

RADON DANS L'EAU

II - CONSEQUENCES DOSIMETRIQUES ET SANITAIRES DE L'INGESTION DE RADON DISSOUS DANS L'EAU DE BOISSON

En raison de la grande volatilité du radon et de sa période radioactive, l'eau mise en bouteille contient peu ou pas de radon. Seule l'eau prélevée dans un puits ou arrivant au robinet est susceptible d'en contenir de manière significative.

Il importe également de rappeler que la voie prépondérante d'exposition de la population au radon résulte de l'inhalation du radon présent dans l'air. De ce fait, les conséquences dosimétriques et sanitaires de l'ingestion de radon dissous dans l'eau sont de second ordre par rapport à celles résultant de l'inhalation de radon gazeux. De ce fait, elles sont à ce jour, beaucoup moins documentées que celles concernant l'exposition interne par inhalation. De plus, les résultats des études épidémiologiques doivent être interprétés avec précaution, car l'exposition due à l'ingestion est fréquemment accompagnée - et donc difficile à séparer - de celle due à l'inhalation du radon après dégazage.

DOSIMETRIE DU RADON INGERE AVEC L'EAU DE BOISSON

Le premier paramètre à prendre en compte pour le calcul de la dose due au radon ingéré avec l'eau de boisson, est la quantité d'eau consommée par les individus. Les quantités moyennes journalières consommées en fonction de l'âge des individus sont indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Consommations journalières d'eau en fonction de l'âge [1].

Classe d'âge	Consommation (L.j ⁻¹)
Nourrisson	0,55
1 an	0,8
5 ans	1,3
10 ans	1,5
15 ans	1,5
Adulte	2,0

Le radon étant un émetteur de particules alpha, donc avec un faible parcours dans la matière, c'est la manière dont il est transporté dans l'organisme qui va être prépondérant dans la détermination de son impact dosimétrique.

Ses descendants à vie courte (²¹⁸Po, ²¹⁴Bi, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Po), du fait de leur courte période (< 1h) ont une faible probabilité d'atteindre des cellules radiosensibles et ne contribuent donc que très peu à la dose interne par ingestion (< 3%) [25].

Après ingestion, le radon irradie la paroi de l'estomac. La dose reçue par l'estomac dépend de la période de rétention dans cet organe et surtout de la diffusion du radon à travers la paroi, laquelle conditionne le dépôt de l'énergie apportée par les particules alpha de portée voisine de 50 µm dans

les cellules radiosensibles situées à une profondeur de 60 à 100 µm de la lumière de l'estomac [2]. Suivant les hypothèses faites sur sa période de rétention dans l'estomac, le radon ingéré est susceptible d'irradier aussi, de façon moins significative, les autres régions du tractus alimentaire.

Dans une moindre mesure, une fraction du radon entre dans la circulation sanguine et traverse le foie avant de se répartir dans les différents tissus, avec une affinité particulière pour la graisse, ou d'être exhalée *via* le poumon [3, 4]. En conséquence, après la paroi de l'estomac, les tissus sensibles les plus irradiés sont supposés être les cellules hématopoïétiques de la moelle osseuse, les cellules précurseurs de l'os situées à la surface de la moelle, le foie, le rein, le cerveau, l'intestin grêle, le colon et le poumon [4].

Suivant les auteurs et les hypothèses retenues, les estimations de dose efficace engagée chez l'adulte par unité d'activité de radon ingéré s'échelonnent sur deux ordres de grandeur (tableau 2) [5]. Le National Research Council américain a également estimé des coefficients de dose efficace engagée chez les enfants plus élevés que chez l'adulte (tableau 3) [4]. Outre ce facteur de conversion, la dose par ingestion dépend également de la consommation d'eau annuelle. Ainsi, en fonction de ces deux paramètres les estimations concernant la dose efficace engagée annuelle, absorbée par un adulte à la suite d'ingestion d'eau contenant 1 000 Bq.l⁻¹ varient entre 0,2 mSv et 1,8 mSv. Dans l'état actuel des connaissances, ce niveau de dose est comparable à la dose qui résulte de l'exposition interne par inhalation pour une activité volumique de radon égale à 200 Bq.m⁻³ à l'intérieur d'une habitation [6].

Tableau 2 : Coefficients de dose efficace engagée suite à l'ingestion de radon par un adulte en appliquant le facteur de pondération $w_T = 0,12$ pour l'estomac [5].

Référence	Sv.Bq ⁻¹
[7] von Dobein and Lindell, 1964	1,3 10 ⁻⁸
[8] Hursh et al., 1965	1,3 10 ⁻⁸
[9] Suomela and Kahlos, 1972	1,6 10 ⁻⁸
[10] World Health Organisation, 1979	2,5 10 ⁻¹⁰
[11] Kendall et al., 1988	1,9 10 ⁻⁸
[12] Crawford-Brown, 1989	1,6 10 ⁻⁸
[13] Brown and Hess, 1992	1,1 10 ⁻⁸
[14] Harley and Robbins, 1994	1,9 10 ⁻¹⁰
[15] Sharma et al., 1997	9,8 10 ⁻⁹
[4] National Research Council, 1999	3,5 10 ⁻⁹
[3] Khursheed, 2000	1,0 10 ⁻⁸

Tableau 3 : Coefficients de dose efficace engagée suite à l'ingestion de radon par un enfant [3].

âge à l'ingestion	Sv.Bq ⁻¹
Nourrisson	4,0 10 ⁻⁸
1 an	2,3 10 ⁻⁸
5 ans	1,0 10 ⁻⁸
10 ans	5,9 10 ⁻⁹
15 ans	4,2 10 ⁻⁹
Adulte	3,5 10 ⁻⁹

Comme évoqué plus haut, une fraction significative du radon dissous dans l'eau est susceptible d'être transférée dans l'air ambiant et de contribuer à une exposition par inhalation : il est

généralement admis que 10 Bq.l^{-1} de radon 222 dans l'eau contribuent à générer 1 Bq.m^{-3} de radon dans l'atmosphère intérieure (cf. fiche radon dans l'eau partie I). L'essentiel de la dose efficace engagée suite à l'exposition par inhalation résulte du dépôt dans le poumon de l'énergie alpha potentielle des descendants à vie courte du radon, exprimée en J.h.m^{-3} , et doit être évaluée par l'application des facteurs de conversion conventionnels de $1,1 \text{ Sv par J.h.m}^{-3}$ dans les habitations et $1,4 \text{ Sv par J.h.m}^{-3}$ sur les lieux de travail [16].

ETUDES EPIDEMIOLOGIQUES RELATIVES A LA PRESENCE DE RADON DANS L'EAU DE BOISSON

Le risque de cancer du poumon résultant de l'inhalation de radon est d'une ampleur suffisante pour avoir été clairement mis en évidence par des études épidémiologiques. Ainsi, sur la base de telles études réalisées chez des mineurs d'uranium et en population générale, mais également de données expérimentales, le Centre International de Recherche sur le Cancer a classé le radon comme cancérigène pulmonaire avéré [27].

S'agissant du radon dissous dans l'eau, les organes cibles potentiels sont différents : système gastro-intestinal, rein, foie, sang, système nerveux central. Cependant, compte tenu de la faible ampleur du risque attendu d'après les estimations dosimétriques disponibles, il est peu vraisemblable que celui-ci, s'il existe, puisse être détecté *via* des études épidémiologiques sur des cohortes de taille moyenne. De fait, les études réalisées ne l'ont pas mis en évidence.

Seules trois études épidémiologiques ont étudié les relations entre concentrations de radon dans l'eau et survenue de cancers gastro-intestinaux. Une étude de Collman et *al.* réalisée en Caroline du Nord (USA) n'a pas rapporté d'association entre concentrations moyennes de radon, estimées à l'échelle de comtés sur la base de mesures dans les eaux et des caractéristiques des sols, et taux de mortalité par cancer de l'estomac [17]. Une étude de Kjellberg et Wiseman réalisée en Pennsylvanie (USA) selon une méthodologie similaire a rapporté une association statistiquement significative, au seuil conventionnel de 5%, entre taux de cancers de l'estomac et concentrations moyennes de radon, également estimées à l'échelle de comtés [18]. Toutefois, l'ampleur de l'association observée n'est pas indiquée dans cette étude. Enfin, en Finlande, Auvinen et *al.* n'ont pas observé de relation entre concentrations de radon mesurées dans des eaux de puits privés et survenue de cancers de l'estomac, dans le cadre d'une étude basée sur des données individuelles [19].

Les études disponibles sur les autres effets sanitaires potentiels liés à la présence de radon dans l'eau sont également rares.

Les relations entre taux de mortalité par leucémies et concentrations moyennes de radon dans l'eau par comté ont été étudiées dans l'étude de Collman et *al.* citée ci-dessus, laquelle n'a pas rapporté d'association significative [17]. Une association significative a en revanche été observée pour les enfants, dans une étude ultérieure menée dans le même contexte et selon la même méthodologie [20]. Auvinen et *al.*, en Finlande, n'ont pas observé de relation entre survenue de leucémies chez l'adulte et concentrations de radon mesurées dans les eaux de puits [21]. Seiler, à Fallon dans le Nevada (USA), alors qu'il recherchait les causes d'un agrégat de cas de leucémies infantiles, n'a pas observé de différence significative de concentrations de radon dans l'eau de puits entre les cas et la population témoin [22].

Deux études ont testé l'existence d'effets sur le rein. En Caroline du Nord, Collman et *al.* n'ont pas mis en évidence de relation entre taux de mortalité par cancer du rein chez l'enfant et concentration de radon dans l'eau, estimés par comtés [20]. Kurttio et *al.*, en Finlande, n'ont pas observé d'association entre survenue de cancers du rein chez l'adulte et concentration de radon dans les eaux de puits [23].

Des effets sur le cerveau et le système nerveux central ont été recherchés dans le cadre de deux études menées respectivement dans le Maine (USA) [24] et en Caroline du Nord (USA) [20]. La première n'a pas mis en évidence d'association avec les concentrations moyennes de radon dans l'eau estimées à l'échelle de comtés [24]. La seconde a rapporté un risque significativement accru dans des comtés présentant des concentrations de radon « intermédiaires » par rapport aux comtés présentant les niveaux les plus faibles, mais pas de risque significativement accru dans des comtés présentant des concentrations de radon « élevées » par rapport aux comtés présentant les niveaux les plus faibles [20].

Deux études ont testé l'existence d'effets sur le cancer du colon et n'ont pas rapporté d'association [17, 18]. A la connaissance de l'IRSN, aucune étude n'a traité d'effets potentiels sur l'intestin grêle ou sur le foie.

De cette étude bibliographique, l'IRSN retient qu'une limite majeure des études relatives au radon dans l'eau concerne la connaissance de l'exposition au radon réellement subie par les populations concernées. En effet, la relation entre l'activité volumique du radon mesurée dans une source d'approvisionnement en eau et la dose reçue *via* sa consommation dépend fortement des modalités d'utilisation de l'eau par les populations, facteur généralement non ou mal pris en compte par les études disponibles. En outre, l'utilisation d'indicateurs agrégés dans certaines études (ex : valeurs moyennes d'activité volumique du radon dans l'eau par comté) ne tient pas compte des contrastes d'exposition existant au sein même des unités géographiques considérées et est ainsi susceptible d'introduire un biais. Enfin, une partie importante du radon présent dans l'eau étant transférée dans l'air ambiant, la mesure de l'activité volumique du radon dans l'eau témoigne au moins autant de l'exposition consécutive survenant par inhalation que de celle survenant par ingestion, sans qu'il soit possible d'apprécier rigoureusement la part de chacune.

Des auteurs britanniques ont ainsi estimé que, dans des circonstances normales, le risque sanitaire le plus important lié à la présence de radon dans l'eau du robinet résulterait de l'inhalation du gaz diffusé dans l'air, plutôt que de l'ingestion de l'eau chargée en radon [25].

Ainsi, dans l'état actuel des connaissances et à l'instar de Collman et *al.* [20], l'IRSN estime que la l'activité volumique du radon dans l'eau de boisson constitue davantage un indicateur d'exposition globale au radon (*via* l'air et l'eau de boisson) plutôt qu'un paramètre d'une évaluation adéquate d'une exposition spécifique résultant de la seule ingestion d'eau.

Par ailleurs, l'IRSN souligne que les études citées ci-dessus n'ont généralement pas tenu compte de l'influence de facteurs autres que la présence de radon dans l'eau, susceptibles d'influer sur le risque des pathologies étudiées. Dans le cas du cancer de l'estomac par exemple, des infections par *Helicobacter pylori*, la nature de l'alimentation ou encore le tabagisme sont ainsi susceptibles d'avoir biaisé les associations observées.

En résumé, en raison du faible niveau du risque étudié, et de leurs limites méthodologiques importantes, les études épidémiologiques disponibles sur les relations entre concentrations de radon dans l'eau et augmentation du risque de cancer de l'estomac ou de tout autre effet sanitaire, ne permettent pas de porter de conclusion robuste sur un éventuel risque sanitaire spécifique de l'ingestion de radon dissous dans l'eau de boisson [26].

Références

- [1] Cessac B., Beaugelin-Seiller k., Métivier J.M., Morin A., Murlon C., Vincent G., *CIBLEX - Banque de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué*, Rapport DPRE 02-03 / DPHD 02-02, IRSN, Juillet 2002
- [2] International Commission on Radiological Protection, 2006. Human alimentary tract model for radiological protection. ICRP Publication 100. Ann ICRP. 1-2.
- [3] Khursheed, A., 2000. Doses to systemic tissues from radon gas. Radiat Prot Dosim. 88, 171-181.
- [4] National Research Council, Risk assessment of radon in drinking water. Washington, DC. National Academy Press, 1999.
- [5] International Commission on Radiological Protection., 1990. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann ICRP. 21, 1-3.
- [6] Kendall, G. M., Smith, T. J., 2005. Doses from radon and its decay products to children. J Radiol Prot. 25, 241-56.
- [7] Von Döbeln, W., Lindell, B., 1964. Some aspects of radon contamination following ingestion. Arkiv. Fys. 27.
- [8] Hursh, J. B., et al., 1965. The Fate of Radon Ingested by Man. Health Phys. 11, 465-76.
- [9] Suomela, M., Kahlos, H., 1972. Studies on the elimination rate and the radiation exposure following ingestion of ²²²Rn rich water. Health Phys. 23, 641-52.
- [10] World Health Organisation, Radiological examination of drinking water. Report of WHO working group. EURO reports and studies 17, Copenhagen, 1979.
- [11] Kendall, G. M., et al., 1988. A Model to evaluate doses from radon in drinking water. Radiation Protection Bulletin. 97, 7-8.
- [12] Crawford-Brown, D. J., 1989. The biokinetics and dosimetry of radon-222 in the human body following ingestion of groundwater. Environmental Geochemistry and Health. 11, 10-17.
- [13] Brown, W. L., Hess, C. T., 1992. Measurement of the biotransfer and time constant of radon from ingested water by human breath analysis. Health Phys. 62, 162-70.
- [14] Harley, N. H., Robbins, E. S., 1994. A biokinetic model for ²²²Rn gas distribution and alpha dose in humans following ingestion. Environment International. 20, 605-610.
- [15] Sharma, N., et al., 1997. A compartmental model of water radon contamination in the human body. Health Phys. 72, 261-8.
- [16] Arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants (J.O. n° 262 du 13 novembre 2003, p. 19326).
- [17] Collman, G. W., et al., 1988. Radon-222 concentration in groundwater and cancer mortality in North Carolina. Int Arch Occup Environ Health. 61, 13-8.
- [18] Kjellberg, S., Wiseman, J. S., 1995. The relationship of radon to gastrointestinal malignancies. Am Surg. 61, 822-5.
- [19] Auvinen, A., et al., 2005. Radon and other natural radionuclides in drinking water and risk of stomach cancer: a case-cohort study in Finland. Int J Cancer. 114, 109-13.
- [20] Collman, G. W., et al., 1991. Childhood cancer mortality and radon concentration in drinking water in North Carolina. Br J Cancer. 63, 626-9.
- [21] Auvinen, A., et al., 2002. Uranium and other natural radionuclides in drinking water and risk of leukemia: a case-cohort study in Finland. Cancer Causes Control. 13, 825-9.
- [22] Seiler, R. L., 2004. Temporal changes in water quality at a childhood leukemia cluster. Ground Water. 42, 446-455.
- [23] Kurttio, P., et al., 2006. Well water radioactivity and risk of cancers of the urinary organs. Environ Res. 102, 333-8.
- [24] Hess, C. T., et al., 1983. Environmental radon and cancer correlations in Maine. Health Phys. 45, 339-48.

- [25] Kendall, G. M., Smith, T. J., 2002. Doses to organs and tissues from radon and its decay products. *J Radiol Prot.* 22, 389-406.
- [26] Al-Zoughool, M., Krewski, D., 2009. Health effects of radon: a review of the literature. *Int J Radiat Biol.* 85, 57-69.
- [27] International Agency for Research on Cancer, IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol 78. Ionizing radiation. Part 2: Some internally deposited radionuclides. International Agency for Research on Cancer. Lyon, France 2001.