

Chapitre 11 : Radiations ionisantes

Des extraits de ce chapitre se trouvent dans Ajrouche R, Roudier C, Cléro E, Ielsch G, Gay D, Guillevic J, et al. (2017). Quantitative Health Impact of indoor radon in France. Radiation & Environmental Biophysics. <https://doi.org/10.1007/s00411-018-0741-x> PMID:29737422

Introduction

Le Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé les rayonnements ionisants (tous types) comme cancérogènes certains pour l'homme. Ils sont associés à un risque d'augmentation de nombreux cancers (1).

L'objet de ce chapitre est d'estimer la proportion et le nombre de cas de cancer attribuables à deux types de rayonnements ionisants en France, en 2015 : l'exposition au radon dans l'air intérieur et l'exposition aux radiations d'origine médicale. En 2015, ces deux expositions constituaient les deux tiers de l'exposition totale aux rayonnements ionisants en France : 32 % pour le radon et 35 % pour les expositions médicales (2). L'exposition aux rayonnements ultraviolets (UV) solaires, qui sont non ionisants, est traitée dans le chapitre précédent et l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants est traitée dans le Chapitre 9 qui porte sur les expositions professionnelles.

Partie 1 - Radon

L'exposition au radon dans l'air intérieur est associée à une augmentation du risque de cancer du poumon (1). En France, sa concentration dans l'air intérieur présente une grande variabilité qui dépend principalement des propriétés des sols et des bâtiments. En 2005, la dose efficace individuelle annuelle pour la population provenant d'une exposition au radon, variait de 0,5 mSv/an à 10 mSv/an (3).

Méthodes

Données d'exposition

Les données d'exposition utilisées pour notre analyse sont issues de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Nous avons utilisé les estimations de la distribution de la population française par département, en 2005, dans les cinq catégories de concentration en radon dans l'air intérieur : ≤ 50 Bq/m³ ; 51–100 Bq/m³ ; 101–200 Bq/m³ ; 201–300 Bq/m³ ; >300 Bq/m³ (4). La part de la population exposée à chacune de ces catégories, au niveau national, a ensuite été estimée en pondérant sur le nombre de personnes âgées de 20 ans ou plus par département (voir Tableau 11.1).

Modèle de risque

Le modèle de risque utilisé est celui de l'étude conjointe européenne de 2005 (5), qui décrit une augmentation du risque de cancer du poumon de 16 % pour une augmentation de la concentration de 100 Bq/m³. Nous avons calculé les risques relatifs (RR) correspondant à chaque catégorie d'exposition décrite ci-dessus, en prenant la concentration médiane de chaque catégorie (voir Tableau 11.1).

Tableau 11.1. Pourcentage de la population française exposée en 2005 à cinq catégories de concentration en radon dans l'air intérieur et RR correspondants

Concentration en radon dans l'air intérieur (Bq/m ³)*	RR de cancer du poumon	Pourcentage de la population française exposée (%)
≤ 50	1,04	40
51–100	1,12	43
101–200	1,24	14
201–300	1,40	2
> 300	1,56	1

RR = risque relatif

*Statistiques calculées à partir de valeurs moyennes départementales sur la France métropolitaine

Source : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire

Estimation des fractions attribuables

Nous avons estimé les fractions attribuables (FA) de cancers pour le cancer du poumon en combinant les données de RR et de prévalence de l'exposition de la population, sous l'hypothèse d'un temps de latence de 10 ans entre l'exposition et le diagnostic de

cancer. Nous avons ensuite estimé le nombre de cas de cancer attribuables correspondant, en multipliant la FA par le nombre de nouveaux cas de cancer estimés en 2015 pour les localisations concernées.

Les données d'exposition au radon étant disponibles par département, nous avons d'abord estimé la FA par département, en utilisant la formule de Levin (Formule 3.1). La FA au niveau national est la moyenne des FA départementales, pondérée par la population âgée de 30 ans ou plus en 2015. Le niveau de référence considéré était une exposition nulle au radon.

Résultats

Au total, en 2015, 9,8 % des cancers du poumon pouvaient être attribués à l'exposition au radon dans l'air intérieur, soit environ 4000 cas de cancer du poumon : 2900 chez les hommes et 1100 chez les femmes. Ces cas de cancer représentaient, en 2015, 1,2 % de l'ensemble des nouveaux cas de cancer, toutes localisations confondues.

Discussion

Ce chapitre montre que 9,8 % des cancers du poumon en France, en 2015, étaient attribuables à une exposition au radon dans l'air intérieur, soit environ 4000 cas ou 1,2 % de l'ensemble des cas de cancer. Cette estimation est cohérente avec les études précédemment réalisées en France métropolitaine. En 2006, la part des décès par cancer du poumon avait été estimée entre 2,2 % et 12,4 % selon les modèles de risque utilisés (6) et une récente étude a montré que cette proportion était de 9,6 % en 2012, soit 2924 décès (7). En 2009, au Royaume-Uni, la part des décès par cancer du poumon attribuable à une exposition au radon avait été estimée à 3,3 %, la concentration moyenne dans l'air intérieur au Royaume-Uni étant inférieure à celle observée en France (21 Bq/m³ versus 63 Bq/m³).

L'interaction entre l'exposition au radon et le tabagisme étant bien établie (5, 8, 9), l'effet du tabagisme a été pris en compte dans l'étude de mortalité par cancer du poumon attribuable au radon, menée récemment par l'IRSN et Santé publique France

(7). Cette étude a montré que 75 % des décès par cancer du poumon attribuables au radon concernait les fumeurs, 20 % les anciens fumeurs et 5 % les non-fumeurs (7). Appliquée aux données d'incidence du cancer du poumon de 2015, cette estimation montrerait qu'environ 1000 nouveaux cas de cancer du poumon en 2015 seraient attribuables à une exposition au radon chez des non-fumeurs (200 cas) ou ex-fumeurs (800 cas).

Ces estimations s'appuient sur un modèle de risque bien établi et des données d'exposition au radon en France améliorées depuis les dernières estimations, ce qui permet de considérer qu'elles présentent un niveau d'incertitude raisonnable.

Partie 2 - Radiations ionisantes d'origine médicale

L'exposition aux radiations ionisantes (RI) d'origine médicale constituait, en 2015, la principale source d'exposition aux RI en France, soit 35 % de l'exposition totale (2). Les RI de tous types sont associées à un risque accru de la plupart des cancers et ce risque est d'autant plus important que l'exposition a eu lieu à un jeune âge. L'objet de ce sous-chapitre est d'estimer la part et le nombre de nouveaux cas de cancer survenus en France, en 2015, attribuables à des expositions aux radiations médicales. Les actes médicaux inclus dans l'analyse comprenaient uniquement les actes de type diagnostique. Aucun examen à visée thérapeutique n'a été inclus.

Méthodes

Données d'exposition

Nous avons estimé les doses cumulées d'exposition aux RI d'origine médicale jusqu'en 2005, par âge et par sexe, sur la base des données de l'étude Expri 2007 (10, 11) qui fournit le nombre d'actes diagnostiques et leur dose efficace, par âge et par sexe, en 2007. Les données proviennent, d'une part, d'une base de données de remboursements des actes réalisés en secteur privé, représentative de la population française et, d'autre part, de deux études menées dans 50 services de radiologie et 92 services de médecine nucléaire pour les actes réalisés en secteur public (12, 13).

Un total de 20 procédures a été considéré dans l'estimation de l'exposition (les plus fréquents et pour lesquels les doses aux organes étaient disponibles), notamment des actes de radiologie conventionnelle, de scanographie, deux procédures de radiologie interventionnelle diagnostique (coronarographie et angiographie cérébrale) et six procédures de médecine nucléaire (scintigraphie osseuse : ^{99m}Tc Phosphates, scintigraphie cardiaque : ^{201}Tl Thallous chloride, ^{99m}Tc Tetrofosmin, ^{99m}Tc Sestamibi, scintigraphie pulmonaire : ^{99m}Tc MAA, et PET-Scan : ^{18}F FGD). Au total, ces 20 procédures représentaient 91 % de la dose collective totale reçue par la population française en 2007 via des actes de diagnostic médical (voir Tableau 11.2).

Tableau 11.2. Nombre et dose efficace des actes diagnostiques inclus dans l'estimation de l'exposition aux rayonnements ionisants d'origine médicale, en 2007

Actes	Nombre d'actes	Dose par acte (mSv)
Radiologie conventionnelle		
Abdomen	5 184 450	1,73
Pelvis et hanche	5 801 540	1,11
Tractus digestif	288 870	8,78
Thorax	13 999 080	0,06
Appareil urogénital	309 750	2,63
Sein	5 085 190	0,16
Colonne vertébrale	514 480	1,04
Crâne (tête uniquement)	1 399 870	0,08
Autres	3090	1,72
<i>Autres (non inclus)</i>	14 425 880	0,04
Sous-total	47 012 200	0,46
Scanographie		
Abdomen et pelvis	2 256 820	8,97
Crâne (tête uniquement)	1 926 900	1,80
Thorax	1 569 080	6,38
Colonne vertébrale	926 350	9,11
<i>Autres (non inclus)</i>	884 770	6,55
Sous-total	7 563 920	6,34
Radiologie interventionnelle		
Coronarographie	277 900	11,20
Angiographie cérébrale	161 710	8,61
Sous-total	439 610	10,25
Médecine nucléaire		
Cardiaque	285 810	10,62
PET-scan	113 730	22,80
Osseuse	493 590	3,90
Pulmonaire	71 360	2,87
<i>Autres (non inclus)</i>	212 630	3,17
Sous-total	1 177 120	7,16
<i>Dentaire (non inclus)</i>	18 430 150	0,01
Total		
Inclus	40 669 570	1,86
<i>Non inclus</i>	33 953 430	0,21
Total	74 623 000	

Source : Etude Expri 2007

Estimation des doses cumulées provenant des actes de radiologie et de scanographie

Nous avons estimé la dose aux organes individuelle annuelle en milligray (mGy), par âge et par sexe, en croisant le nombre d'actes de radiologie et de scanographie, par âge et sexe, et la dose aux organes correspondant à chaque procédure sélectionnée, comme proposé par Berrington et Darby (14). Cette opération était possible pour neuf organes : vessie, sein (femmes), côlon, foie, poumon, estomac, œsophage, thyroïde et moelle osseuse. Nous avons ensuite estimé, pour chaque sexe et pour chaque tranche d'âge de cinq ans, la dose cumulée jusqu'à l'âge considéré en 2005, en additionnant les doses annuelles reçues depuis la naissance (voir Figure 11.1). Afin de tenir compte de l'évolution des pratiques et, notamment, de l'augmentation du nombre d'actes de scanographie et de radiologie interventionnelle à partir des années 1980, nous avons émis l'hypothèse que le nombre de ces deux types d'actes avait augmenté de manière linéaire de 1980 à 2007 et que, parallèlement, le nombre d'actes de radiologie conventionnelle avait diminué dans les mêmes proportions durant la même période, de manière à ce que le nombre total de ces actes soit constant au cours du temps (13, 15, 16).

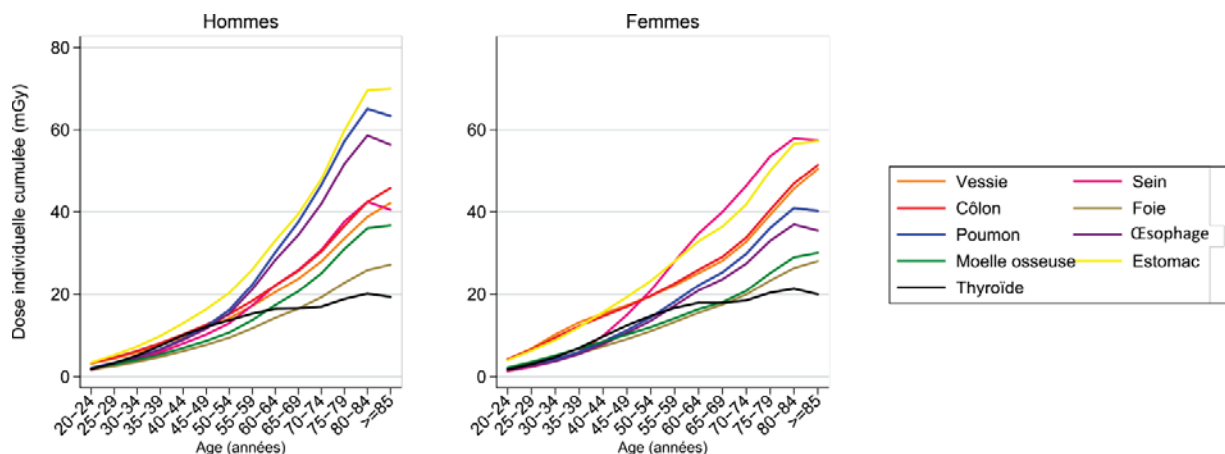


Figure 11.1. Radiologie et scanographie : dose individuelle cumulée par âge et sexe, en 2005, pour neuf organes

Estimation des doses provenant des actes de médecine nucléaire

Nous avons estimé la dose aux organes individuelle annuelle en milligray (mGy), par âge et par sexe, en croisant le nombre d'actes de médecine nucléaire et leur dose efficace, à laquelle nous avons appliqué des facteurs de conversion (ratio entre la dose à l'organe absorbée et la dose efficace) documentés par la Commission internationale de radioprotection (17). Pour la tomographie par émission de positons (TEP), un tiers de la dose efficace totale a été retenue comme dose d'exposition interne aux médicaments radiopharmaceutiques injectés (la dose externe, provenant de l'acte de scanographie associé, n'a pas été prise en compte). L'étude Expri 2007 ne fournissant pas la distribution des actes de médecine nucléaire par âge et par sexe, nous avons appliqué celle de l'étude de 2012 (18) au nombre d'actes rapporté par l'étude de 2007. Enfin, nous avons estimé la dose cumulée jusqu'à l'âge considéré en 2005 en additionnant les doses annuelles reçues depuis la naissance (voir Figure 11.2). Afin de tenir compte de l'augmentation du nombre d'actes de médecine nucléaire au cours du temps, nous avons émis l'hypothèse que l'exposition à ce type d'actes était nulle en 1950, puis qu'elle avait augmenté de manière linéaire de 1950 à 2007, selon la même tendance que celle décrite dans l'étude anglaise de Parkin et coll. (19).

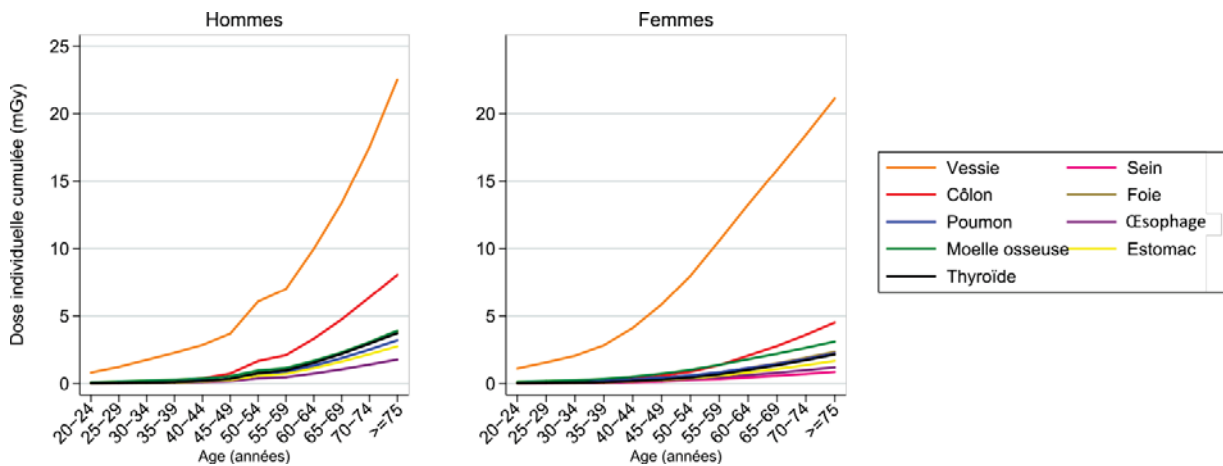


Figure 11.2. Médecine nucléaire : dose individuelle cumulée par âge et sexe, en 2005, pour neuf organes

Modèle de risque

Pour estimer les excès de risque de cancer solide et de leucémie correspondant aux doses cumulées de RI estimées par âge et sexe, nous avons utilisé les paramètres du Tableau 11.3, tirés du modèle BEIRVII (20). Ils fournissent les excès de risque relatifs (ERR) pour 11 localisations de cancer : vessie, sein (chez les femmes uniquement), côlon, foie, poumon, estomac, œsophage, thyroïde, prostate, ovaire, leucémies (sauf la leucémie lymphoïde chronique, LLC) et « autres cancers solides ». Quant à l'estimation de l'excès de risque relative aux organes pour lesquels nous ne disposons pas de dose à l'organe, nous avons utilisé la dose au côlon. Il s'agissait des cancers de l'ovaire, de la prostate et des « autres cancers solides », c'est-à-dire l'ensemble des cancers solides potentiellement radio-induits que sont les cancers des glandes salivaires, du rectum, du pancréas, du rein et du système nerveux central.

Tableau 11.3. Paramètres du modèle BEIRVII utilisé pour estimer les ERR par organe

Organe (CIM-10)	β		γ	η	δ	Φ	θ
	Hommes	Femmes					
Œsophage (C15)	0,27	0,45	-0,30	-1,4			
Estomac (C16)	0,21	0,48	-0,30	-1,4			
Côlon (C18)	0,63	0,43	-0,30	-1,4			
Foie (C22)	0,32	0,32	-0,30	-1,4			
Poumon (C33–34)	0,32	1,40	-0,30	-1,4			
Sein (C50)		0,51	-0,30	-2,0			
Ovaire (C56)		0,38	-0,30	-1,4			
Prostate (C61)	0,12		-0,30	-1,4			
Vessie (C67)	0,50	1,65	-0,30	-1,4			
Thyroïde (C73)	0,53	1,05	-0,83	-1,4			
Leucémies (sauf LLC) (C91–96, sauf C91.1)	1,10	1,20	-0,40		-0,48	0,42	0,87
Autres cancers solides	0,27	0,45	-0,30	-2,8			

Source : modèle BEIRVII

CIM = classification internationale des maladies ; ERR = excès de risque relatif ; LLC = leucémie lymphoïde chronique

ERR cancers solides : $\beta \cdot \text{Dose (Sv)} \cdot [(\text{âge atteint})/60]^\eta$

ERR leucémies : $\beta (\text{Dose (Sv)} + \theta \cdot \text{Dose (Sv)}^2) \cdot \exp(\delta \cdot \log(10/25))$

Estimation des fractions attribuables

La FA des cancers a été estimée en considérant un temps de latence de 10 ans entre l'exposition cumulée en 2005 et le diagnostic de cancer en 2015. Ainsi, pour calculer l'excès de risque de cancer chez les 50–54 ans en 2015, nous avons appliqué le modèle de risque ci-dessus à l'exposition cumulée estimée chez les 40–45 ans en 2005.

Les FA par localisation de cancer ont été calculées par âge et par sexe, à partir des ERR, à l'aide de la Formule 11.2, ci-après :

$$FA = \frac{ERR}{ERR+1} \quad [\text{Formule 11.2}]$$

Le nombre de cas de cancer attribuables aux expositions aux RI d'origine médicale a ensuite été obtenu par localisation et par sexe, en multipliant le nombre de cas observés en 2015 par la FA estimée.

Résultats

En France, en 2015, un total de 2300 nouveaux cas de cancer était attribué à des expositions à des RI d'origine médicale, soit 0,7 % de l'ensemble des cancers, toutes localisations confondues. Le nombre de cas attribuables était plus élevé chez les femmes (près de 1400) que chez les hommes (900). La grande majorité de ces cas (90 %, plus de 2000 cas) était due à des expositions à des RI externes, provenant des actes de radiologie ou de scanographie, les actes de médecine nucléaire étant à l'origine de seulement 10 % des cas (220).

Le plus grand nombre de cas attribués aux RI était observé pour les cancers du sein (n=570), du poumon (n=510), du côlon (n=290) et de la vessie (n=250). Les FA par localisation cancéreuse, sexe et type d'examen diagnostique, sont présentées dans le Tableau 11.4.

Tableau 11.4. Nombre estimé et fractions de nouveaux cas de cancer attribuables (%) aux RI d'origine médicale chez les hommes et les femmes âgés de 30 ans et plus, en France, en 2015

	Radiologie conventionnelle						Médecine nucléaire						Tous types de radiations diagnostiques						
	Hommes			Femmes			Total			Hommes			Femmes			Total			
	N	FA	FA/N	N	FA	FA/N	N	FA	FA/N	N	FA	FA/N	N	FA	FA/N	N	FA	FA/N	
Œsophage (C15)	20	0,4	0,5	26	0,5	0,5	1	<0,1	0	<0,1	1	<0,1	20	0,4	0,4	6	0,5	26	0,5
Estomac (C16)	27	0,6	1,2	56	0,8	0,8	1	<0,1	1	<0,1	2	<0,1	28	0,6	0,6	30	1,2	58	0,8
Côlon (C18)	150	1,1	102	0,9	252	1,0	27	0,2	9	0,1	36	0,1	177	1,3	1,3	111	1,0	288	1,2
Foie (C22)	27	0,4	7	0,4	33	0,4	4	<0,1	1	<0,1	4	<0,1	30	0,4	0,4	7	0,4	38	0,4
Poumon (C33-34)	226	0,8	257	2,3	483	1,2	11	<0,1	14	0,1	25	0,1	237	0,8	0,8	271	2,4	508	1,3
Sein (C50)	-	-	558	1,0	558	1,0	-	-	8	<0,1	8	<0,1	-	0,0	0,0	566	1,1	566	1,1
Ovaire (C56)	-	-	36	0,8	36	0,8	-	-	3	0,1	3	0,1	-	0,0	0,0	39	0,8	39	0,8
Prostate (C61)	101	0,2	-	-	101	0,2	18	<0,1	-	-	18	<0,1	119	0,3	0,3	-	0,0	119	0,3
Vessie (C67)	87	0,8	73	3,3	160	1,3	49	0,5	39	1,7	88	0,7	135	1,3	1,3	111	4,9	246	2,0
Thyroïde (C73)	2	0,1	16	0,2	19	0,2	0	<0,1	0	<0,1	1	<0,1	3	0,1	0,1	17	0,3	19	0,2
Autres cancers solides*	89	0,4	126	0,7	216	0,5	14	0,1	10	0,1	24	0,1	104	0,4	0,4	136	0,8	240	0,5
Leucémies (C91-96, sauf C91.1)	84	3,0	65	2,9	149	3,0	9	0,3	7	0,3	17	0,3	93	3,4	3,4	73	3,2	165	3,3
Total cancers radio-induits**	812	0,6	1276	1,1	2088	0,8	135	0,1	92	0,1	226	0,1	945	0,6	0,6	1366	1,2	2311	0,9
% parmi tous cancers (C00-97)		0,4		0,8		0,6		0,1		0,1		0,1		0,5			0,9		0,7

FA = fraction de nouveaux cas de cancer attribuables aux RI (%); N = nombre de cas de cancer attribuables aux RI; RI = radiation ionisante

* Les autres cancers solides radio-induits étaient : glandes salivaires (C07-08), rectum (C19-20), pancréas (C25), rein (C64-66, C68) et système nerveux central (C70-72)

** L'ensemble des cancers radio-induits est constitué de localisations décrites dans le modèle BEIRVII (œsophage, estomac, côlon, foie, poumon, sein, ovaire, prostate, vessie, thyroïde, leucémies) et des autres cancers solides radio-induits décrits dans la note précédente

Discussion

Ce chapitre est une première estimation française de la part et du nombre de cas de cancer attribuables à des RI d'origine médicale, qui se base sur des données d'exposition fiables et représentatives de la population française, mais aussi sur un modèle de risque bien établi.

La part des nouveaux cas de cancer attribuables à des RI d'origine médicale est comparable à celle estimée en 2004 dans une étude similaire menée dans plusieurs pays, cette part ayant été estimée de 0,6 % (Pologne) à 3,2 % (Japon) (14), malgré des différences méthodologiques entre les études (qualité des données d'exposition, choix du modèle de risque, méthode d'estimation de la FA).

Malgré la qualité des données utilisées pour cette estimation, il a été nécessaire d'émettre plusieurs hypothèses pour estimer à la fois les doses d'exposition et la FA.

Concernant l'estimation des doses d'exposition, les doses aux organes utilisées pour la radiologie conventionnelle et la scanographie étaient celles publiées par Berrington et Darby (14). Celles-ci comportaient elles-mêmes leurs propres incertitudes. Elles étaient fondées sur des données transversales anglaises et finlandaises, n'étaient pas spécifiques de l'âge et dataient du début des années 2000. Par ailleurs, ne disposant pas de données longitudinales d'exposition aux RI d'origine médicale, nous avons dû modéliser l'évolution du nombre d'actes au cours du temps pour prendre en compte l'évolution des pratiques (augmentation du nombre d'actes de scanographie et de médecine nucléaire, notamment), ce qui est une avancée par rapport aux études précédentes, mais aussi source d'incertitudes quant à l'estimation de l'exposition difficile à quantifier.

Concernant l'estimation de l'excès de risque de cancer, nous avons choisi d'utiliser le modèle BEIRVII. Bien que très bien établi, il est basé sur l'étude de cohortes de survivants des bombardements atomiques ayant été exposés à de fortes doses de radiation. L'extrapolation de ce modèle à l'exposition à de faibles doses est donc

controversée (21, 22), bien qu'admise, puisque la relation dose-réponse entre l'exposition aux RI et les risques de cancer est définie comme une relation linéaire sans seuil (20).

Par ailleurs, l'utilisation combinée de données d'exposition populationnelle à de très faibles doses et d'un modèle de risque basé sur de faibles doses est discutable. Notre travail introduit cependant l'utilisation de doses aux organes, et non de doses collectives, pour l'ensemble des actes considérés et produit des indicateurs (part et nombre de cas de cancer attribuables) qui présentent l'intérêt de pouvoir guider l'optimisation des doses et la justification des actes. Or, cette perspective a été reconnue comme pertinente par le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) (23).

Pour conclure, en produisant une première quantification du nombre de cas de cancer attribuables à l'exposition à des RI d'origine médicale, ce chapitre montre que, comparées aux autres facteurs de risque de cancers établis, ces expositions étaient à l'origine d'une part très faible et d'un petit nombre de nouveaux cas de cancer en 2015. En aucun cas il ne remet en cause les bénéfices indiscutables des examens d'imagerie médicale, qui sont un outil précieux et non invasif pour guider les cliniciens dans la prise en charge et le traitement de leurs patients. Pour compléter la démarche, il conviendrait d'ailleurs de quantifier les bénéfices de ces examens, afin de pouvoir estimer le rapport bénéfice-risque correspondant.

Partie 3 - Conclusion sur les cancers attribuables aux radiations ionisantes

Les deux principales expositions aux RI en France, en 2015, étaient l'exposition au radon dans l'air intérieur et les expositions aux RI d'origine médicale (2).

Au total, en 2015, 6300 nouveaux cas de cancer (toutes localisations confondues) pouvaient être attribués à des expositions aux RI, soit 1,8 % de tous les cancers. Parmi ces cas, 64 % étaient attribuables au radon dans l'air intérieur, soit près de 4000 cas de cancer du poumon uniquement.

Outre le plus grand nombre de cas attribuables au radon, par rapport aux expositions d'origine médicale, il convient de noter que l'exposition au radon est une exposition sur laquelle il est possible d'agir en mettant en place des techniques pour diminuer la concentration en radon intérieure, afin de réduire le nombre de cancers du poumon qui y est associé. A l'inverse, il est plus complexe d'agir sur l'exposition aux radiations d'origine médicale, qui présentent des bénéfices certains pour les patients exposés et pour lesquelles il est impossible d'envisager une exposition nulle. En revanche, les résultats de ce travail peuvent être utilisés aux fins d'une optimisation des pratiques (justification des actes réalisés et des doses) au regard de l'impact potentiel sur l'augmentation du risque de cancer.

Références

1. IARC (2012). Radiation. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum*, 100D:1–437. [PMID:23189752](#). Disponible sur : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100D/index.php>.
2. Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (2015). Exposition de la population française aux rayonnements ionisants. Fontenay-aux-Roses, France: Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. Contract No.: 2015-00001.
3. Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (2006). Exposition de la population française aux rayonnements ionisants. Fontenay-aux-Roses, France: Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. Contract No.: DRPH/SER 2006-02.
4. Ielsch G, Cushing ME, Combes P, Cuney M (2010). Mapping of the geogenic radon potential in France to improve radon risk management: methodology and first application to region Bourgogne. *J Environ Radioact*. 101(10):813–20. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2010.04.006> [PMID:20471142](#)
5. Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, et al. (2005). Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*. 330(7485):223. <https://doi.org/10.1136/bmj.38308.477650.63> [PMID:15613366](#)
6. Catelinois O, Rogel A, Laurier D, Billon S, Hemon D, Verger P, et al. (2006). Lung cancer attributable to indoor radon exposure in France: impact of the risk models and uncertainty analysis. *Environ Health Perspect*. 114(9):1361–6. <https://doi.org/10.1289/ehp.9070> [PMID:16966089](#)
7. Ajrouche R, Roudier C, Cléro E, Ielsch G, Gay D, Guillevic J, et al (2018). Quantitative Health Impact of indoor radon in France: attributable fraction of lung cancer deaths and impact of exposure scenarios. *Radiat Environ Biophys*. <https://doi.org/10.1007/s00411-018-0741-x>
8. Billon S, Morin A, Caër S, Baysson H, Gambard JP, Backe JC, et al. (2005). French population exposure to radon, terrestrial gamma and cosmic rays. *Radiat Prot Dosimetry*. 113(3):314–20. <https://doi.org/10.1093/rpd/nch463> [PMID:15713740](#)
9. Leuraud K, Schnelzer M, Tomasek L, Hunter N, Timarche M, Grosche B, et al. (2011). Radon, smoking and lung cancer risk: results of a joint analysis of three European case-control studies among uranium miners. *Radiat Res*. 176(3):375–87. <https://doi.org/10.1667/RR2377.1> [PMID:21714633](#)
10. Etard C, Sinno-Tellier S, Empereur-Bissonnet P, Aubert B (2012). French population exposure to ionizing radiation from diagnostic medical procedures in 2007. *Health Phys*. 102(6):670–9. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e318244154a>
11. Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (2010). Exposition de la population française aux rayonnements ionisants liée aux actes de diagnostic médical en 2007. Fontenay-aux-Roses, France: Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire; 6/2010.
12. Caisse Nationale d'Assurance Maladie (2003). Fréquence des actes bucco-dentaires selon les libellés de la CCAM. Paris, France: Caisse Nationale d'Assurance Maladie.
13. Maccia C, Benedittini M, Lefaure C, Fagnani F (1988). Doses to patients from diagnostic radiology in France. *Health Phys*. 54(4):397–408. <https://doi.org/10.1097/00004032-198804000-00002> [PMID:3350660](#)
14. Berrington de González A, Darby S; Berrington de GA (2004). Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries. *Lancet*. 363(9406):345–51. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)15433-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)15433-0) [PMID:15070562](#)

15. Donadieu J, Scanff P, Pirard P, Aubert B (2006). Exposition médicale aux rayonnements ionisants à visée diagnostique de la population française: état des lieux fin 2002 en vue de la mise en place d'un système de surveillance. *Bull Epidemiol Hebd (Paris)*. (15-16):102–6.
16. Maccia C (1998). Evaluation de l'irradiation collective due aux pratiques de radiodiagnostic en France en 1994 Bourg-La-Reine, France: Centre d'Assurance de qualité des Applications Technologiques dans le domaine de la Santé.
17. Mattsson S, Johansson L, Leide Svegborn S, Liniecki J, Noßke D, Riklund KÅ, et al.; ICRP (2015). Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: a Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances. *Ann ICRP*. 44(2) Suppl:7–321. <https://doi.org/10.1177/0146645314558019> [PMID:26069086](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26069086/)
18. Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (2014). Exposition de la population française aux rayonnements ionisants liée aux actes de diagnostic médical en 2012. Fontenay-aux-Roses, France: Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. Contract No.: Rapport PRP-HOM n°2014-6.
19. Parkin DM, Darby SC (2011). 12. Cancers in 2010 attributable to ionising radiation exposure in the UK. *Br J Cancer*. 105(S2) Suppl 2:S57–65. <https://doi.org/10.1038/bjc.2011.485> [PMID:22158322](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22158322/)
20. National Research Council (2006). Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII - Phase 2. Committee to assess health risks from exposure to low levels of ionizing radiation. Washington, DC, USA: National Academy of Sciences.
21. Land CE (1980). Estimating cancer risks from low doses of ionizing radiation. *Science*. 209(4462):1197–203. <https://doi.org/10.1126/science.7403879> [PMID:7403879](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7403879/)
22. Little MP, Wakeford R, Tawn EJ, Bouffler SD, Berrington de Gonzalez A (2009). Risks associated with low doses and low dose rates of ionizing radiation: why linearity may be (almost) the best we can do. *Radiology*. 251(1):6–12. <https://doi.org/10.1148/radiol.2511081686> [PMID:19332841](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19332841/)
23. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2015). UNSCEAR report. Volume II. Scientific annex B – effects of radiation exposure of children. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.