internationale de Protection Radiologique
CIPR

Créé en 1928- Organisation non gouvernementale

- Publie des Recommandations
- traduction française pour les textes importants
- Constituée par des experts cooptés

Textes fondés sur les travaux de comités scientifiques

- Comité Scientifique des Nations Unies pour l'étude des Effets des Rayonnements Ionisants (UNSCEAR)
- Comité sur les Effets Biologiques des Rayonnements Ionisants (BEIR)



GRANDEURS DE PROTECTION

L'interaction des rayonnements ionisants avec la matière, et en particulier avec le tissu biologique, se traduit par un transfert d'énergie au milieu irradié.

Des dégâts plus ou moins importants peuvent être causés aux cellules atteintes, suivis d'effets sur la santé de l'individu ou de sa descendance. L'importance de ces effets doit être prévisible.



GRANDEURS DE PROTECTION

Les biologistes ont montré que les organes du corps humain présentaient, selon leur fonction, des sensibilités variables aux rayonnements ionisants. Il est impensable et infaisable de placer au niveau de chaque organe critique un ou plusieurs détecteur(s) capable(s) de délivrer une information représentative du risque encouru par cet organe exposé au rayonnement.

Jusqu'en 1991, année de parution de la [publication 60 de l'ICRP](#), la dosimétrie de radioprotection s'appuyait sur une grandeur dérivée de la grandeur physique « dose absorbée » ; cette grandeur dérivée s'appelait équivalent de dose.



GRANDEURS DE PROTECTION

A noter que les grandeurs opérationnelles en détection continuent à être définies par rapport à un équivalent de dose.

Aujourd'hui les grandeurs de protection sont :

LA DOSE EQUIVALENTE

et

LA DOSE EFFICACE

Elles ont été définies pour traduire la nuisance biologique des rayonnements aux faibles doses.



GRANDEURS DE PROTECTION

La parution de la [publication 103 de l'ICRP](#), en octobre 2007 ne modifie pas ces concepts.

Il est donc essentiel de répéter que les grandeurs de protection ont été définies pour prendre en compte le risque stochastique (donc dans le domaine des faibles doses).

Nous définirons dans la partie des effets biologiques les repères concernant les faibles et les fortes doses.



GRANDEURS DE PROTECTION

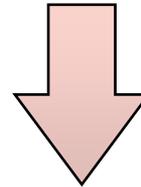
Observations de la CIPR

Pourquoi des évolutions entre 1990 et 2007 ?

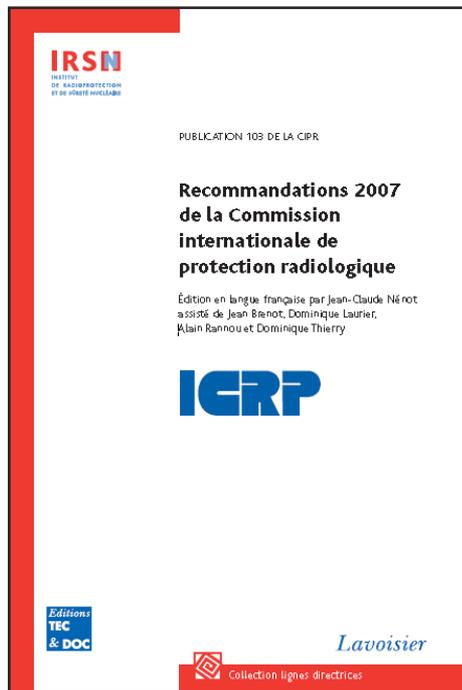


Encore une fois

- Nouvelles pathologies
- Nouveaux calculs de dose



CIPR Publication 103 - Octobre 2007



GRANDEURS DE PROTECTION

La dose équivalente à l'organe H

La grandeur de protection, dose équivalente, préconisée par l'ICRP, apporte une solution plus simple à l'estimation du risque. La relation de base s'écrit :

$$H_T = D_{T,R} \cdot W_R$$

H_T : dose équivalente dans le tissu, ou l'organe T

$D_{T,R}$: dose absorbée moyenne dans le tissu ou l'organe T résultant du rayonnement de type R

w_R : facteur de pondération radiologique



GRANDEURS DE PROTECTION

Les caractéristiques de w_R sont les suivantes :

C'est un facteur multiplicatif dépendant du type de rayonnement R incident sur le tissu ou l'organe T qui dépend du rayonnement incident

Type de rayonnement et gamme d'énergie	Facteur de pondération radiologique w_R
Photons, toutes énergies	1
Electrons, toutes énergies et muons	1
Neutrons, énergie : $E < 1$ MeV	$2,5 + 18,2 e^{-[\ln(En)]^2 / 6}$
Neutrons $1 \text{ MeV} < E < 50 \text{ MeV}$	$5 + 17 e^{-[\ln(2 En)]^2 / 6}$
Neutrons $50 \text{ MeV} < E$	$2,5 + 3,25 e^{-[\ln(0,04 En)]^2 / 6}$
Protons, et pions chargés	2
Particules alpha, fragments de fission, ions lourds	20



GRANDEURS DE PROTECTION

Exemple pour un neutron dit « froid »

$$E = 0,001 \text{ eV} - w_R = 2,5$$

Exemple pour un neutron thermique

$$E = 0,025 \text{ eV} - w_R = 4,4$$

Exemple pour un neutron de fission

$$E = 4 \text{ MeV} - w_R = 13,2$$

Exemple pour un neutron rapide

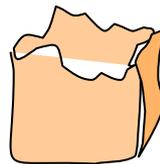
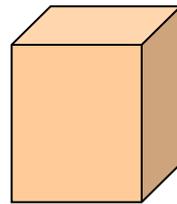
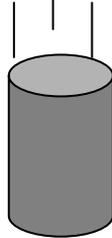
$$E = 14 \text{ MeV} - w_R = 7,7$$

Le coefficient varie entre 2,5 et 20.

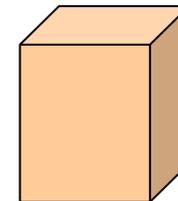
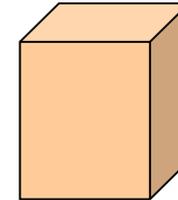
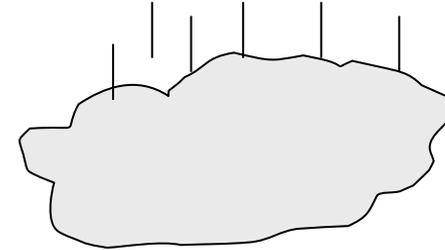


GRANDEURS DE PROTECTION

1 kg de plomb



1 kg de plumes



Avant

Après

La dose équivalente dépend de la nature du rayonnement et de la localisation du dommage (sensibilité du tissu cible)

GRANDEURS DE PROTECTION

La dose efficace E

La dose efficace est la généralisation à l'organisme entier de la notion de dose équivalente. La dose efficace E est en fait une dose, qui peut être une dose fictive, qui administrée de façon homogène au corps entier entraînerait les mêmes dommages tardifs que l'ensemble des doses reçues par le même individu au niveau des différents organes et à des moments différents.

Il s'agit donc bien de prendre en compte uniquement les effets stochastiques.



GRANDEURS DE PROTECTION

Elle s'exprime par la relation :

$$E = \sum H_T \cdot W_T$$

E : dose efficace

H_T : dose équivalente relative à l'organe T

W_T : facteur de pondération tissulaire de l'organe.

La dose équivalente et la dose efficace s'expriment en sievert (Sv).

Il conviendra donc de n'utiliser le sievert **QUE** dans le domaine des faibles doses.

Les valeurs numériques des facteurs de pondération tissulaires sont fixées par l'ICRP en fonction de critères biologiques relatifs aux organes critiques.



GRANDEURS DE PROTECTION

Unités pour la dose équivalente H et la dose efficace E : **le Sievert**

Dans la pratique, on emploie plutôt le mSv ou le μ Sv

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg (!)}$$

On peut définir aussi le débit de dose équivalente, qui est la dose équivalente par unité de temps.

Unité légale : le **Sievert par seconde**, mais ce n'est pas du tout pratique

On utilise plutôt : mSv/h ou μ Sv/h



GRANDEURS DE PROTECTION

Rolf Sievert

Radiobiologiste suédois
a eu l'idée d'exposer en laboratoire des
cellules à une dose absorbée similaire
(plutôt une faible dose) mais avec des
rayonnements de nature différente.



Il a constaté que pour les particules alpha il y avait 20 fois plus de décès cellulaires que pour les rayonnements bêta ou gamma. Il a donc émis l'hypothèse que la nuisance biologique des rayonnements n'était pas la même, au moins à faible dose.

De 1956 à 1962, il dirige l'ICRP, puis prend la direction de l'UNSCEAR (United Nations Commission on the Effects of Atomic Radiation) de 1958 à 1962.



GRANDEURS DE PROTECTION

TISSU OU ORGANE	Facteur de pondération pour les tissus w_T valeur donnée en %
Moelle osseuse (rouge), Colon, Poumon, Estomac, Sein, Autres tissus	12
Gonades	8
Vessie, Foie, Œsophage, Thyroïde	4
Surface des os, Cerveau*, Glandes salivaires*, Peau	1
Total	100

* Organes ajoutés par rapport à la CIPR 60



GRANDEURS DE PROTECTION

La **valeur numérique de la grandeur E** est celle qui doit être reportée dans le fichier des résultats dosimétriques des personnes soumises à surveillance en tant que personne exposée. C'est ce que le dosimètre individuel doit être capable de fournir.



GRANDEURS DOSIMÉTRIQUES

Les grandeurs physiques

Les grandeurs de protection

➤ Les grandeurs opérationnelles



GRANDEURS OPÉRATIONNELLES

Quelles que soient les grandeurs de protection «dose équivalente» ou «dose efficace» **elles ne sont pas mesurables**.

Afin de répondre à l'attente des organismes chargés de suivre les expositions des personnels, en 1985, l'ICRU (International Commission on Radiation Units and measurements) a introduit dans son rapport n° 39 le concept des grandeurs opérationnelles pour l'usage pratique en radioprotection dans les cas d'exposition externe.

Ces grandeurs devaient permettre une estimation «raisonnable» de la grandeur de protection. Les grandeurs opérationnelles sont définies comme **«équivalent de dose»**.



GRANDEURS OPÉRATIONNELLES

Les grandeurs opérationnelles ont les caractéristiques suivantes :

- Elles sont mesurables par des instruments équipés de détecteurs de rayonnements externes ;
- Elles sont **des estimateurs généralement majorants** de la dose efficace et des doses équivalentes aux organes, pour les rayonnements fortement et faiblement pénétrants ;
- Pour des rayonnements, des énergies et des angles d'incidence différents, les valeurs de chacune de ces grandeurs sont additives.



GRANDEURS OPÉRATIONNELLES

Définition des **grandeurs opérationnelles** pour la dosimétrie de zone ou d'ambiance

Ces grandeurs sont l'équivalent de dose ambient - $H^*(d)$ - pour les rayonnements fortement pénétrants et l'équivalent de dose directionnel - $H'(d, \Omega)$ - pour les rayonnements faiblement pénétrants.

L'équivalent de dose ambient - $H^*(d)$ - en un point dans le champ de rayonnement est l'équivalent de dose qui serait produit par le champ expansé et unidirectionnel* correspondant, dans la sphère ICRU** à une profondeur d , sur un rayon qui fait face à la direction du champ unidirectionnel.



GRANDEURS OPÉRATIONNELLES

Un champ de rayonnement, en général, est un champ où, en chaque point, la fluence et ses distributions énergétiques et angulaires sont quelconques.

Dans un champ expansé, la fluence et ses distributions énergétiques et angulaires sont les mêmes dans tout le volume considéré et identiques à celles du point de référence.

Dans un champ expansé et unidirectionnel, la fluence et sa distribution énergétique sont les mêmes que dans le champ expansé mais sa distribution angulaire est la même en tout point du volume considéré.

La profondeur d recommandée est de 10 mm
et l'on peut écrire : $H^*(10)$



GRANDEURS OPÉRATIONNELLES

** La sphère ICRU (ICRU Rapport 33, 1980) a 30 cm de diamètre, elle est constituée d'un matériau équivalent tissu d'une masse volumique de 1 g.cm^{-3} .

L'équivalent de dose directionnel - $H'(d, \Omega)$ - en un point dans le champ de rayonnement est l'équivalent de dose qui serait produit par le champ expansé correspondant dans la sphère ICRU à une profondeur d , sur un rayon et dans une direction spécifiée Ω .

La profondeur d recommandée est de 0,07 mm
et l'on peut écrire - $H'(0,07, \Omega)$



GRANDEURS OPÉRATIONNELLES

RAPPELS SUR LES RAYONNEMENTS

Particules	Portée dans l'air	Portée dans l'eau	Epaisseur de référence
alpha	5 cm	0,07 mm 70 µm	oui
bêta	10 m	1 cm 10 mm	oui
gamma	100 m	10 m	



GRANDEURS OPÉRATIONNELLES

Les appareils mesurant les **débits d'équivalent de dose** ambiant seront susceptibles de le faire pour les épaisseurs de référence définies :

$$H^*(10) \quad \text{et} \quad H'(0,07, \Omega)$$



Photo : MIRION

GRANDEURS OPÉRATIONNELLES

Définition de la grandeur opérationnelle pour la dosimétrie individuelle

Cette grandeur s'appelle **équivalent de dose individuelle** : $H_p(d)$

C'est l'équivalent de dose dans le tissu mou au point spécifié sur la surface du corps à une profondeur d.

Le champ de rayonnement est le champ réel où se trouve l'individu. Cette grandeur peut être mesurée à l'aide d'un dosimètre porté à la surface du corps.

Ce dosimètre peut être constitué d'un détecteur recouvert d'une épaisseur appropriée de matériau équivalent tissu.

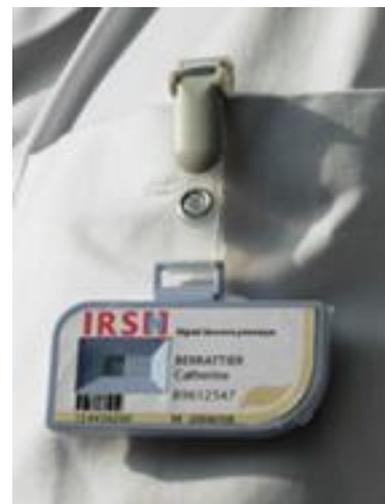


GRANDEURS OPÉRATIONNELLES

La profondeur d recommandée pour le contrôle des rayonnements fortement pénétrants est de 10 mm et l'on peut écrire : $H_p(10)$

La profondeur d recommandée pour le contrôle des rayonnements faiblement pénétrants est de 0,07 mm et l'on peut écrire : $H_p(0,07)$

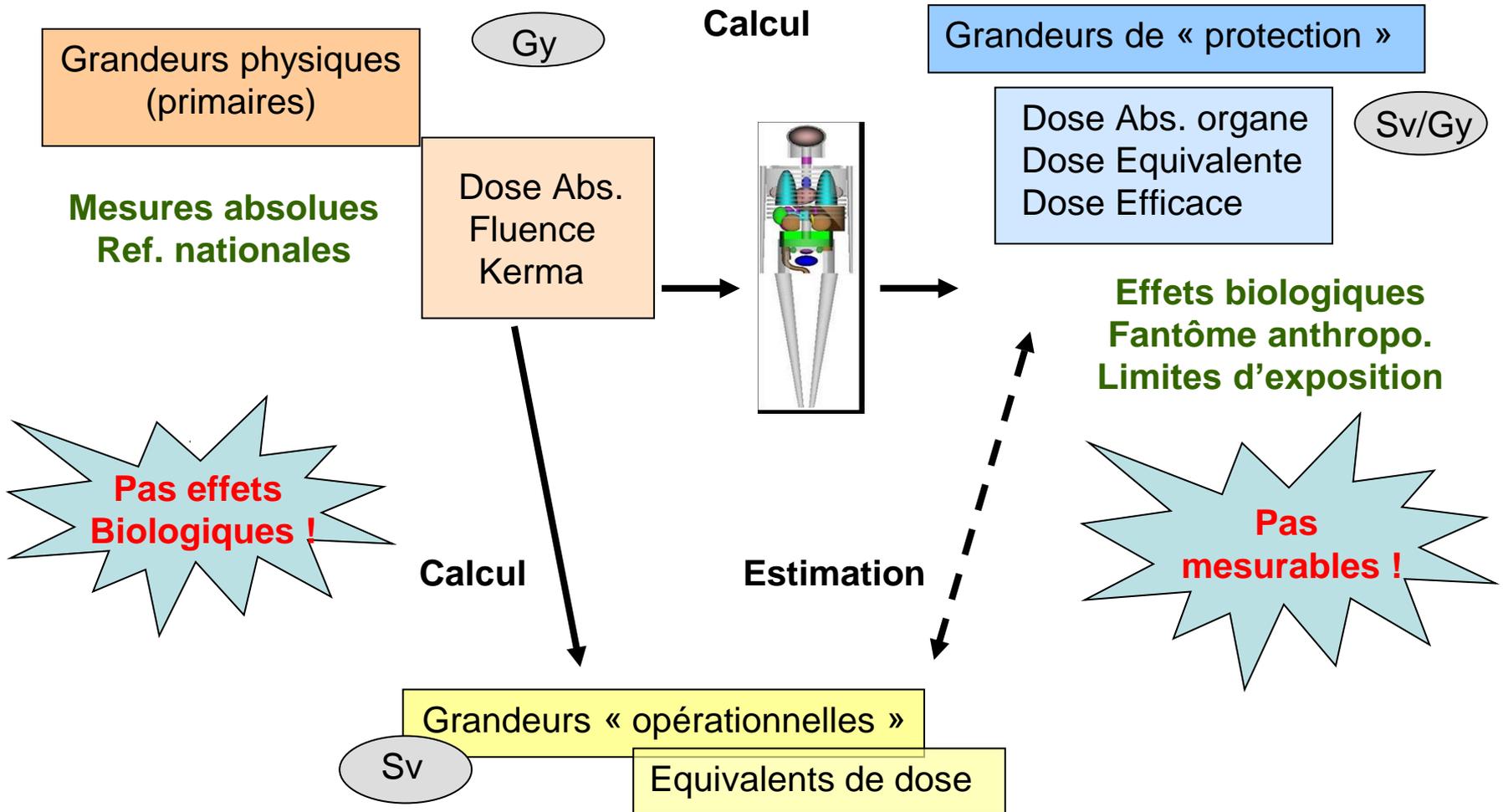
Exemple de dosimètres



Photos : IRSN et Landauer



SYNTHÈSE



SYNTHÈSE

