

## *Note d'information*

# La surveillance des travailleurs exposés aux neutrons

Suite à la publication par l'IRSN du « Bilan 2010 des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants »<sup>1</sup>, plusieurs articles dans les médias ont fait état de difficultés à connaître les doses dues aux neutrons reçues par les travailleurs des installations nucléaires. Cette note d'information apporte des éléments permettant de mieux comprendre la problématique spécifique posée par l'exposition à ce type de rayonnement et décrit la situation telle qu'elle se présente aujourd'hui pour assurer la surveillance des travailleurs qui y sont exposés.

### *Qui sont les travailleurs exposés aux neutrons ?*

L'exposition aux neutrons concerne en France un peu plus de 10 % de l'effectif total des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants. Il s'agit essentiellement des personnels travaillant dans les installations du cycle de l'industrie nucléaire, en particulier dans les ateliers de fabrication et de retraitement du combustible et dans les centrales nucléaires, ou encore ceux intervenant pour la décontamination des châteaux de transport du combustible irradié. Des personnels peuvent aussi être exposés aux neutrons auprès d'accélérateurs de particules utilisés dans les domaines de la médecine, de la recherche ou encore de l'industrie, lorsque ces particules ont une énergie élevée. Enfin, les personnels navigants sont exposés aux neutrons qui constituent une part significative du rayonnement cosmique en altitude.

### *Quelle est la particularité du rayonnement neutronique ?*

La gamme d'énergie des neutrons auxquels peuvent être exposés les travailleurs des divers domaines d'activité est très étendue, de 1 meV ( $10^{-3}$  électron-volt<sup>2</sup>) à 100 MeV ( $10^8$  électron-volt), voire plus pour le rayonnement cosmique. Lorsqu'ils interagissent avec les matériaux de l'environnement ou la matière vivante, les neutrons créent, par interactions nucléaires, des particules secondaires diverses (ions, photons...) à l'origine des dépôts d'énergie dans les tissus. Contrairement aux rayonnements X ou  $\gamma$  qui, pour une dose donnée, produisent des effets biologiques identiques quelle que soit leur énergie (au moins aux énergies les plus couramment rencontrées), les neutrons produisent des effets biologiques bien plus importants que les rayonnements X ou  $\gamma$  et fortement dépendants de leur énergie (facteur 5 à 20 selon leur énergie).

### *Quelle est l'évolution des connaissances scientifiques concernant les neutrons ?*

Jusqu'à la fin des années 1990, l'attention portée aux neutrons était moindre que celle portée aux autres rayonnements auxquels les travailleurs sont susceptibles d'être exposés, les premiers représentant un plus faible enjeu radiologique que les derniers. Au début des années 1990, en s'appuyant sur les résultats d'études scientifiques, et notamment sur le suivi épidémiologique de la cohorte des survivants des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki, la Commission Internationale de Protection radiologique (CIPR)<sup>3</sup>, a revu à la hausse le facteur de pondération<sup>4</sup> pour les neutrons, notamment pour les neutrons

<sup>1</sup> Télécharger le [rapport de l'IRSN](#).

<sup>2</sup> eV = électron-volt : unité d'énergie correspondant à  $1,6 \cdot 10^{-19}$  joule

<sup>3</sup> Recommandations 1990 de la Commission internationale de protection radiologique. Publication 60. 1993

d'énergie comprise entre 100 keV ( $10^5$  électron-volt) et 2 MeV ( $10^6$  électron-volt) . Parallèlement, la CIPR a recommandé un abaissement de la limite de dose efficace<sup>5</sup> d'un facteur 2,5. La dosimétrie des neutrons est alors devenue un véritable enjeu pour la radioprotection des travailleurs alors que, de par leur nature, les neutrons ne sont pas aisément détectables.

### ***Quelles sont les évolutions techniques de la dosimétrie des neutrons ?***

Au début des années 1990, deux systèmes de dosimétrie des neutrons prédominent :

- Le dosimètre à albédo<sup>6</sup> basé sur la détection des neutrons thermiques à l'aide de détecteurs thermoluminescents. La sensibilité de ce type de dosimètre dépend très fortement du spectre en énergie des neutrons, ce qui en limite l'utilisation pratique aux lieux de travail où le spectre neutronique est bien connu et stable. Il est utilisé au CEA et à AREVA (alors COGEMA).
- Le dosimètre photographique à émulsion nucléaire (film NTA) qui ne permet que la détection des neutrons d'énergie supérieure à environ 1 MeV, ce qui limite son domaine d'utilisation à des spectres de neutrons 'rapides' (auprès d'accélérateurs par exemple).

Ces deux types de dosimètres sont peu adaptés aux spectres de neutrons rencontrés dans les installations d'EDF. EDF évalue alors les doses neutrons en appliquant à la dose photons mesurée par le dosimètre individuel porté par chaque travailleur exposé, le rapport moyen établi pour chaque poste de travail entre les débits de dose gamma et neutron.

Des « dosimètres à bulles » sont par ailleurs expérimentés puis mis en service dans un certain nombre de centrales. Cependant, ce type de dosimètre s'est avéré extrêmement sensible aux conditions environnementales (température notamment) et ne pouvait pas être considéré comme une solution fiable au problème posé.

Conscients de la complexité technique de la dosimétrie des neutrons et des enjeux en termes de radioprotection, des équipes spécialisées lancent, dans les années 1990, de nouveaux programmes de recherche et développement pour faire progresser les systèmes de détection des neutrons, tant passifs qu'électroniques.

En France, un groupe de travail incluant les exploitants nucléaires dont EDF et l'IRSN (alors IPSN) est créé pour définir le cahier des charges du dosimètre susceptible de répondre aux besoins identifiés. Ces travaux, pour lesquels l'IRSN fut un moteur tant au niveau national qu'international, conduisirent *in fine* à la mise au point de nouveaux systèmes de détection. A partir de 2004, des détecteurs solides de traces nucléaires vont ainsi commencer à être utilisés pour le suivi dosimétrique de l'exposition aux neutrons chez EDF, pour ses agents et pour les travailleurs des entreprises prestataires.

### ***Les évolutions réglementaires de la dosimétrie des neutrons***

Avant l'année 2000, la dosimétrie des neutrons a le statut de « dosimétrie complémentaire » par rapport à celle des photons X et gamma, obligatoire pour tous les travailleurs exposés. Les doses neutrons sont alors comptabilisées dans la « dose corps entier »<sup>7</sup>. Ce n'est qu'à partir de mi-2001 que les valeurs de dose pour les rayonnements photoniques et pour les neutrons commencent à être comptabilisées séparément. Le

---

<sup>4</sup> Le facteur de pondération des rayonnements a été introduit par la CIPR pour rendre compte de l'efficacité biologique relative des rayonnements, variable selon leur type et leur énergie.

<sup>5</sup> La dose efficace est un indicateur de risque utilisé en radioprotection. Elle prend en compte les doses délivrées à chacun des organes du corps humain exposés à des rayonnements ionisants, la nature de ces rayonnements ainsi que la sensibilité propre des différents organes à ces rayonnements. Elle s'exprime en sievert (Sv) ou ses sous-unités.

<sup>6</sup> Le principe de ce dosimètre consiste en la détection des neutrons qui sont ralentis par l'organisme et réémis par celui-ci.

<sup>7</sup> Dose absorbée sous 3 mm de tissu due aux photons (X, gamma) et aux neutrons.

décret 2003/296 relatif à la protection des travailleurs conduit à passer de la « dose corps entier » à l'équivalent de dose individuel Hp(10), correspondant à un équivalent de dose absorbée dans les tissus mous à la profondeur de 10 mm, et confère à la dosimétrie des neutrons un statut égal à celui de la dosimétrie des photons.

Les difficultés techniques rencontrées pour la dosimétrie des neutrons, combinées à ces évolutions réglementaires dans la façon de considérer l'évaluation de l'exposition, expliquent pourquoi la traçabilité de l'exposition aux neutrons au fil du temps ne peut être décrite simplement.

### ***En 2011, quel est le suivi des travailleurs exposés aux neutrons ?***

Aujourd'hui, le suivi dosimétrique individuel passif de l'exposition aux neutrons est assuré, conformément à la réglementation, pour tous les travailleurs indépendamment de leur statut d'emploi, dès lors que l'étude du poste de travail met en évidence un risque d'exposition à ces particules. Ce suivi est assuré en routine, de manière satisfaisante, soit par des détecteurs solides de traces (dosimètres fournis par LANDAUER EUROPE, le Service de Protection Radiologique des Armées et l'IRSN), soit par des dosimètres thermoluminescents à albédo (dosimètres fournis par AREVA NC). Parallèlement, les travailleurs doivent être équipés d'un dosimètre opérationnel (électronique) lors de toute intervention en zone contrôlée. La traçabilité de tous les résultats du suivi dosimétrique de chaque travailleur, y compris la dose neutron, est assurée au niveau national par leur centralisation dans le système d'information SISERI<sup>8</sup> géré par l'IRSN.

Le système SISERI a été mis en service en 2005 mais l'exhaustivité de la collecte des résultats des suivis dosimétriques individuels, compte tenu de la multiplicité des acteurs, n'a été effective que progressivement. A ce jour, subsistent encore quelques lacunes notamment pour ce qui concerne la transmission des résultats de l'exposition aux neutrons des travailleurs chez EDF. Avec la résolution de problèmes de logistique interne à cette entreprise, SISERI devrait en 2012 recevoir l'intégralité des mesures de dosimétrie individuelle des neutrons.

---

<sup>8</sup> <http://www.irsn.fr/siseri>