

## DISCUSSION SUR LES DOSES ET LEUR NATURE

### Extrait des comptes-rendus du colloque

#### « Actualités en radiobiologie et radioprotection » - Paris – Mars 2000 -

Editions Nucléon  
(p 243-249)

**Question :** Au milieu de toutes ces unités, quelle est la plus importante?

**B. Aubert :** La dose absorbée,  $D_T$ , est pour un physicien la grandeur fondamentale qui peut se mesurer ou se calculer. Elle représente l'énergie déposée, donc des électronvolts ou des joules, dans un organisme et plus précisément en un point de l'organisme. La dose se définit comme le rapport de la quantité " dE " d'énergie déposée par la masse dm du volume considéré. La notation " dE " signifie une toute petite quantité d'énergie déposée dans une petite masse dm,  $dE/dm$  est la limite vers laquelle tend le rapport  $E/m$  quand dE et dm deviennent très petits. En termes d'unité, dans le système international, on a des joules par kg et le nom de gray a été donné à ce rapport.

Dans la pratique, que ce soit de la radiothérapie, de la médecine nucléaire, de la radiologie, on parlera plutôt de dose moyenne car cette quantité  $dE/dm$  varie d'un point à l'autre. Donc on sait mesurer, on sait calculer la dose absorbée dont l'unité est le " gray (Gy) ".

C'est plus compliqué quand on passe à des grandeurs dosimétriques qui sont calculées au moyen de coefficients. En effet pour certains rayonnements, les effets stochastiques sont plus fréquents que pour d'autres. Pour prendre en compte cette différence, il a été introduit la grandeur  $H_T$  appelée dose équivalente dont l'unité est le " sievert (Sv) " Celle-ci est égale au produit de la dose absorbée moyenne dans l'organe, ou dans le tissu, par un nombre sans dimension  $W_R$ , un facteur de pondération qui tient compte de la nature du rayonnement (photons, électrons, neutrons, alpha, ...). Dans le domaine de radiodiagnostic, nous n'avons que des rayonnements ayant un facteur de pondération égal à 1. Dans ce cas, la dose absorbée à un organe et la dose équivalente sont numériquement égales, il n'y a que l'unité qui change. On peut parler en sievert ou en gray.

Dernière étape : la dose efficace au patient.

Cette grandeur a pour but d'estimer le détriment de l'ensemble des effets stochastiques, en fonction de l'endroit, où la dose est absorbée et des risques stochastiques qui sont variables selon les tissus. Pour cela on pondère la dose équivalente,  $H_T$ , pour chacun des tissus par un facteur  $W_T$ , puis on somme toutes ces contributions pour avoir la dose efficace, E. La dose efficace reçue par une personne, s'exprime également en sievert et est égale à la somme des effets sur tous les tissus irradiés directement ou indirectement (il ne faut pas oublier le rayonnement diffusé). Lorsqu'on regarde des publications, si elles sont récentes, cette dose efficace a été calculée avec les facteurs actuels de pondération. Si vous regardez des publications plus anciennes, vous aurez pour les mêmes doses absorbées, des doses efficaces différentes car les facteurs de pondérations étaient différents (écart maximum d'un facteur 2). En fonction de la situation, on aura intérêt de parler de doses absorbées ou de dose efficace. Par exemple dans une mammographie, parler de dose efficace ça n'a aucun sens. L'organe est très petit et les autres organes ne sont pas irradiés, ce qui est intéressant dans une mammographie c'est le sein. Donc là il faut veiller à ce que la dose absorbée au milieu de la glande respecte la dose standard par exemple 1 milligray. Si je m'amuse à calculer la dose efficace pour une mammographie, j'aurais peut-être 0,1 ou 0,01 millisievert, ce qui n'a aucun sens, alors que 1 milligray c'est important.

**Personne dans la salle :** Comment ont été calculés ces facteurs?

**M. Tubiana :** D'abord pourquoi historiquement est-on arrivé à ces concepts? Au début, on avait le rad (NB: Unité aujourd'hui remplacé par le Gray). Le rad est la quantité d'énergie par unité de masse. Mais en 1950-1955 un problème s'est posé, il y a eu des irradiations où ont été mélangés des photons et des neutrons. Par exemple au voisinage d'une centrale nucléaire. Or le risque de cancer est disons à peu près dix fois plus grand pour une même dose selon qu'il s'agit de photons ou de neutrons. Donc pour les besoins de la radioprotection, ou à l'occasion d'un accident nucléaire, on ne peut pas utiliser le rad, puisqu'un rad est beaucoup plus dangereux si c'est un rad de neutron qu'un rad de photons, donc on s'est dit il faudrait à côté

du rad une autre unité qui tienne compte de la nature des rayonnements. C'est comme ça qu'on a introduit le rem qui est le rad multiplié par un facteur de pondération comme vient de vous l'expliquer très bien Aubert. Ce sont les prédécesseurs du gray et du sievert. Le facteur de pondération tient compte uniquement de la nature des radiations, théoriquement il devrait aussi tenir compte du débit de dose.

**Personne dans la salle :** Ces facteurs de qualité sont sortis de quoi?

**M. Tubiana :** Ces facteurs de qualité sont basés sur les expériences de radiobiologie. Il suffit de multiplier le rad par le facteur de qualité pour avoir des rems, ou un gray par le facteur de qualité pour avoir un sievert. Je m'empresse de dire que toutes ces unités sont uniquement des unités de radioprotection, elles ne sont pas utilisables en radiobiologie ou en radiothérapie, car les coefficients ont été choisis pour la radioprotection. Par exemple en radiothérapie on ne peut pas utiliser le sievert parce que le facteur d'efficacité biologique relative pour la neutronthérapie est d'environ deux à trois mais jamais dix. Alors revenons à la radioprotection par exemple pour un examen de radiologie. On se rend compte tout de suite que le rad ou le gray n'est pas une bonne unité, parce que si vous irradiez le poignet qui est petit ou si vous irradiez le sacrum qui gros et est rempli de moelle osseuse, 1 gray au sacrum n'est pas du tout la même chose que 1 gray au poignet. Les risques de leucémie, ou d'ostéosarcome, sont très différents. Donc si l'on recherche une grandeur qui exprime le risque de cancer, l'approche doit être différente. De même pour le risque des effets génétiques. Ainsi une même dose absorbée à des différentes régions de l'organisme, entraîne des risques très différents. On vous a parlé hier par exemple du risque de l'irradiation de la thyroïde d'un enfant. Donc 1 sievert à la thyroïde n'est pas la même chose qu'un sievert à d'autres organes. On a donc cherché à introduire une unité tenant compte du risque cancérigène. L'idiotie qui a été faite et dont on se rend compte aujourd'hui est d'avoir utilisé le même terme " le sievert ". Si on avait appelé cette nouvelle unité le " tartempion ", il n'y aurait aucune ambiguïté. Le malheur est qu'on utilise le sievert dans deux sens différents, une fois pour désigner la dose équivalente, et une fois pour désigner la dose efficace. D'où une permanente confusion.

Pour exprimer le risque cancérigène, on a calculé celui-ci pour les différents tissus, d'où cette série de facteurs. Par exemple irradier la moelle osseuse entraîne un risque de leucémie. Irradier la peau, cause un risque de cancer beaucoup plus faible même si on en irradie une grande quantité, de plus le cancer de la peau est moins grave. Donc on a pondéré en fonction du tissu et de la gravité du cancer induit. Au fur et à mesure de l'accroissement des connaissances le risque cancérigène est évalué avec plus de finesse. On est donc périodiquement obligé de changer les coefficients. En toute rigueur, on devrait les changer tous les ans. Bien entendu, on ne peut pas le faire, mais on aura périodiquement de nouveaux coefficients avec cette difficulté que nous a expliquée Aubert, c'est qu'on ne peut plus comparer un sievert de dose efficace calculé en 1980 avec un sievert calculé en 2000. A partir du moment où c'est une unité de risque, on est obligé de changer la valeur des coefficients. Bien entendu ces coefficients tiennent compte à la fois du risque cancérigène et de la quantité de tissus. Vous allez me dire qu'on devrait aussi tenir compte de l'âge, puisque chez l'enfant, le risque plus grand. Mais comme on ne peut pas avoir un sievert qui varie avec l'âge, on a été obligé de prendre des coefficients moyens. La dose efficace ne donne qu'un ordre de grandeur, elle n'a pas la prétention d'exprimer un risque avec précision.

Considérons une situation très simple comme l'irradiation naturelle. Selon qu'on s'exprime en dose équivalente ou en dose efficace, les chiffres sont très différents. L'irradiation naturelle est un mélange alpha et de photons. Donc on ne peut pas s'exprimer en rad, on est obligé de s'exprimer en rem. Mais ça ne suffit pas puisque dans l'irradiation naturelle certains radioéléments sont fixés dans les os, donc pour une même dose en rad ou en rem, la dose efficace peut être très différente. Ainsi pour l'irradiation naturelle on dira, dans le même article, qu'elle est en France de 1 millisievert et un peu plus loin de 2,5 millisievert. Dans le premier cas, on s'est exprimé en dose équivalente et dans le second en dose efficace et donc on a introduit une autre pondération pour tenir compte de la localisation des émetteurs alpha dans les os. Aussi quand on parle de sievert, on doit spécifier sievert dose équivalente ou en sievert dose efficace.

**Personne dans la salle :** Est-ce qu'on peut dire que la dose absorbée est une dose physique et que la dose efficace est une dose de nature biologique et qu'elle prévoit un risque?

**M. Tubiana :** On ne peut pas dire qu'elle est une dose biologique, on peut dire qu'elle est une dose conçue pour la radioprotection. Elle prévoit un risque codifié de façon arbitraire qui est impropre pour la biologie où l'on a besoin de coefficients bien adaptés à la situation. Pour reprendre la terminologie classique c'est une dose qui exprime la quantité de détrimement mais non pas de risque cancérigène. De plus, on mélange risque génétique pour les gonades et risque cancérigène.

**Personne dans la salle :** Ces coefficients est-ce qu'ils ont été appréciés pour des faibles débits ou alors pour des forts débits?

**M. Tubiana :** Vous posez une question importante. En réalité ils devraient varier en fonction du débit. Et c'était ce qui était prévu dans les textes initiaux. Mais on s'est rendu compte que c'était déjà très compliqué

comme ça et que si en plus on faisait varier les coefficients en fonction du débit et en fonction de l'âge, plus personne n'y comprendrait rien.

**B. Aubert** : Cette grandeur de dose efficace a des avantages et des inconvénients, l'avantage est de globaliser le détriment et de pouvoir affecter à n'importe quel type d'exposition une valeur qu'on comparera à une autre irradiation, par exemple l'irradiation naturelle.

**Personne dans la salle** : Vous avez parlé de dose efficace au patient, est-ce quand on parle de dose efficace c'est la dose reçue par la totalité des organes du patient, ou bien est-ce qu'on va parler de dose efficace au sein, au poumon?

**B. Aubert** : La dose efficace est une sommation sur tous les tissus, elle traduit le détriment qu'aurait subi le patient en cas d'exposition uniforme de tout son organisme. Quand on parle d'un organe, ça veut dire une dose absorbée, éventuellement une dose équivalente mais je préfère la laisser de côté. Justement pour le pédagogue, la difficulté c'est de faire comprendre qu'on est avec des chiffres mais qu'on n'est plus dans le domaine strictement de la science.

**M. Tubiana** : Ce sont des chiffres un peu arbitraires qui expriment la quantité de nocivité, des indices du risque mais pas la quantité de risque. On utilisait autrefois la dose intégrale qui était égale à la quantité d'énergie délivrée à l'organisme, c'était une unité pleinement satisfaisante sur le plan physique mais discutable sur le plan médical car 1 joule aux muscles ce n'est pas la même chose qu'un joule à la thyroïde. Mais il faudrait, surtout pour le scanner et la radiothérapie, réintroduire un concept de ce type. Irradier la moitié des poumons, ce n'est pas la même chose qu'irradier la totalité des deux poumons. Peut-être la notion de produit dose. surface dont B. Aubert nous a parlé apporte une réponse à cette question.