



**Commission de Recherche et d'Information
Indépendantes sur la Radioactivité**

**ANALYSES RADIOLOGIQUES DE CHAMPIGNONS CUEILLIS EN
RHONE-ALPES
RAPPORT N°16-58**



Etude réalisée par le **laboratoire de la CRIIRAD**
Avec le soutien financier de la **Région Rhône-Alpes**



Responsable d'étude : **Julien SYREN**, Ingénieur géologue.

Relecteurs du rapport : **Bruno CHAREYRON**, Ingénieur en physique nucléaire.
Corinne CASTANIER, Chargée de recherche en radioprotection.

Analyses par spectrométrie gamma : **Stéphane PATRIGEON**, Technicien métrologue.

Préparations des échantillons : **Jocelyne RIBOUËT**, Technicienne de laboratoire.

Période de cueillette des champignons : d'octobre à novembre 2015.

Date de finalisation du rapport : 25 avril 2017.

Remerciements

Cette étude n'aurait pas pu être menée à bien sans l'implication des associations et des bénévoles grâce auxquels il a été possible de récolter suffisamment d'échantillons pendant un automne où les conditions climatiques étaient pourtant peu propices à la cueillette de champignons.

La CRIIRAD tient en particulier à remercier la Fédération Mycologique et Botanique Dauphiné-Savoie (FMBDS) et son président Yves Courtieu ainsi que la Fédération Rhône-Alpes de Protection de la Nature Drôme (FRAPNA Drôme) et notamment Alain Nivon et Marc Papillon.

Merci également à tous les cueilleurs et acheteurs, et notamment Muriel AuPrince, Dominique Barbier, Michèle Coste, Roland Desbordes, Nathalie Duby, Samy Durand, Isabelle Farre, Monique Laniesse, Elsa Mazet, René Piot, Sylviane Poulenard.

Merci enfin à Christian Courbon pour ses précieux conseils en matière d'identification des espèces de champignons.

Photographie de couverture : tricholome terreux (petit gris), Saint-Dizier-en-Diois (26) – © Nathalie Duby

SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	4
2. METHODOLOGIE	5
3. RESULTATS DES ANALYSES	6
3.1 RADIONUCLEIDES ARTIFICIELS EMETTEURS GAMMA	6
3.1.1 CESIUM 137.....	6
3.1.2 AUTRES RESULTATS.....	8
3.2 RADIONUCLEIDES NATURELS EMETTEURS GAMMA	8
3.3 STRONTIUM 90	8
4. CONCLUSION	10
4.1 RISQUES LIES A LA CONSOMMATION DES CHAMPIGNONS.....	10
4.2 REGLEMENTATION	10
ANNEXE 1. SPECTROMETRIE GAMMA (RESULTATS DETAILLES).....	12

TABLEAU 1 : RESULTATS DES ANALYSES PAR SPECTROMETRIE GAMMA (CESIUM 137).....	7
TABLEAU 2 : RESULTATS DU DOSAGE DE STRONTIUM 90	9
TABLEAU 3 : DESCRIPTION DES ECHANTILLONS	12
TABLEAU 4 : RESULTATS DES ANALYSES PAR SPECTROMETRIE GAMMA (RADIONUCLEIDES NATURELS EMETTEURS GAMMA)	13
TABLEAU 5 : RESULTATS DES ANALYSES PAR SPECTROMETRIE GAMMA (RADIONUCLEIDES ARTIFICIELS EMETTEURS GAMMA)	14

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Contexte

A la différence des végétaux chlorophylliens, les champignons sont dotés d'un équipement enzymatique performant qui leur confère une efficacité particulière pour l'extraction des nutriments présents dans leur substrat. L'absorption s'effectue grâce à des récepteurs spécifiques situés sur les membranes du mycélium, la partie souterraine et vivace du champignon. Capable d'extraire des éléments, qu'ils soient stables ou radioactifs, le champignon a également la particularité de les accumuler, grâce à un métabolisme assez lent et à une certaine longévité : de plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines d'années. Alors que les végétaux présentent des activités très inférieures (de 3, 4 ou 5 ordres de grandeur) à celles du sol, chez certaines espèces de champignons, le phénomène s'inverse : le mycélium parvient à concentrer le césium. Ces espèces constituent ainsi des bio-indicateurs intéressants pour les études radio-écologiques. Lorsque ces espèces sont comestibles, il s'agit également d'aliments à risque en cas de pollution radioactive ou chimique.

Dans les années qui ont suivi la mise en service de son laboratoire, la CRIIRAD s'est donc attachée à documenter le niveau de contamination des champignons, en privilégiant le contrôle des espèces comestibles. Sur la base des 900 analyses, réalisées pour la plupart entre 1987 et 1997, elle a pu répondre aux demandes d'information des consommateurs et les conseiller sur les zones et les espèces à éviter.

Ces contrôles, qui portaient sur les radionucléides artificiels émetteurs gamma, ont permis de mettre en évidence des niveaux de **césium 137** mesurables dans la très grande majorité des échantillons. Ce radionucléide provient d'une part des retombées de **Tchernobyl**, et d'autre part des retombées des **essais nucléaires militaires**¹. Tchernobyl a également entraîné des retombées de césium 134. Sachant qu'en mai 1986 le césium 137 était deux fois plus abondant que le césium 134, le dosage de ces deux isotopes a permis d'estimer la part de césium 137 imputable à Tchernobyl.

Sur la base des contrôles effectués, la CRIIRAD a pu dégager des tendances générales et proposer une **classification**² des espèces en fonction de leur capacité à concentrer le césium : espèces généralement peu contaminées comme le rosé des prés, l'agaric des forêts, le coprin chevelu, la morille, la coulemelle ; espèces modérément contaminées telles que le clitocybe nébuleux, la russule charbonnière, le lactaire sanguin, le cèpe de Bordeaux, la trompette des morts... avec une plus forte capacité de concentration chez le lactaire délicieux, le clitocybe laqué, la girolle ; espèces à risque, particulièrement efficaces pour extraire le césium présent dans le sol comme la chanterelle en tube, le pied de mouton, le tricholome terreux (appelé localement petit gris), le bolet bai, le bolet à chair jaune, la nonette voilée, le laqué améthyste, ...

Objectif : débiter un état des lieux actualisé en Rhône-Alpes

Le césium 137 a une période radioactive de 30 ans : cela signifie que son activité diminue de moitié tous les 30 ans. Lorsqu'on considère un milieu donné, le sol par exemple, divers mécanismes de transfert peuvent amplifier la décroissance intrinsèque de ce radionucléide : migration du césium vers les aquifères souterrains, phénomènes de lessivage et d'érosion favorisant l'évacuation vers les ruisseaux et rivières, prélèvements associés aux récoltes et cueillettes...

Près de 30 ans après Tchernobyl, afin de répondre aux questions de ses adhérents et, plus largement, des consommateurs de champignons, la CRIIRAD a débuté une mise à jour de l'état des lieux fait en 1987-1997, en analysant **38 échantillons cueillis en Rhône-Alpes à l'automne 2015**.

¹ Entre 1945 et 1981, les Etats-Unis, l'Union Soviétique, le Royaume-Uni, la France et la Chine ont fait exploser de très nombreuses bombes atomiques, provoquant l'injection massive de substances radioactives dans la troposphère. Les radionucléides retombaient progressivement au sol, contaminant la chaîne alimentaire et les populations. Le maximum a été atteint au début des années 60. En 1963, le Royaume-Uni, les Etats-Unis et l'Union Soviétique signèrent un traité interdisant tout nouvel essai atmosphérique. La France poursuivit ses essais jusqu'en 1974, la Chine jusqu'en 1980.

² Cf. <http://www.criirad.org/tchernobyl/fiche-champignons.pdf>.

2. METHODOLOGIE

L'étude a principalement porté sur **9 espèces de champignons** parmi les plus consommées, pour lesquelles de 2 à 6 échantillons ont été récoltés : bolet bai, cèpe de Bordeaux, chanterelle en tube, chanterelle jaunissante, lactaire délicieux, pied de mouton, tricholome prétentieux (localement appelé charbonnier), tricholome terreux (localement appelé petit-gris) et trompette des morts. Pour trois autres espèces, un seul échantillon a été analysé : agaric des trottoirs, armillaire couleur de miel et tricholome équestre (localement appelé canari)³.

Parmi les 38 échantillons récoltés, 26 ont été cueillis par 17 bénévoles, 9 ont été achetés aux marchés de Saint-Bonnet-le-Froid, Montélimar et Dieulefit, et 3 ont été cueillis par l'équipe salariée de la CRIIRAD.

14 échantillons proviennent d'Ardèche, 16 de la Drôme, 3 de l'Isère, 2 de la Loire et 3 de Haute-Savoie.



Trompettes des morts (photo Yves Courtieu)



Chanterelles jaunissantes (photo CRIIRAD)



Tricholomes terreux (photo Nathalie Duby)



Tricholomes prétentieux (photo CRIIRAD)



Pieds de mouton (photo CRIIRAD)



Bolets bais (photo CRIIRAD)

³ Le tricholome équestre, auparavant considéré comme un très bon comestible, est depuis 2001 classé dans la catégorie des champignons toxiques, suite à des cas d'empoisonnement parfois mortels après une consommation excessive ou répétée.

Une fois récoltés, les champignons ont été séchés à l'air libre⁴ puis en étuve à 45°C, mixés et conditionnés en boîte de Pétri.

Chaque échantillon a été analysé par **spectrométrie gamma** au laboratoire de la CRIIRAD. Celui-ci possède plusieurs agréments délivrés par l'Autorité de Sûreté Nucléaire pour la mesure de la radioactivité dans l'environnement. Il est notamment agréé pour la mesure des émetteurs gamma d'énergie inférieure à 100 keV et d'énergie supérieure à 100 keV dans les matrices biologiques, ce qui correspond aux analyses effectuées dans le cadre de cette étude⁵.

Par ailleurs, 6 échantillons ont fait l'objet d'un dosage de **strontium 90**, sous-traité au laboratoire Subatech. Le strontium 90, émetteur bêta pur, est déterminé indirectement par dosage à l'équilibre de son descendant l'yttrium 90. Le laboratoire Subatech est agréé pour le dosage du strontium 90/yttrium 90 dans les matrices biologiques⁶.

3. RESULTATS DES ANALYSES

3.1 RADIONUCLEIDES ARTIFICIELS EMETTEURS GAMMA

3.1.1 CESIUM 137

Parmi les 38 échantillons analysés, **36 présentent une teneur mesurable en césium 137**. Les activités massiques sont comprises entre **4,4 Bq/kg sec** pour des trompettes des morts cueillies à Saint-Gervais-Les-Bains (Haute-Savoie) et **3 020 Bq/kg sec** pour des bolets bais cueillis au Bessat, dans le massif du Pilat (Loire).

Pour les 9 espèces dont plusieurs échantillons ont été analysés :

- tous les échantillons de bolet bai et de chanterelle en tube dépassent 500 Bq/kg sec ;
- tous les échantillons de trompette des morts sont inférieurs à 50 Bq/kg sec,
- les 6 autres espèces (cèpe de Bordeaux, chanterelle jaunissante, lactaire délicieux, pied de mouton, tricholome prétentieux ou charbonnier, tricholome terreux ou petit gris) présentent des teneurs hétérogènes. Le cas le plus disparate est le tricholome terreux ou petit gris : l'échantillon cueilli à Saint-Dizier-en-Diois (Drôme) contient 16 Bq/kg sec de césium 137, tandis que l'échantillon cueilli à Bouvante (Drôme) en contient 2 200 Bq/kg sec ;
- trois échantillons dépassent 1 000 Bq/kg sec : les bolets bais du Bessat et les petits gris de Bouvante précités, ainsi que les chanterelles en tube cueillies à Saint-Priest-La-Prugne (Loire) qui contiennent 2 700 Bq/kg sec de césium 137. Pour trois autres échantillons, les teneurs en césium 137 sont proches de 1 000 Bq/kg sec (bolets bais cueillis à Larringes en Haute-Savoie : 960 Bq/kg sec ; chanterelles en tube cueillies en Ardèche, à Saint-André-en-Vivarais : 930 Bq/kg sec, et à Arcens : 910 Bq/kg sec) ;

Pour les 3 espèces ayant fait l'objet d'une seule analyse (agaric des trottoirs, tricholome équestre et armillaire couleur de miel), la teneur en césium 137 est inférieure à 20 Bq/kg sec.

Il est difficile de comparer directement les résultats de la campagne de 2015 et ceux des campagnes précédentes, réalisées entre 1987 et 1997. Outre le fait que les quantités d'échantillons sont très différentes (38 en 2015 contre 900 entre 1987 et 1997), les mêmes espèces n'ont pas été cueillies exactement aux mêmes endroits, et les écosystèmes ont pu fortement varier en 20 ans. De plus, une étude récente⁷ montre que **la teneur en césium 137 de la même espèce de champignons cueillie au même endroit peut varier de plus d'un facteur 10 le long d'une saison de croissance**.

Signalons tout de même que pour 11 échantillons pour lesquels les cueillettes de 2015 et de 1987-1997 ont pu être faites sur la même espèce et sur la même commune (ou sur deux communes voisines), si l'on tient compte uniquement de la décroissance du césium 137, **la teneur observée en 2015 est comparable à celle de 1987-1997 pour 5 échantillons, inférieure pour 5 échantillons et supérieure pour 1 échantillon**.

⁴ Excepté 9 échantillons transmis déjà séchés au laboratoire de la CRIIRAD.

⁵ Cf. <http://www.criirad.org/laboratoire/agrements.html> et <https://www.asn.fr/Media/Files/00-Bulletin-officiel/liste-agrements/Liste-des-laboratoires-agrees-pour-les-mesures-de-la-radioactivite-de-l-environnement-mentionnes-aux-articles-R.-1333-11-et-R.-1333-11-1-du-code-de-la-sante-publique>.

⁶ Cf. <https://www.asn.fr/Media/Files/00-Bulletin-officiel/liste-agrements/Liste-des-laboratoires-agrees-pour-les-mesures-de-la-radioactivite-de-l-environnement-mentionnes-aux-articles-R.-1333-11-et-R.-1333-11-1-du-code-de-la-sante-publique>.

⁷ N. Zarubina, « The influence of biotic and abiotic factors on 137Cs accumulation in higher fungi after the accident at Tchernobyl NPP », Journal of Environmental Radioactivity 161 (2016) 66-72.

Tableau 1 : Résultats des analyses par spectrométrie gamma (césium 137)

Code	Espèce Nom français	Provenance			Résultats d'analyse	Estimation de l'activité en césium 137 par kilogramme de matière fraîche	
		Dpt	Commune	Date de cueillette	Césium 137 (Bq/kg sec)	Taux de matière sèche	Césium 137 (Bq/kg frais)
AGA1	Agaric des trottoirs	26	Valence	05/10/15	6 ± 3	6,1%	0,4 ± 0,2
ARM1	Armillaire couleur de miel	26	Saint-Jean-en-Royans	15/10/15	< 2	5,8%	< 0,1
BOB1	Bolet bai	42	Le-Bessat	24/10/15	3 020 ± 330	8,0%	241 ± 26
BOB2	Bolet bai	74	Larringes	09/10/15	960 ± 110	4,8%	46 ± 5
CEB1	Cèpe de Bordeaux	07	Satillieu	01/10/15	308 ± 37	<i>10,4%</i>	<i>32 ± 4</i>
CEB2	Cèpe de Bordeaux	07	Arcens	01/10/15	178 ± 23	<i>10,4%</i>	<i>18 ± 2</i>
CEB3	Cèpe de Bordeaux	07	Pailharès	04/11/15	102 ± 16	10,4%	11 ± 2
CEB4	Cèpe de Bordeaux	07	St-Prix / Désaignes	01/10/15	102 ± 14	<i>10,4%</i>	<i>11 ± 1</i>
CEB5	Cèpe de Bordeaux	07	St-Cirgues-en-Montagne	18/11/15	51 ± 8	<i>10,4%</i>	<i>5,3 ± 0,8</i>
CHT1	Chanterelle en tube	42	St-Priest-la-Prugne	22/10/15	2 700 ± 290	<i>6,7%</i>	<i>180 ± 19</i>
CHT2	Chanterelle en tube	07	St-André-en-Vivaraïs	31/10/15	930 ± 100	6,7%	62 ± 7
CHT3	Chanterelle en tube	07	Arcens	01/10/15	910 ± 110	<i>6,7%</i>	<i>61 ± 7</i>
CHT4	Chanterelle en tube	07	Issarlès	25/10/15	540 ± 60	<i>6,7%</i>	<i>36 ± 4</i>
CHJ1	Chanterelle jaunissante	26	St-Dizier-en-Diois	08/11/15	108 ± 15	6,6%	7,1 ± 1,0
CHJ2	Chanterelle jaunissante	07	St-Marcel-d'Ardèche	18/11/15	80 ± 13	10,9%	8,7 ± 1,4
CHJ3	Chanterelle jaunissante	26	Le-Poët-Laval	06/11/15	30 ± 6	6,2%	1,8 ± 0,4
CHJ4	Chanterelle jaunissante	07	St-Paul-le-Jeune	13/11/15	17 ± 5	6,7%	1,2 ± 0,3
LAD1	Lactaire délicieux	26	Plan-de-Baix	08/11/15	395 ± 47	9,5%	37 ± 4
LAD2	Lactaire délicieux	26	Bouvante	15/10/15	316 ± 38	6,3%	20 ± 2
LAD3	Lactaire délicieux	26	Le-Poët-Laval	06/11/15	198 ± 30	6,0%	12 ± 2
LAD4	Lactaire délicieux	26	St-Dizier-en-Diois	08/11/15	12 ± 5	10,1%	1,2 ± 0,5
PIM1	Pied de mouton	26	Le-Poët-Laval	06/11/15	120 ± 17	6,0%	7,2 ± 1,0
PIM2	Pied de mouton	26	Montmeyran	12/11/15	60 ± 10	6,8%	4,1 ± 0,7
PIM3	Pied de mouton	26	Roche-St-Secret-Béconne	18/11/15	10 ± 4	14,8%	1,5 ± 0,6
PIM4	Pied de mouton	26	St-Dizier-en-Diois	08/11/15	< 6	6,6%	< 0,4
TRE1	Tricholome équestre	07	St-Félicien	16/11/15	14 ± 4	8,9%	1,3 ± 0,3
TRP1	Tricholome prétentieux	07	Coucouron	04/11/15	630 ± 70	5,7%	36 ± 4
TRP2	Tricholome prétentieux	07	St-Agrève	01/11/15	20 ± 5	11,1%	2,2 ± 0,5
TRP3	Tricholome prétentieux	07	St-Félicien	06/11/15	8 ± 5	5,6%	0,4 ± 0,3
TRT1	Tricholome terreux	26	Bouvante	15/10/15	2 200 ± 230	4,5%	99 ± 10
TRT2	Tricholome terreux	26	Montbrun-les-Bains	13/11/15	176 ± 22	8,2%	14 ± 2
TRT3	Tricholome terreux	26	St-Dizier-en-Diois	08/11/15	16 ± 4	5,4%	0,9 ± 0,2
TRM1	Trompette des morts	74	Perrignier	05/10/15	31 ± 7	10,4%	3,2 ± 0,7
TRM2	Trompette des morts	38	Morette	10/11/15	26 ± 6	<i>12,4%</i>	<i>3,2 ± 0,7</i>
TRM3	Trompette des morts	26	Jaillans	27/10/15	20 ± 5	11,5%	2,3 ± 0,5
TRM4	Trompette des morts	38	Murianette	19/10/15	8 ± 4	11,1%	0,9 ± 0,5
TRM5	Trompette des morts	38	Jarrie	22/10/15	8 ± 2	<i>12,4%</i>	<i>1,0 ± 0,3</i>
TRM6	Trompette des morts	74	St-Gervais-les-Bains	16/11/15	4,4 ± 2,5	16,5%	0,7 ± 0,4

Notes

Les valeurs en italique correspondent aux 9 échantillons dont la masse fraîche n'était pas connue.

Pour ces échantillons, le taux de matière sèche a été pris égal à la moyenne des autres échantillons de la même espèce.

3.1.2 AUTRES RESULTATS

Le césium 137 est le seul radionucléide artificiel émetteur de rayonnements gamma détecté (dans 36 échantillons sur 38).

Les limites de détection des autres principaux radionucléides artificiels émetteurs gamma sont reportées dans le Tableau 5 de l'ANNEXE 1 page 14.

S'agissant du césium 134, toutes les activités sont inférieures à la limite de détection, qui est de l'ordre de 2 Bq/kg sec. Ce radionucléide atteignait plusieurs milliers de Bq/kg sec sur certains échantillons analysés par le laboratoire de la CRIIRAD avant 1990, mais compte tenu de sa période radioactive (2 ans), l'activité du césium 134 issu de Tchernobyl a été divisée par plus de 20 000 entre 1986 et 2015. L'absence de césium 134 dans les 38 échantillons analysés en 2015 montre qu'il n'y a pas eu d'apports significatifs récents de césium 134 dans les sols où ont poussé ces champignons. Du césium 134 était présent dans les retombées de Fukushima intervenues à partir de fin mars 2011, mais les niveaux étaient très faibles⁸.

3.2 RADIONUCLEIDES NATURELS EMETTEURS GAMMA

L'étude avait pour but principal de déterminer la teneur en césium 137 dans les champignons collectés. Pour cela, quelques dizaines de grammes par échantillon suffisaient.

La spectrométrie gamma permet également de doser les radionucléides naturels émetteurs gamma : ceux-ci ont été recherchés, en sachant toutefois que pour obtenir des limites de détection relativement basses, il aurait été nécessaire d'analyser des quantités plus importantes de matière par échantillon.

Seuls ont été détectés :

- le **potassium 40**, dans tous les échantillons. Les activités mesurables sont comprises entre 680 et 2 600 Bq/kg sec ;
- le **béryllium 7**, dans 11 échantillons. Les activités mesurables sont comprises entre 40 et 150 Bq/kg sec ;

S'agissant du plomb 210, les limites de détection sont comprises entre 20 et 140 Bq/kg sec.

Les résultats détaillés relatifs aux radionucléides naturels émetteurs gamma sont présentés dans le Tableau 4 de l'ANNEXE 1 page 13.

3.3 STRONTIUM 90

Pour 6 échantillons, un dosage de strontium 90 (émetteur bêta pur ne pouvant être détecté par spectrométrie gamma) a été sous-traité.

Ce radionucléide possède une période radioactive de 29 ans. Sur les sols français, il provient principalement des retombées des essais nucléaires atmosphériques des années 50/60, et dans une moindre mesure des retombées de Tchernobyl. Il fait par ailleurs partie des radionucléides artificiels pouvant être rejetés par les centrales nucléaires en fonctionnement normal.

Les échantillons choisis correspondent aux 6 espèces pour lesquelles la teneur en césium 137 était la plus élevée lors de la campagne 2015 (bolet bai, cèpe de Bordeaux, chanterelle en tube, lactaire délicieux, tricholome prétentieux ou charbonnier et tricholome terreux ou petit gris).

Le strontium 90 est détecté dans chaque échantillon. Les activités mesurées sont comprises entre **0,53 ± 0,48 Bq/kg sec** dans les tricholomes terreux (petits gris) cueillis à Bouvante et **2,4 ± 0,7 Bq/kg sec** dans les tricholomes prétentieux (charbonniers) provenant de Coucouron.

La teneur en strontium 90 des échantillons analysés est de plusieurs centaines à plusieurs milliers de fois plus faible que la teneur en césium 137.

⁸ Cf. <http://balisescriirad.free.fr/TP2%20CRIIRAD%20Aliments%2027-05-11.pdf> .

Tableau 2 : Résultats du dosage du strontium 90

Activités à la date d'analyse, exprimées en Becquerels par kilogramme sec (Bq/kg sec)

Code	Nom français	Dpt	Commune	Date de cueillette	Strontium 90
AGA1	Agaric des trottoirs	26	Valence	05/10/15	-
ARM1	Armillaire couleur de miel	26	Saint-Jean-en-Royans	15/10/15	-
BOB1	Bolet bai	42	Le-Bessat	24/10/15	1,5 ± 0,9
BOB2	Bolet bai	74	Larringes	09/10/15	-
CEB1	Cèpe de Bordeaux	07	Satillieu	01/10/15	1,1 ± 0,9
CEB2	Cèpe de Bordeaux	07	Arcens	01/10/15	-
CEB3	Cèpe de Bordeaux	07	Pailharès	04/11/15	-
CEB4	Cèpe de Bordeaux	07	St-Prix / Désaignes	01/10/15	-
CEB5	Cèpe de Bordeaux	07	St-Cirgues-en-Montagne	18/11/15	-
CHT1	Chanterelle en tube	42	St-Priest-la-Prugne	22/10/15	1,7 ± 0,9
CHT2	Chanterelle en tube	07	St-André-en-Vivarais	31/10/15	-
CHT3	Chanterelle en tube	07	Arcens	01/10/15	-
CHT4	Chanterelle en tube	07	Issarlès	25/10/15	-
CHJ1	Chanterelle jaunissante	26	St-Dizier-en-Diois	08/11/15	-
CHJ2	Chanterelle jaunissante	07	St-Marcel-d'Ardèche	18/11/15	-
CHJ3	Chanterelle jaunissante	26	Le-Poët-Laval	06/11/15	-
CHJ4	Chanterelle jaunissante	07	St-Paul-le-Jeune	13/11/15	-
LAD1	Lactaire délicieux	26	Plan-de-Baix	08/11/15	1,0 ± 0,4
LAD2	Lactaire délicieux	26	Bouvante	15/10/15	-
LAD3	Lactaire délicieux	26	Le-Poët-Laval	06/11/15	-
LAD4	Lactaire délicieux	26	St-Dizier-en-Diois	08/11/15	-
PIM1	Pied de mouton	26	Le-Poët-Laval	06/11/15	-
PIM2	Pied de mouton	26	Montmeyran	12/11/15	-
PIM3	Pied de mouton	26	Roche-St-Secret-Béconne	18/11/15	-
PIM4	Pied de mouton	26	St-Dizier-en-Diois	08/11/15	-
TRE1	Tricholome équestre	07	St-Félicien	16/11/15	-
TRP1	Tricholome prétentieux	07	Coucouron	04/11/15	2,4 ± 0,7
TRP2	Tricholome prétentieux	07	St-Agrève	01/11/15	-
TRP3	Tricholome prétentieux	07	St-Félicien	06/11/15	-
TRT1	Tricholome terreux	26	Bouvante	15/10/15	0,53 ± 0,48
TRT2	Tricholome terreux	26	Montbrun-les-Bains	13/11/15	-
TRT3	Tricholome terreux	26	St-Dizier-en-Diois	08/11/15	-
TRM1	Trompette des morts	74	Perrignier	05/10/15	-
TRM2	Trompette des morts	38	Morette	10/11/15	-
TRM3	Trompette des morts	26	Jaillans	27/10/15	-
TRM4	Trompette des morts	38	Murianette	19/10/15	-
TRM5	Trompette des morts	38	Jarrie	22/10/15	-
TRM6	Trompette des morts	74	St-Gervais-les-Bains	16/11/15	-

4. CONCLUSION

4.1 RISQUES LIÉS À LA CONSOMMATION DES CHAMPIGNONS

Le risque pour le consommateur du fait de la présence de césium 137 dans ces champignons peut être estimé en utilisant les facteurs de conversion Becquerel / Sievert prescrits par la directive Euratom 96/29. Il faut toutefois garder à l'esprit le fait que ces coefficients sont entachés de nombreuses incertitudes et pourraient, selon de nombreux experts, conduire à une sous-estimation de l'impact. Par exemple, ils ne prennent pas en compte l'hétérogénéité de la distribution de l'énergie parmi les différents organes et cellules. Ainsi, le césium 137 s'accumulerait notamment dans le cœur et les reins. Le risque réel pourrait donc être plus élevé que celui estimé à partir des facteurs officiels.

On constate que pour les trois échantillons les plus contaminés en césium 137 (bolets bais du Bessat, chanterelles en tube de Saint-Priest-La-Prugne et petits gris de Bouvante), la consommation de 3 à 8 kg de champignons frais (ou de quelques centaines de grammes de champignons secs) entraînerait pour l'adulte une exposition non négligeable (supérieure à 10 μ Sv).

A cette exposition, il faudrait ajouter l'impact du strontium 90 : bien que sa teneur soit beaucoup plus faible que celle du césium 137 dans les échantillons analysés, ce radionucléide a la particularité de s'accumuler dans l'organisme en se fixant dans les os, et ce pour très longtemps.

4.2 RÉGLEMENTATION

À titre indicatif, on peut comparer les résultats obtenus aux différentes normes susceptibles d'être applicables aux aliments. La question du respect des niveaux de contamination maximaux admissibles se pose plus particulièrement pour les deux échantillons les plus contaminés (bolets bais du Bessat et chanterelles en tube de Saint-Priest-La-Prugne), dont les activités par masse de matière fraîche⁹ sont estimées respectivement à 241 et 180 Bq/kg frais.

Champignons importés d'un pays non membre de l'UE et contaminés par les retombées de Tchernobyl

Selon une réglementation européenne d'application obligatoire en France, instaurée le 30 mai 1986¹⁰ et encore en vigueur aujourd'hui (et *a priori* jusqu'en 2020)¹¹, un champignon contaminé par Tchernobyl, cueilli par exemple en Ukraine ou au Belarus, ne peut être importé dans l'Union européenne si sa contamination en césium dépasse **600 Bq/kg frais**. La limite se rapporte à la somme des activités des isotopes 137 et 134 du césium. Malgré la disparition du césium 134 et la décroissance de l'activité du césium 137, cette limite n'a jamais été revue à la baisse. S'ils étaient importés d'un pays extérieur à l'Europe contaminé par Tchernobyl, les 38 échantillons analysés en 2015 ne feraient l'objet d'aucune restriction, l'échantillon le plus contaminé ne dépassant pas 250 Bq/kg frais.

Champignons cueillis en France et contaminés par les retombées de Tchernobyl

La Commission européenne a recommandé aux États membres d'appliquer à l'intérieur de leurs frontières, les limites définies pour les importations à partir de pays tiers mais cette recommandation n'est pas prescriptive. En France, aucun texte spécifique n'a été adopté.

Champignons importés du Japon et contaminés par les retombées de l'accident de Fukushima Daiichi

Pour les importations en provenance du Japon, l'Union européenne s'est finalement alignée sur les limites adoptées par les autorités japonaises¹². Pour l'ensemble des denrées (hors lait, aliments pour nourrissons et eau potable), la limite applicable à compter du 1^{er} avril 2012 pour la somme des activités du césium 134 et du césium 137 est de **100 Bq/kg**. De ce fait, si les 2 échantillons présentant les teneurs en césium 137 les plus élevées (**bolets bais du Bessat et chanterelles en tube de Saint-Priest-La-Prugne**) étaient contaminés par le césium 137 de Fukushima, ils **n'auraient pas pu être exportés ni franchir les frontières de l'Europe**.

⁹ Les 38 échantillons de la campagne de 2015 ont été analysés en « sec ». L'activité par masse de produit frais a été estimée à partir de leur taux de matière sèche (ce taux a été déterminé par pesée des champignons frais puis secs dans 29 cas, et par extrapolation pour les 9 autres échantillons qui nous ont été transmis secs). Les activités par kilogramme de matière fraîche sont présentées dans le Tableau 1 page 6.

¹⁰ Règlement (CEE) n°1707/86 du 30 mai 1986 relatif aux conditions d'importation de produits agricoles originaires des pays tiers à la suite de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Tchernobyl.

¹¹ Règlement (CE) n° 1048/2009 du Conseil du 23 octobre 2009 modifiant le règlement (CE) n° 733/2008 relatif aux conditions d'importation de produits agricoles originaires des pays tiers à la suite de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Tchernobyl.

¹² Les autorités japonaises avaient adopté le 17 mars des valeurs réglementaires provisoires. Pour le césium, la limite applicable aux champignons était de 500 Bq/kg. Pour les importations de denrées alimentaires originaires du Japon, l'Union européenne s'est alignée sur cette valeur le 11 avril 2011 (le 22 mars 2011, elle avait d'abord rendu applicable une limite prédéfinie de 1 250 Bq/kg).

Category	Previsional regulation value
Drinking water	200
Milk, dairy products	200
Vegetables	500
Grains	
Meat, eggs, fish, etc.	



Category	Limit
Drinking water	10
Milk	50
General Foods	100
Infant Foods	50

(Unit : Bq/kg)

Et en cas de nouvel accident affectant le territoire européen ?

La réglementation européenne fixe des niveaux de contamination maximaux admissibles dans les aliments applicables en cas de nouvel accident nucléaire.¹³ Pour le groupe du césium et les aliments de base¹⁴ (viande, céréales, fruits, légumes, champignons), la limite est fixée à **1 250 Bq/kg frais**. Ces niveaux préétablis sont définis pour une durée maximale de 3 mois et pourraient ensuite être modifiés après consultation des experts Euratom. La CRIIRAD a [dénoncé](#) le caractère trop élevé de ces limites.

¹³ Règlement (Euratom) 2016/52 du 15 janvier 2016 du Conseil fixant les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et les aliments pour animaux après un accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique, et abrogeant le règlement (Euratom) n° 3954/87 et les règlements (Euratom) n° 944/89 et (Euratom) n° 770/90 de la Commission.

¹⁴ hors lait, aliments pour nourrissons, liquides alimentaires et produits de moindre importance.

ANNEXE 1. SPECTROMETRIE GAMMA (RESULTATS DETAILLES)

Tableau 3 : Description des échantillons

Code	Espèce			Provenance			Echantillon							
	Nom français	Nom vernaculaire	Nom latin	Dpt	Commune	Coordonnées GPS	Code échantillon	Date de cueillette	Masse analysée (g)	Taux de matière sèche	Géométrie	N° d'analyse	Date d'analyse	Durée du comptage (s)
AGA1	Agaric des trottoirs	-	<i>Agaricus bitorquis</i>	26	Valence	N 44,9369° E 4,9238°	061015A1	05/10/15	27,20	6,1%	Pétri	C 28561	12/10/15	161 161
ARM1	Armillaire couleur de miel	-	<i>Armillaria mellea</i>	26	Saint-Jean-en-Royans	N 45,0065° E 5,2982°	151015A1	15/10/15	25,44	5,8%	Pétri	B 28586	29/10/15	82 380
BOB1	Bolet bai	-	<i>Xerocomus badius</i>	42	Le-Bessat	N 45,3703° E 4,5247°	261015B1	24/10/15	9,12	8,0%	Pétri (petit modèle)	B 28591	02/11/15	86 049
BOB2	Bolet bai	-	<i>Xerocomus badius</i>	74	Larringes	N 46,3714° E 6,5996°	121015A1	09/10/15	11,65	4,8%	Pétri (petit modèle)	C 28571	20/10/15	105 615
CEB1	Cèpe de Bordeaux	-	<i>Boletus edulis</i>	07	Satillieu	Non précisé	091115C6	01/10/15	34,32	Non mesuré	Pétri	C 28618	17/11/15	86 338
CEB2	Cèpe de Bordeaux	-	<i>Boletus edulis</i>	07	Arcens	Non précisé	091115C5	01/10/15	29,93	Non mesuré	Pétri	C 28655	02/12/15	85 875
CEB3	Cèpe de Bordeaux	-	<i>Boletus edulis</i>	07	Pailharès	N 45,0604° E 4,5563°	041115B1	04/11/15	19,27	10,4%	Pétri	B 28609	12/11/15	85 842
CEB4	Cèpe de Bordeaux	-	<i>Boletus edulis</i>	07	St-Prix / Désaignes	Non précisé	091115C3	01/10/15	27,11	Non mesuré	Pétri	B 28620	18/11/15	86 833
CEB5	Cèpe de Bordeaux	-	<i>Boletus edulis</i>	07	St-Cirgues-en-Montagne	Non précisé	231115A3	18/11/15	46,23	Non mesuré	Pétri	B 28695	17/12/15	85 729
CHT1	Chanterelle en tube	-	<i>Craterellus tubaeformis</i>	42	St-Priest-la-Prugne	N 45,9407° E 3,7287°	201115B1	22/10/15	32,98	Non mesuré	Pétri	B 28674	09/12/15	86 242
CHT2	Chanterelle en tube	-	<i>Craterellus tubaeformis</i>	07	St-André-en-Vivaraix	N 45,1389° E 4,3931°	021115A1	31/10/15	26,83	6,7%	Pétri	B 28602	09/11/15	85 310
CHT3	Chanterelle en tube	-	<i>Craterellus tubaeformis</i>	07	Arcens	Non précisé	091115C4	01/10/15	25,79	Non mesuré	Pétri	C 28636	23/11/15	45 956
CHT4	Chanterelle en tube	-	<i>Craterellus tubaeformis</i>	07	Issarlès	Non précisé	091115C2	25/10/15	26,47	Non mesuré	Pétri	B 28616	16/11/15	86 265
CHJ1	Chanterelle jaunissante	-	<i>Craterellus lutescens</i>	26	St-Dizier-en-Diois	N 44,4982° E 5,4995°	091115A3	08/11/15	32,71	6,6%	Pétri	C 28642	25/11/15	85 545
CHJ2	Chanterelle jaunissante	-	<i>Craterellus lutescens</i>	07	St-Marcel-d'Ardèche	Non précisé	231115A1	18/11/15	24,51	10,9%	Pétri	B 28685	14/12/15	86 553
CHJ3	Chanterelle jaunissante	-	<i>Craterellus lutescens</i>	26	Le-Poët-Laval	N 44,5139° E 4,9694°	061115A2	06/11/15	14,38	6,2%	Pétri (petit modèle)	B 28614	13/11/15	231 837
CHJ4	Chanterelle jaunissante	-	<i>Craterellus lutescens</i>	07	St-Paul-le-Jeune	N 44,3420° E 4,1381°	191115C1	13/11/15	19,84	6,7%	Pétri	B 28678	10/12/15	100 940
LAD1	Lactaire délicieux	-	<i>Lactarius deliciosus</i>	26	Plan-de-Baix	N 44,8201° E 5,1663°	091115B1	08/11/15	39,41	9,5%	Pétri	C 28621	18/11/15	65 331
LAD2	Lactaire délicieux	-	<i>Lactarius deliciosus</i>	26	Bouvante	N 44,9768° E 5,3128°	151015A3	15/10/15	27,18	6,3%	Pétri	B 28584	28/10/15	86 394
LAD3	Lactaire délicieux	-	<i>Lactarius deliciosus</i>	26	Le-Poët-Laval	N 44,5152° E 4,9740°	061115A1	06/11/15	24,30	6,0%	Pétri	B 28612	13/11/15	25 789
LAD4	Lactaire délicieux	-	<i>Lactarius deliciosus</i>	26	St-Dizier-en-Diois	N 44,5113° E 5,5090°	091115A4	08/11/15	17,95	10,1%	Pétri	B 28656	02/12/15	85 912
PIM1	Pied de mouton	-	<i>Hydnum repandum</i>	26	Le-Poët-Laval	N 44,5152° E 4,9740°	061115A3	06/11/15	13,03	6,0%	Pétri (petit modèle)	B 28622	19/11/15	113 348
PIM2	Pied de mouton	-	<i>Hydnum repandum</i>	26	Montmeyran	N 44,8325° E 5,0173°	131115A1	12/11/15	13,54	6,8%	Pétri (petit modèle)	B 28645	26/11/15	111 925
PIM3	Pied de mouton	-	<i>Hydnum repandum</i>	26	Roche-St-Secret-Béconne	Non précisé	231115A2	18/11/15	34,08	14,8%	Pétri	B 28688	15/12/15	37 214
PIM4	Pied de mouton	-	<i>Hydnum repandum</i>	26	St-Dizier-en-Diois	N 44,5088° E 5,5043°	091115A1	08/11/15	38,30	6,6%	Pétri	C 28649	30/11/15	87 048
TRE1	Tricholome équestre	Canari	<i>Tricholoma equestre</i>	07	St-Félicien	N 45,0870° E 4,6024°	171115A1	16/11/15	28,17	8,9%	Pétri	B 28668	07/12/15	85 893
TRP1	Tricholome prétentieux	Charbonnier	<i>Tricholoma portentosum</i>	07	Coucouron	Non précisé	091115C1	04/11/15	35,23	5,7%	Pétri	B 28643	25/11/15	85 711
TRP2	Tricholome prétentieux	Charbonnier	<i>Tricholoma portentosum</i>	07	St-Agrève	N 45,0050° E 4,3767°	031115A1	01/11/15	12,25	11,1%	Pétri (petit modèle)	B 28600	06/11/15	233 298
TRP3	Tricholome prétentieux	Charbonnier	<i>Tricholoma portentosum</i>	07	St-Félicien	N 45,0870° E 4,6024°	061115B1	06/11/15	14,59	5,6%	Pétri (petit modèle)	C 28644	26/11/15	86 035
TRT1	Tricholome terreux	Petit gris	<i>Tricholoma terreum</i>	26	Bouvante	N 44,9768° E 5,3128°	151015A2	15/10/15	32,27	4,5%	Pétri	B 28573	22/10/15	106 730
TRT2	Tricholome terreux	Petit gris	<i>Tricholoma terreum</i>	26	Montbrun-les-Bains	N 44,2100° E 5,3981°	251115A1	13/11/15	13,28	8,2%	Pétri (petit modèle)	B 28683	11/12/15	231 970
TRT3	Tricholome terreux	Petit gris	<i>Tricholoma terreum</i>	26	St-Dizier-en-Diois	N 44,5134° E 5,5099°	091115A2	08/11/15	13,74	5,4%	Pétri (petit modèle)	B 28630	20/11/15	231 749
TRM1	Trompette des morts	-	<i>Craterellus cornucopioides</i>	74	Perrignier	N 46,3187° E 6,4494°	121015A2	05/10/15	20,37	10,4%	Pétri	B 28566	15/10/15	93 628
TRM2	Trompette des morts	-	<i>Craterellus cornucopioides</i>	38	Morette	Non précisé	191115C2	10/11/15	30,84	Non mesuré	Pétri	B 28650	30/11/15	85 408
TRM3	Trompette des morts	-	<i>Craterellus cornucopioides</i>	26	Jaillans	N 45,0261° E 5,1617°	301015A1	27/10/15	20,32	11,5%	Pétri (petit modèle)	B 28598	05/11/15	111 219
TRM4	Trompette des morts	-	<i>Craterellus cornucopioides</i>	38	Muriette	N 45,1892° E 5,8422°	271015B1	19/10/15	24,02	11,1%	Pétri	C 28585	29/10/15	86 276
TRM5	Trompette des morts	-	<i>Craterellus cornucopioides</i>	38	Jarrie	N 45,1342° E 5,7307°	071215B1	22/10/15	28,28	Non mesuré	Pétri	B 28698	18/12/15	260 775
TRM6	Trompette des morts	-	<i>Craterellus cornucopioides</i>	74	St-Gervais-les-Bains	N 45,8954° E 6,7296°	231115A4	16/11/15	15,99	16,5%	Pétri (petit modèle)	B 28648	27/11/15	231 780

Tableau 4 : résultats des analyses par spectrométrie gamma (radionucléides naturels émetteurs gamma)

Activités à la date d'analyse, exprimées en Becquerels par kilogramme sec (Bq/kg sec)

Code	Chaîne de l'uranium 238			Uranium 235	Chaîne du thorium 232		Autres radionucléides	
	Thorium 234*	Radium 226**	Plomb 210*	Uranium 235	Actinium 228	Plomb 212	Potassium 40	Béryllium 7
AGA1	< 31	< 8	< 50	< 33	< 19	< 9	2 140 ± 290	< 9
ARM1	< 80	< 8	< 120	< 20	< 11	< 8	1 730 ± 270	< 70
BOB1	< 70	< 19	< 140	< 43	< 46	< 15	1 440 ± 320	< 40
BOB2	< 70	< 14	< 48	< 39	< 24	< 7	1 590 ± 300	< 22
CEB1	< 30	< 4,0	< 26	< 19	< 10	< 3,5	850 ± 150	< 11
CEB2	< 35	< 4,4	< 28	< 23	< 21	< 6	680 ± 140	< 11
CEB3	< 43	< 13	< 90	< 25	< 28	< 13	1 030 ± 210	< 17
CEB4	< 34	< 13	< 60	< 17	< 11	< 8	780 ± 160	< 11
CEB5	< 40	< 7	< 47	< 11	< 10	< 6	800 ± 130	< 7
CHT1	< 60	< 10	< 80	< 19	< 8	< 7	1 300 ± 200	74 ± 33
CHT2	< 34	< 11	< 60	< 20	< 16	< 10	1 330 ± 220	< 50
CHT3	< 45	< 15	< 110	< 32	< 31	< 6	1 130 ± 230	< 21
CHT4	< 60	< 7	< 50	< 20	< 14	< 3,6	1 360 ± 220	< 14
CHJ1	< 30	< 10	< 60	< 20	< 11	< 3,4	1 240 ± 200	61 ± 24
CHJ2	< 36	< 6	< 100	< 20	< 12	< 4,4	1 250 ± 220	< 60
CHJ3	< 45	< 9	< 80	< 15	< 18	< 10	1 300 ± 220	63 ± 20
CHJ4	< 80	< 11	< 110	< 23	< 19	< 8	1 170 ± 220	123 ± 35
LAD1	< 50	< 9	< 60	< 18	< 18	< 7	920 ± 160	< 50
LAD2	< 70	< 5	< 90	< 19	< 11	< 3,8	830 ± 160	50 ± 22
LAD3	< 48	< 7	< 60	< 36	< 18	< 16	850 ± 220	< 26
LAD4	< 110	< 14	< 60	< 28	< 20	< 12	970 ± 210	< 17
PIM1	< 50	< 8	< 80	< 24	< 21	< 11	1 850 ± 310	< 80
PIM2	< 70	< 11	< 50	< 24	< 30	< 10	2 220 ± 340	< 16
PIM3	< 46	< 10	< 70	< 23	< 22	< 9	1 910 ± 290	< 14
PIM4	< 19	< 7	< 21	< 23	< 14	< 5	1 920 ± 260	< 9
TRE1	< 42	< 9	< 80	< 18	< 16	< 9	1 870 ± 270	< 11
TRP1	< 26	< 8	< 80	< 15	< 23	< 6	2 480 ± 330	< 12
TRP2	< 70	< 12	< 100	< 18	< 14	< 11	1 580 ± 270	< 12
TRP3	< 37	< 7	< 44	< 32	< 42	< 8	2 450 ± 380	< 16
TRT1	< 43	< 7	< 80	< 17	< 9	< 9	2 440 ± 320	< 16
TRT2	< 39	< 9	< 34	< 18	< 17	< 8	2 550 ± 370	54 ± 23
TRT3	< 45	< 10	< 50	< 16	< 12	< 7	2 120 ± 310	59 ± 19
TRM1	< 48	< 17	< 80	< 23	< 25	< 11	1 660 ± 270	< 41
TRM2	< 36	< 10	< 70	< 16	< 9	< 9	1 680 ± 250	< 50
TRM3	< 48	< 18	< 70	< 17	< 10	< 12	1 520 ± 230	54 ± 19
TRM4	< 60	< 10	< 90	< 32	< 40	< 13	1 430 ± 240	147 ± 40
TRM5	< 47	< 8	< 70	< 11	< 10	< 10	2 000 ± 270	45 ± 13
TRM6	< 31	< 12	< 44	< 14	< 11	< 8	1 450 ± 230	43 ± 17

Légende

NM : non mesuré ± : marge d'incertitude < : limite de détection

* : s'agissant de raies gamma à basse énergie (< 100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

** : le radium 226 est évalué à partir de ses descendants le plomb 214 et le bismuth 214. Il s'agit d'une évaluation par défaut, le comptage ayant été effectué sans attendre le délai nécessaire à la mise en équilibre.

Tableau 5 : résultats des analyses par spectrométrie gamma (radionucléides artificiels émetteurs gamma)

Activités ramenées à la date du prélèvement, exprimées en Becquerels par kilogramme sec (Bq/kg sec)

Code	Césium 137	Césium 134	Cobalt 58	Cobalt 60	Manganèse 54	Antimoine 125	Cérium 144	Argent 110m	Américium 241*	Iode 129*	Ruthénium 106
AGA1	6 ± 3	< 1,1	< 1,3	< 1,0	< 1,3	< 3,0	< 5,0	< 1,1	< 1,2	< 1,2	< 11
ARM1	< 1,7	< 1,5	< 1,9	< 1,4	< 1,7	< 4,4	< 8	< 1,6	< 2,3	< 2,0	< 15
BOB1	3 020 ± 330	< 3,4	< 3,5	< 3,1	< 3,3	< 13	< 17	< 3,8	< 4,5	< 4,6	< 34
BOB2	960 ± 110	< 2,2	< 2,7	< 2,4	< 2,5	< 7	< 11	< 2,6	< 2,4	< 2,5	< 23
CEB1	308 ± 37	< 1,2	< 2,0	< 1,1	< 1,3	< 3,5	< 6	< 1,4	< 1,3	< 1,4	< 12
CEB2	178 ± 23	< 1,4	< 2,5	< 1,3	< 1,6	< 4,0	< 7	< 1,6	< 1,4	< 1,5	< 15
CEB3	102 ± 16	< 1,8	< 2,2	< 1,8	< 2,1	< 6	< 11	< 2,0	< 3,0	< 2,6	< 18
CEB4	102 ± 14	< 1,4	< 2,2	< 1,2	< 1,6	< 4,0	< 8	< 1,4	< 2,1	< 1,9	< 14
CEB5	51 ± 8	< 0,8	< 1,1	< 0,7	< 0,8	< 2,4	< 4,6	< 0,8	< 1,2	< 1,1	< 8
CHT1	2 700 ± 290	< 1,4	< 1,8	< 1,0	< 1,3	< 6	< 9	< 1,8	< 2,1	< 2,7	< 15
CHT2	930 ± 100	< 1,4	< 1,5	< 1,3	< 1,5	< 5	< 8	< 1,6	< 2,3	< 2,3	< 14
CHT3	910 ± 110	< 2,3	< 3,7	< 2,1	< 2,5	< 8	< 11	< 2,6	< 2,4	< 2,9	< 22
CHT4	540 ± 60	< 1,4	< 1,8	< 1,4	< 1,5	< 5,0	< 8	< 1,6	< 2,1	< 2,0	< 14
CHJ1	108 ± 15	< 1,2	< 1,5	< 1,2	< 1,3	< 3,5	< 6	< 1,3	< 1,3	< 1,4	< 12
CHJ2	80 ± 13	< 1,5	< 2,0	< 1,4	< 1,6	< 4,5	< 9	< 1,6	< 2,3	< 2,1	< 15
CHJ3	30 ± 6	< 1,2	< 1,3	< 1,2	< 1,3	< 3,4	< 6	< 1,3	< 1,7	< 1,3	< 12
CHJ4	17 ± 5	< 1,7	< 2,4	< 1,6	< 1,8	< 4,9	< 10	< 1,8	< 2,7	< 2,3	< 17
LAD1	395 ± 47	< 1,1	< 1,4	< 1,1	< 1,2	< 3,9	< 6	< 1,3	< 1,3	< 1,5	< 12
LAD2	316 ± 38	< 1,2	< 1,4	< 1,2	< 1,4	< 4,3	< 8	< 1,4	< 2,1	< 2,0	< 13
LAD3	198 ± 30	< 2,7	< 2,9	< 2,9	< 3,1	< 8	< 16	< 2,7	< 4,3	< 3,9	< 27
LAD4	12 ± 5	< 2,0	< 2,5	< 1,9	< 2,1	< 6	< 12	< 2,0	< 3,2	< 2,3	< 20
PIM1	120 ± 17	< 2,0	< 2,2	< 1,9	< 2,1	< 6	< 10	< 2,1	< 2,5	< 2,2	< 19
PIM2	60 ± 10	< 1,9	< 2,3	< 1,9	< 2,1	< 5	< 9	< 2,0	< 2,5	< 2,1	< 18
PIM3	10 ± 4	< 1,8	< 2,3	< 1,7	< 1,8	< 4,7	< 10	< 1,9	< 2,6	< 2,3	< 18
PIM4	< 6	< 1,0	< 1,4	< 1,0	< 1,2	< 2,9	< 5	< 1,1	< 1,2	< 1,2	< 11
TRE1	14 ± 4	< 1,3	< 1,7	< 1,2	< 1,4	< 3,8	< 7	< 1,4	< 2,0	< 1,9	< 14
TRP1	630 ± 70	< 1,2	< 1,4	< 1,2	< 1,2	< 4,1	< 7	< 1,3	< 1,8	< 1,8	< 12
TRP2	20 ± 5	< 1,4	< 1,6	< 1,3	< 1,5	< 4,1	< 7	< 1,4	< 1,8	< 1,6	< 14
TRP3	8 ± 5	< 2,0	< 2,7	< 2,2	< 2,4	< 6	< 9	< 2,1	< 2,1	< 1,8	< 20
TRT1	2 200 ± 230	< 1,2	< 1,2	< 1,0	< 1,1	< 5	< 7	< 1,4	< 1,9	< 2,3	< 12
TRT2	176 ± 22	< 1,5	< 2,0	< 1,4	< 1,6	< 4,4	< 8	< 1,7	< 1,9	< 1,7	< 15
TRT3	16 ± 4	< 1,3	< 1,6	< 1,2	< 1,4	< 3,6	< 6	< 1,4	< 1,7	< 1,5	< 13
TRM1	31 ± 7	< 1,7	< 1,9	< 1,5	< 1,8	< 4,9	< 10	< 1,8	< 2,7	< 2,4	< 17
TRM2	26 ± 6	< 1,3	< 1,5	< 1,1	< 1,3	< 3,6	< 7	< 1,3	< 1,9	< 1,7	< 12
TRM3	20 ± 5	< 1,2	< 1,4	< 1,2	< 1,3	< 3,6	< 6	< 1,3	< 1,6	< 1,4	< 12
TRM4	8 ± 4	< 1,7	< 1,9	< 1,5	< 1,9	< 4,8	< 8	< 1,8	< 1,8	< 1,8	< 16
TRM5	8 ± 2	< 0,8	< 1,4	< 0,8	< 0,9	< 2,3	< 4,9	< 0,9	< 1,2	< 1,1	< 8
TRM6	4,4 ± 2,5	< 1,1	< 1,3	< 1,1	< 1,2	< 3,1	< 5	< 1,2	< 1,4	< 1,2	< 11

Légende

NM : non mesuré ± : marge d'incertitude < : limite de détection

* : s'agissant de raies gamma à basse énergie (< 100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.