

40 ANS APRÈS TCHERNOBYL

Radiations, êtes-vous toujours là ?

On peut lire sur Internet que la demi-vie du césium-137 rejeté par la centrale nucléaire de Tchernobyl est terminée et que le danger est écarté. Cependant, il semble plus prudent de chercher à comprendre si le risque persiste aujourd'hui et, le cas échéant, d'apprendre à l'éviter.



Centrale nucléaire de Tchernobyl, 1986

I. Turkovsky, I. Khromova, S. Runtsevich

Laboratoire de surveillance des rayonnements,
Institut de radioprotection « Belrad », octobre 2025



Enfants de Tchernobyl Belarus

Institut Belrad



Extrait de l'analyse d'E. K. Nilova, chercheuse principale au « Centre de sûreté nucléaire et radiologique » de Minsk :

« La plus grande catastrophe nucléaire s'est produite au siècle dernier. L'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl a eu lieu en 1986. Il s'agit de l'événement nucléaire le plus grave sur l'échelle internationale des incidents nucléaires (niveau 7).

Les conséquences de l'accident ont touché de nombreux pays européens à des degrés divers. L'Ukraine, le Bélarus et la Russie ont été les plus durement frappés. De plus, la gravité relative des conséquences de l'accident pour la République du Bélarus s'est avérée nettement supérieure à celle des pays voisins. C'est pourquoi la gestion des conséquences de Tchernobyl est devenue une priorité nationale pour le Bélarus.

Bien que la première période de demi-vie des principaux radionucléides de "Tchernobyl" (Cs-137 et Sr-90) soit terminée, l'information du public sur la situation radiologique actuelle dans les territoires contaminés demeure essentielle compte tenu de l'exposition aux radiations après Tchernobyl.

Cet essai informatif et journalistique est rédigé dans un style extrêmement simple, compréhensible aussi bien par les utilisateurs dont l'activité professionnelle n'est pas liée à la sûreté nucléaire et radiologique que par les enfants et les personnes âgées. »

40 ANS APRÈS TCHERNOBYL. RADIATIONS, ÊTES-VOUS TOUJOURS LÀ ?

Bref rappel de l'histoire

L'accident survenu à la centrale nucléaire de Tchernobyl le 26 avril 1986 est, à juste titre, considéré comme l'une des plus grandes catastrophes d'origine humaine. Deux explosions et l'incendie qui s'en est suivi ont entraîné le rejet d'au moins 200 types différents de radionucléides dans l'atmosphère. La pollution a été d'envergure planétaire. Le césium-137 à lui seul a contaminé plus de vingt pays européens.

Nucléïde	Demi-vie			Demi-vie x 10
	heures	jours	années	
Neptunium-239	58			24 jours
Molybdenum-99	67			28 jours
Tellurium-132	78			32 jours
Xenon-133	126			53 jours
Iodine-131		8		80 jours
Barium-140		12.8		128 jours
Cerium-141		32.5		325 jours
Ruthénium-103		39.6		396 jours
Strontium-89		50.5		505 jours
Zirconium-95		64		1.8 ans
Curium-242		163		4.5 ans
Cerium-144		284		7.8 ans
Ruthénium-106			1	10 ans
Caesium-134			2.1	21 ans
Krypton-85			10.7	107 ans
Plutonium-241			14.4	144 ans
Strontium-90			29.1	291 ans
Caesium-137			30	300 ans
Plutonium-238			87.7	877 ans
Plutonium-240			6537	65370 ans
Plutonium-239			24390	243900 ans

Figure 1 — Composition radioisotopique des rejets de la centrale nucléaire de Tchernobyl

Il faut tout d'abord commencer par parler du césium-137. Cet isotope du césium reste, avec le strontium-90 et l'américium-241, l'un des radionucléides les plus dangereux pour l'homme.

Environ 35 % du césium-137 rejeté s'est déposé au Bélarus. De ce fait, 3 678 localités ont été recensées en zone contaminée ; 479 d'entre elles ont été détruites. Près de 200 000 personnes ont quitté les territoires touchés ou ont été relogées.

Les régions de Gomel, Brest et Moguilev, au Bélarus, ont été les plus touchées.

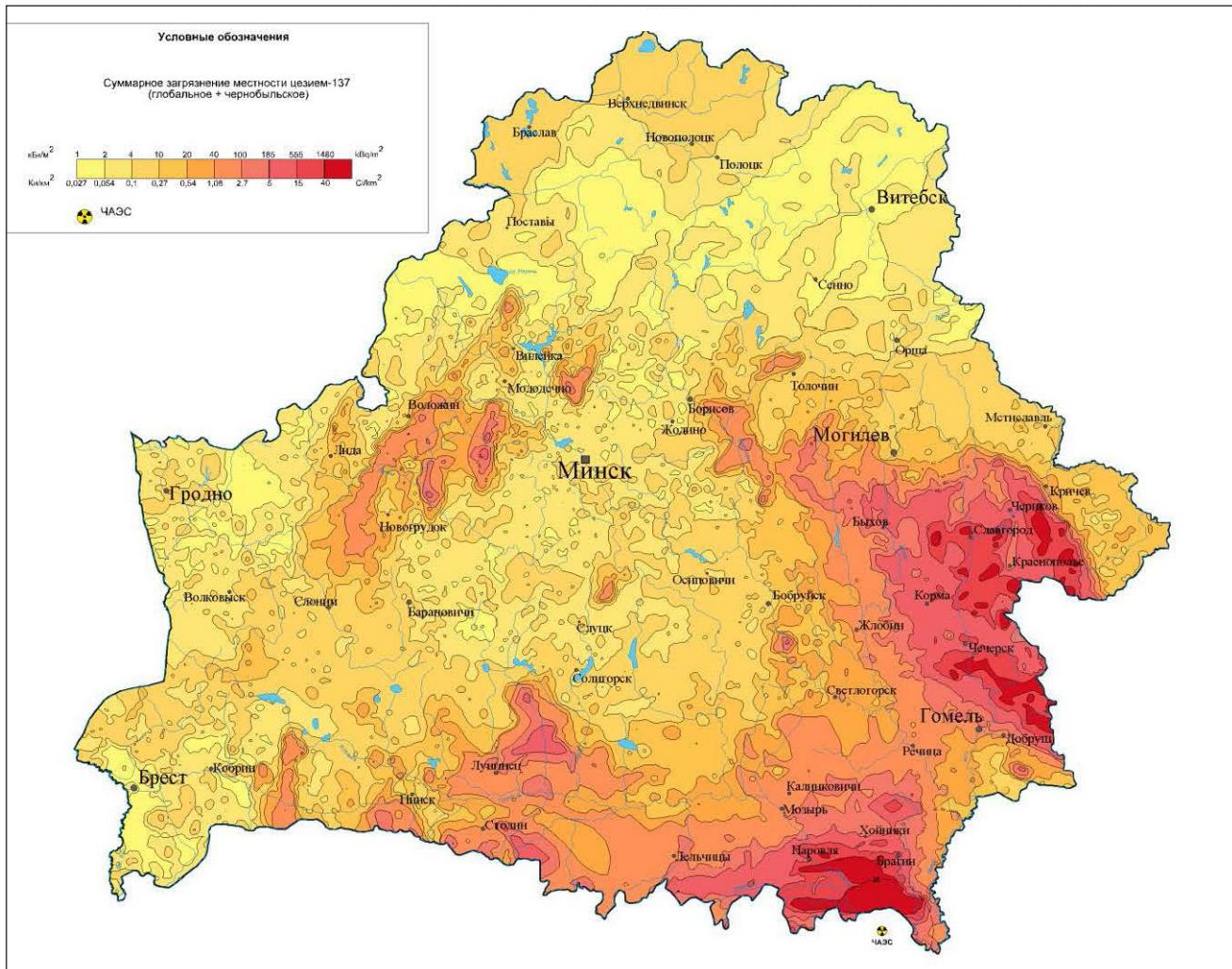


Figure 2 — Carte de la contamination radioactive par le césium-137 du territoire de la République du Bélarus après la catastrophe de Tchernobyl.

Comment le césium-137 pénètre-t-il dans notre organisme ?

Le césium-137 (radiocésium) est un isotope radioactif du césium, c'est-à-dire un type de césium caractérisé par une instabilité nucléaire et une tendance à la désintégration, tout en émettant des rayonnements bêta et gamma dangereux.

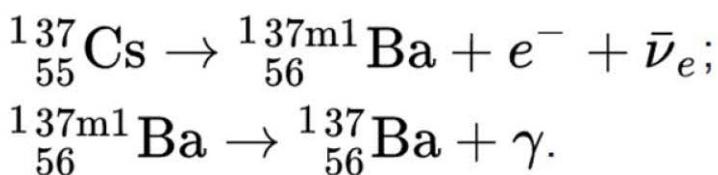


Fig. 3 — Formule de la désintégration radioactive du césium-137

Tout le césium-137 présent sur Terre est d'origine humaine. Le césium-137 rejeté par la centrale nucléaire de Tchernobyl se trouve désormais dans le sol à une profondeur suffisante pour être absorbé par les plantes et les champignons (y compris ceux que nous consommons).

Il existe des voies plus complexes par lesquelles le césium-137 pénètre dans le corps humain. Les animaux sauvages dont nous consommons la viande, ou les vaches dont nous buvons le lait, peuvent servir d'intermédiaires entre les plantes contaminées et l'homme.

Pourquoi est-ce dangereux ?

Le césium-137, en pénétrant dans le corps humain, remplace le potassium, nécessaire au système cardiovasculaire, et s'accumule dans les tissus mous (principalement dans les muscles et le foie). Parallèlement, la désintégration radioactive se poursuit, entraînant une exposition interne de l'organisme.

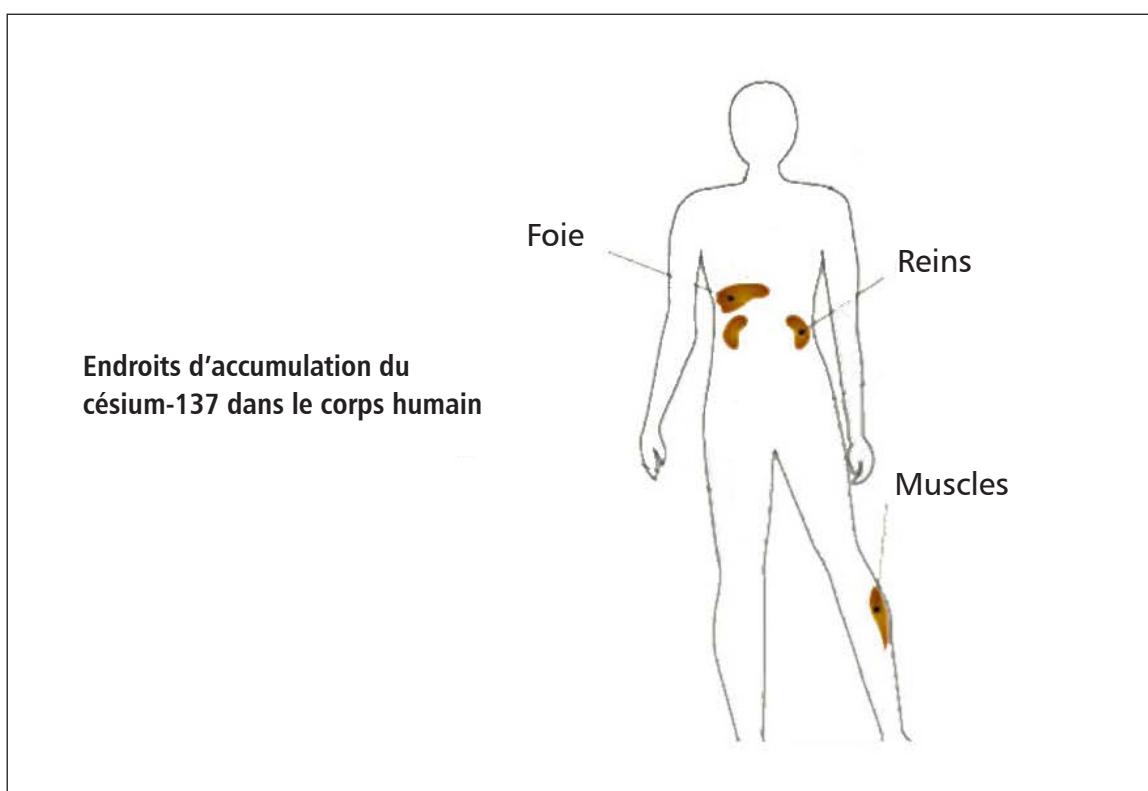


Fig. 4 — Endroits d'accumulation du césium-137 dans le corps humain

Les effets les plus courants du césium-137 sur la santé humaine sont les maladies cardiaques (dystonie neurovasculaire, tachycardie, arythmie, signes avant-coureurs d'infarctus et d'AVC), ainsi que les maladies du foie et du système digestif.

Il convient également de mentionner une baisse générale de l'immunité.

Tout ceci est aggravé par le fait que la demi-vie biologique du césium-137 est d'environ 70 jours (la *demi-vie biologique* correspond au temps nécessaire pour que sa concentration dans le corps humain diminue de moitié après sa concentration maximale). Ainsi, en cas de consommation régulière de produits contaminés, le césium est présent de façon quasi constante dans l'organisme.

La demi-vie du césium-137 est terminée. Tout va-t-il bien maintenant ?

Nombre d'entre nous ont probablement poussé un soupir de soulagement en apprenant en 2016 que la demi-vie du césium était désormais écoulée (un peu plus de 30 ans). Mais qu'est-ce que cela signifie concrètement ?

En termes simples, la quantité de césium-137 provenant de Tchernobyl a diminué de moitié. Cela signifie-t-il que la contamination radioactive a atteint un niveau acceptable ? Nous pouvons projeter pour l'avenir que les données recueillies par l'Institut Belrad indiquent clairement qu'il est toujours dangereux de consommer des denrées alimentaires provenant de zones contaminées.

Suffira-t-il alors d'attendre encore trente ans pour enfin repeupler les zones habitées et se promener sans crainte dans les forêts de Polésie ? Malheureusement, la réponse est encore « non ». En effet, la décroissance radioactive est exponentielle et non linéaire : tous les trente ans, seule la moitié de la quantité de césium restante après les trente années précédentes disparaît.

Le graphique l'illustre parfaitement (fig. 5) :

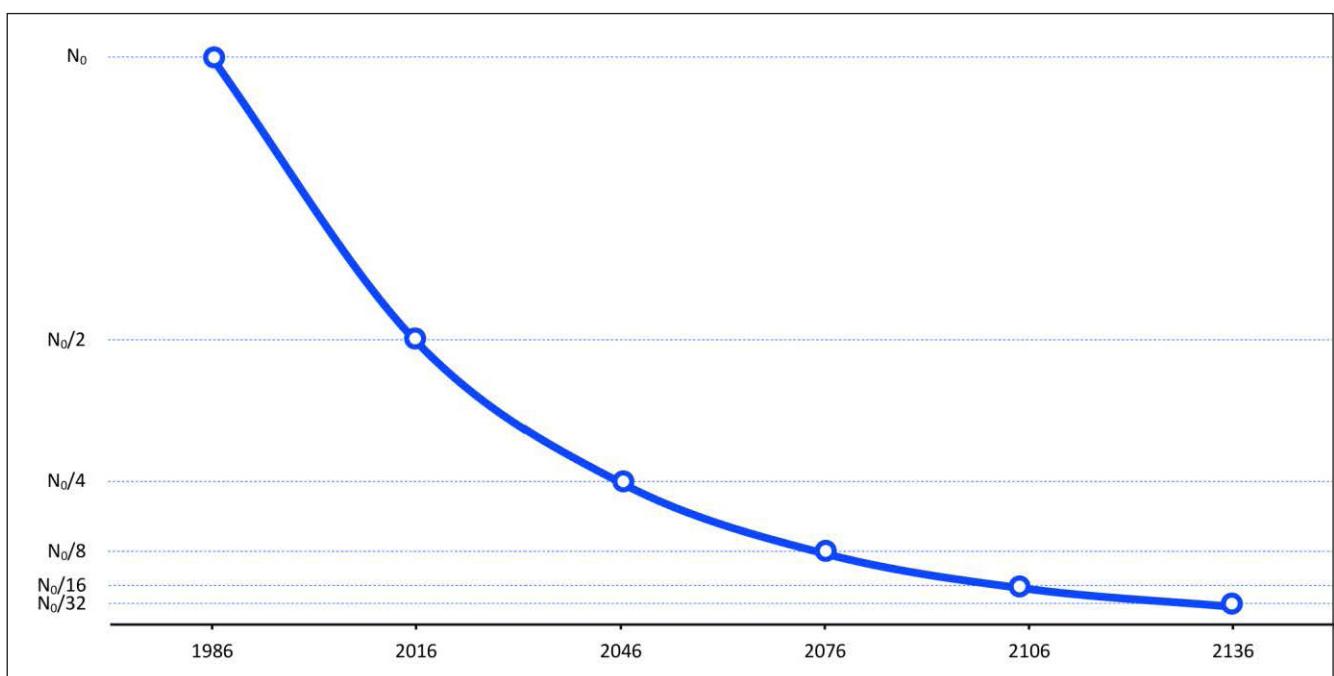


Fig. 5 — Graphique de l'évolution du nombre d'atomes de radionucléides non désintégrés selon la loi de la désintégration radioactive

Ici, l'axe horizontal représente des périodes de trente ans, et l'axe vertical, le nombre de noyaux de césium-137 non désintégrés. Ces noyaux continuent d'émettre des radiations dangereuses et sont susceptibles de pénétrer dans notre organisme par l'alimentation.

Par conséquent, un niveau de contamination au césium véritablement sûr ne sera atteint qu'après au moins 10 demi-vies, soit en 2286.

Quels niveaux sont considérés comme sans danger ?

Concernant la contamination des denrées alimentaires par les radionucléides de césium, nous nous basons sur le critère MAC (Concentration Maximale Acceptable) ou RDU – la norme de référence en Biélorussie (rus. *Республиканские допустимые уровни, РДУ*), élaborée par l'Institut des sciences du sol et de l'agrochimie de l'élevage et l'Institut de recherche en radiologie du ministère des Situations d'urgence (la dernière édition a été publiée en 1999).

Les niveaux acceptables varient selon les aliments, car les calculs tiennent compte du régime alimentaire moyen des Biélorusses et de la proportion de chaque type d'aliment qui le compose.

#	Nom des produits	Bq/kg, Bq/l
1.	Eau à boire	10
2.	Lait et produits laitiers	100
3.	lait condensé et concentré	200
4.	Fromage blanc et produits caillés	50
S.	Fromages présurés et industriels	50
6.	Beurre laitier	100
7.	Viande et produits carnés, incluant :	
7.1	Bœuf, mouton et viandes fumées	500
7.2	Porc, volailles et leurs sous-produits	180
8.	Pommes de terre	80
9.	Pain et vienoiseries	40
10.	Farine, céréales, sucre	60
11.	Huiles végétales	40
12.	Gras animal et margarine	100
13.	Légumes et tubercules	100
14.	Fruits	40
15.	Baies du jardin	70
16.	Conerves de égéraux, fruits et baies	74
17.	Baies sauvages et leurs conserves	185
18.	Champignons frais	370
19.	Champignons secs	2500
20.	Aliments prêts pour bébés	37
21.	Autres aliments	370

Figure 6 — Extrait de la Concentration maximale admissible de césium-137 dans les denrées alimentaires et l'eau potable (MAC-99, ou RDU-99 - rus. РДУ)

Il y a quelques nuances à apporter, n'est-ce pas ?

Il est important de comprendre que le régime alimentaire réel d'une personne ou d'une famille peut différer considérablement du régime moyen et que, dans de nombreux cas, la consommation de produits ne dépassant même pas la limite de dose radiologique (RDU) peut entraîner une accumulation significative de radionucléides dans l'organisme.

Par exemple, le niveau acceptable d'activité du césium-137 dans le lait de vache est de 100 Bq/l (becquerels par litre, ce qui correspond à « 100 désintégrations radioactives par seconde dans un litre de lait »). Pour la viande de gibier, ce chiffre est de 500 Bq/kg, car on estime que les familles rurales consomment en moyenne plus de lait que de gibier.

Supposons toutefois que, dans la famille du chasseur, la viande soit consommée aussi fréquemment que le lait. Supposons également qu'un échantillon de viande présente une activité de 480 Bq/kg. Cet échantillon ne dépasse pas la limite de l'unité de dose résiduelle (UDR) de référence. Cependant, un lait d'activité similaire serait considéré comme impropre à la consommation et dépasserait de plusieurs fois la norme établie.

Sachant que le césium-137 a tendance à s'accumuler dans l'organisme, on comprend que la consommation régulière de ce type de viande peut entraîner une augmentation notable de l'exposition interne aux radiations.



Fig. 7 — Viande de sanglier

Souvent, les enfants de chasseurs dont l'activité est mesurée à l'aide d'un Spectromètre de rayonnement humain (WBC pour *Whole body counter*) présentent des résultats nettement supérieurs aux seuils de sécurité, et ce, année après année. Il existe une autre catégorie de personnes mesurées : des enfants dont les parents affirment qu'ils n'ont pas consommé de

produits contaminés, mais il s'avère finalement... qu'ils buvaient régulièrement du lait. Cependant ils sont de moins en moins nombreux, car les jeunes quittent les villages pour les villes, tandis que les personnes âgées n'ont ni les moyens ni la force d'élever une vache.

Quelle est la situation aujourd'hui dans les territoires « pollués » ?

L'Institut Belrad dispose d'un Laboratoire de surveillance de la radioactivité (LRM) dont la principale fonction est de mesurer la teneur en césium-137 dans les aliments. Le LRM comprend un *Laboratoire fixe* effectuant les mesures dans les locaux de l'Institut, et un *Laboratoire mobile* installé dans un minibus qui analyse les denrées alimentaires lors des visites régulières des techniciens de laboratoire dans les zones contaminées.

Cependant, la source d'information la plus importante et la plus impressionnante pour le LRM provient du réseau de « Centres locaux de contrôle de la radioactivité » (CLCR - en russe : CPRC) qu'il a mis en place. En 2025, 13 centres de ce type étaient opérationnels : 9 dans la région de Gomel, 2 dans la région de Brest, 1 dans la région de Moguilev et 1 dans la région de Minsk.

Depuis leur création, les stations publiques de surveillance de la radioactivité ainsi que les laboratoires fixes et mobiles de l'Institut ont réalisé plus de 370 000 mesures de césium-137 dans des échantillons alimentaires.



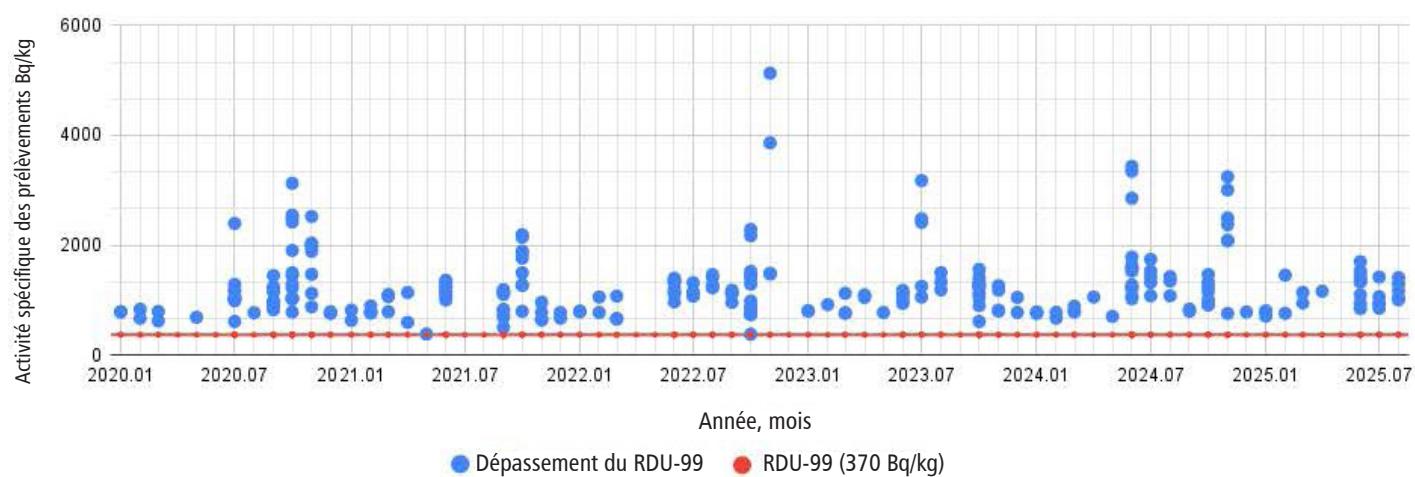
Figure 8 — Localisation des CLCR sur le territoire de la République du Bélarus

Les radiométristes des CLCR transmettent chaque mois à l’Institut des rapports sur les résultats des analyses d’échantillons alimentaires prélevés auprès des habitants. Cela permet de suivre l’évolution de chaque produit alimentaire sur toute la période des mesures. Les produits les plus problématiques ont été choisis comme exemples : champignons, baies sauvages, gibier et lait.

Cette évolution est clairement illustrée par un diagramme (ci-dessous, à titre d’illustration, un extrait de diagramme montrant les résultats des mesures effectuées sur des échantillons de champignons dans le village de Malinovka, district de Loevsky, région de Gomel, de janvier 2020 à août 2025, dépassant le seuil RDU-99, fig. 9).

Malinovka

Champignons (frais, secs, en conserve, surgelés)



La figure 9 est un diagramme illustrant les résultats de dépassement des seuils de contamination des échantillons de champignons prélevés dans le village de Malinovka de janvier 2020 à août 2025.

Les résultats globaux de tous les CLCR sont compilés dans un rapport final annuel. Ce rapport indique le nombre de mesures effectuées, les noms des échantillons ayant dépassé les seuils et leur activité, le pourcentage d’échantillons ayant dépassé les seuils par rapport au nombre total d’échantillons mesurés pour chaque zone d’intervention des CLCR, ainsi que les activités des laboratoires fixes et mobiles.

Pour plus de clarté, nous avons présenté certains paramètres importants sous forme de tableaux : le premier (Fig. 10) illustre la valeur médiane de l’activité spécifique des produits dans tous les CLCR pour l’ensemble de leur période de fonctionnement jusqu’en 2020 ; le deuxième (Fig. 11) présente les tendances à la hausse ou à la baisse de l’activité spécifique pour chaque produit et chaque localité pour l’ensemble de leur période de fonctionnement jusqu’en 2020 ; le troisième (Fig. 12) présente la valeur médiane de l’activité spécifique des produits dans tous les CLCR pour la période de

fonctionnement de janvier 2020 à août 2025 inclus ; le quatrième (Fig. 13) présente les tendances à la hausse ou à la baisse de l'activité spécifique pour chaque produit et chaque localité de janvier 2020 à août 2025 inclus.

VALEURS MÉDIANES	CHAMPIGNONS FRAIS	CHAMPIGNONS SECS	BAIES FRAICHES	BAIES SÈCHES	VIANDÉ SAUVAGE	LAIT	Total des produits alimentaires dépassant les limites MAC
CHECHERSK ✗	✗	✓				✓	2
SIVITSA ✗	✗	✓		✗	✓	✓	3
SVENSK ✓	✓	✓		✓	✓	✓	0
ROSA LUXEMBURG ✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	5
POLESYE ✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	5
OTVERZHICHY ✗	✗	✓		✗	✓	✓	3
MALINOVKA ✗	✗	✗		✗	✗	✓	5
LELCHITSY	✗	✓				✓	1
KRASNOE ✗	✗	✗			✓	✓	3
DYATLOVICHY ✗	✗	✗		✗		✓	4
DZERZHINSK ✗	✗	✗		✗		✓	4
VALAVSK ✗	✗	✗		✗	✗	✓	5
Total d'installations avec dépassement des limites	10	11	7	8	4	0	
✗ - activité spécifique médiane des échantillons pour toute la période de mesure dépassant les limites de seuil MAC							
✓ - activité spécifique médiane des échantillons pour toute la période de mesure ne dépassant pas les limites de seuil MAC							

La figure 10 est un tableau illustrant la valeur médiane de l'activité spécifique des produits dans tous les CLCR pour l'ensemble de leur période d'activité jusqu'en 2020.

TENDANCES	CHAMPIGNONS FRAIS	CHAMPIGNONS SECS	BAIES FRAICHES	BAIES SÈCHES	VIANDÉ SAUVAGE	LAIT	Nombre des produits alimentaires avec tendance en hausse
CHECHERSK ✗	✓	✓					1
SIVITSA ✓	✓	✓		✓	✗	✓	1
SVENSK ✗	✗	✓		✓	✗	✓	3
ROSA LUXEMBURG ✓	✓	✓		✗	✗	✗	3
POLESYE ✗	✓	✓		✓		✓	1
OTVERZHICHY ✗	✗	✓		✗		✓	3
MALINOVKA ✓	✓	✓		✓	✓	✓	0
LELCHITSY	✓	✓				✓	0
KRASNOE ✓	✓	✓			✗	✓	1
DYATLOVICHY ✓	✓	✓	✗			✓	1
DZERZHINSK ✗	✓	✓		✓		✓	1
VALAVSK ✗	✗		✓	✗			3
Nombre d'installations avec tendance en hausse	6	3	1	3	4	1	
✗ - Il y a une tendance générale croissante des activités spécifiques du césium-137 dans les échantillons							
✓ - Il y a une tendance générale décroissante des activités spécifiques du césium-137 dans les échantillons							

La figure 11 est un tableau illustrant les tendances à la hausse ou à la baisse de l'activité spécifique pour chaque produit et chaque localité pour l'ensemble de leur période d'activité jusqu'en 2020.

Mediane	CLCR	CHAMPIGNONS FRAIS	CHAMPIGNONS SECS	BAIES FRAICHES	BAIES SÈCHES	VIANDE SAUVAGE	LAIT
VALAVSK		✗	✗	✗	✗	✗	✓
DZERZHINSK		✓	✗	✓	✗	✓	✓
DYATLOVICHI		✓	✓	✓	✓	✓	✓
ZELENOCHI		✓	-	✓	-	-	-
KOZELUZYHE		✓	✓	-	-	-	✓
KRASNOYE		✓	✓	✗	-	✓	✓
MALINOVKA		✗	✗	✗	-	✓	✓
OTVERZHICHI		✓	✗	✓	✗	-	✓
POLESYE		✗	✗	✗	✗	✓	✓
ROSA LUXEMBURG		✗	✗	✗	-	✗	✓
SVENSK		✓	✓	✓	-	-	✓
SIVITSA		✓	✗	✗	-	✓	✓
CHECHERSK		✗	✗	✓	-	-	✓

✗ - activité spécifique médiane des échantillons pour la période de janvier 2020 à août 2025 dépassant les limites de seuil MAC
 ✓ - activité spécifique médiane des échantillons pour la période de janvier 2020 à août 2025 ne dépassant pas les limites de seuil MAC

La figure 12 est un tableau illustrant la valeur médiane de l'activité spécifique des produits dans tous les CLCR pour la période d'activité allant de janvier 2020 à août 2025 inclus.

Tendances	CLCR	CHAMPIGNONS FRAIS	CHAMPIGNONS SECS	BAIES FRAICHES	BAIES SÈCHES	VIANDE SAUVAGE	LAIT
VALAVSK		✗	✓	✓	✓	✓	✓
DZERZHINSK		✓	✗	✓	✗	✗	✓
DYATLOVICHI		✓	✓	✗	✓	✗	✓
ZELENOCHI		-	-	-	-	-	-
KOZELUZYHE		✓	✗	-	-	-	-
KRASNOYE		✗	✓	✓	-	✓	✓
MALINOVKA		✗	✗	✓	✓	✓	✓
OTVERZHICHI		✓	✓	✗	-	✓	✓
POLESYE		✗	✓	✓	-	✓	✓
ROSA LUXEMBURG		✓	✓	✓	-	✓	✓
SVENSK		✗	✓	✓	-	✓	✓
SIVITSA		✓	✓	✓	-	✓	✓
CHECHERSK		✗	-	✓	-	-	✓

✗ - Il y a une tendance générale croissante des activités spécifiques du césium-137 dans les échantillons
 ✓ - Il y a une tendance générale stagnante ou décroissante des activités spécifiques du césium-137 dans les échantillons

La figure 13 est un tableau illustrant les tendances à la hausse ou à la baisse de l'activité spécifique pour chaque produit et chaque localité pour la période d'activité allant de janvier 2020 à août 2025 inclus.

Pour rappel : en statistique, *la médiane* est la valeur qui sépare la moitié supérieure de la moitié inférieure d'un échantillon de données. Comparée à la moyenne, la médiane est moins sensible aux valeurs "aberrantes" (c'est-à-dire les valeurs atypiques, trop élevées ou trop faibles). Elle reflète donc plus fidèlement la tendance générale des valeurs de l'échantillon étudié.

L'ensemble des données recueillies par les CLCR au cours des cinq dernières années nous permet de tirer les conclusions suivantes :

- Les CLCR ont établi la liste la plus exhaustive de produits dont l'activité spécifique médiane, sur l'ensemble de la période de mesure, a dépassé le seuil RDU-99 dans les villages de **Valavsk**, **Rosa Luxemburg** (district d'Ielsky), **Polesye** (district de Chechersky) et **Malinovka** (district de Lövski), tous situés dans la région de Gomel (région la plus touchée par Tchernobyl).
- Les localités suivantes présentent les valeurs les plus faibles pour cet indicateur : **Svensk** (district de Slavgorod, région de Moguilev), **Dyatlovichi** (district de Luninetsky, région de Brest), **Kozeluzhye** (district de Khoyniki, région de Gomel), **Zelenochi** (district de Kalinkovich, région de Gomel) et **Krasnoye** (district de Bragin, région de Gomel).
- Les produits dont l'activité spécifique médiane a dépassé la valeur de référence (RDU-99) sur l'ensemble de la période de mesure étaient les **champignons séchés**, les **baies fraîches et séchées**.
- Comme prévu, les mois de pointe correspondent à l'automne, saison la plus riche en produits forestiers.
- Au fil du temps, les **champignons frais et séchés** se sont avérés être parmi les produits les plus « susceptibles » d'augmenter leur activité spécifique médiane annuelle.



Fig. 14 — Produits forestiers

En moyenne, on observe une tendance à la baisse de l'activité spécifique du césium-137 dans les produits alimentaires, ce qui explique probablement la diminution de l'intensité du rayonnement radioactif, conformément à la loi de radioactivité mentionnée précédemment. Cependant, dans certaines zones habitées, comme le village de Dzerjinsk (district de Lelchitsy, région de Gomel), le village de Malinovka (district de Loevsky, région de Gomel) et le village de Dyatlovichi (district de Luninetsky, région de Brest), aucune tendance à la baisse de l'activité spécifique médiane n'est constatée d'une année sur l'autre. Ceci pourrait être dû à des variations de la productivité forestière d'une année sur l'autre, ou à un relâchement de la vigilance du public et à l'expansion des zones de cueillette de champignons et de baies dans la région, zones qui ne sont pas entièrement sûres pour cette activité.

Les échantillons présentant des valeurs record d'activité spécifique sont présentés dans le tableau ci-dessous (Fig. 15).

CLCR	CHAMPIGNONS FRAIS	CHAMPIGNONS SECS	BAIES FRAICHES	BAIES SÈCHES	VIANDE SAUVAGE	LAIT
VALAVSK	28888 10.2017	11327 12.2017	7387 08.2022	11217 02.2020	8636 04.2021	229 03.2014
DZERZHINSK	518 10.2019	8044 03.2022	472 03.2023	7704 04.2023	-	107 12.2015
DYATLOVICHI	10230 10.2014	325703 10.2010	1090 04.2017	4229 04.2014	133 12.2021	128 07.2010
ZELENOCHI	82 07.2025	-	122 01.2025	-	-	-
KOZELUZHYE	810 12.2022	1460 11.2022	-	-	-	23 12.2023
KRASNOYE	20108 11.2019	17376 10.2013	797 03.2016	-	19916 04.2014	95 06.2014
MALINOVKA	9820 09.2017	11491 09.2017	1712 08.2023	-	3910 10.2014	157 05.2016
OTVERZHICHI	848 09.2021	260000 12.2019	331 11.2017	15567 03.2016	60 03.2018	54 05.2014
POLESYE	23365 07.2018	29866 11.2016	1983 07.2016	4859 11.2011	13167 02.2019	87 07.2011
ROSA LUXEMBURG	12800 10.2014	17600 02.2016	5637 07.2014	5366 01.2017	24899 07.2014	104 08.2017
SVENSK	949 09.2021	5149 11.2019	864 08.2023	293 01.2019	2266 01.2018	213 01.2020
SIVITSA	11202 08.2019	15842 09.2014	1204 07.2013	914 02.2014	12933 02.2016	3438 05.2011
CHECHERSK	3717 11.2022	45760 10.2020	676 12.2020	-	-	-

Fig. 15 — Tableau des teneurs maximum en Cs-137 parmi les échantillons mesurés, Bq/kg

En résumé :

- Les années ayant enregistré le plus grand nombre de produits « record » au Centre central de transformation et de reproduction de la région de Gomel ont été 2014, 2016 et 2017 ; 2014 dans les régions de Brest et de Minsk ; et 2019 dans la région de Moguilev.

- Parmi les échantillons de champignons frais, l'activité spécifique la plus élevée a été enregistrée à **Valavsk**, **Polesye** et **Krasnoye** ; pour les champignons séchés, à **Dyatlovitch** et **Otverzhichi** (notez les quantités colossales !) ; pour les baies fraîches, à **Valavsk** et **Rosa Luxemburg** ; pour les baies séchées, à nouveau à **Valavsk** et **Otverzhichi** ; pour le gibier, à **Rosa Luxemburg** et **Krasnoye** ; et pour le lait, à **Sivitsa**.
- Ainsi, le plus grand nombre d'enregistrements se trouve dans le CLCR du district de Yelsky, dans la région de Gomel, et celui du district de Stolin, dans la région de Brest, non loin derrière.

Voici un autre tableau, présentant cette fois des enregistrements différents : il montre les années dites « de pointe » avec la valeur médiane maximale de l'activité spécifique pour l'ensemble de l'année de mesures (Fig. 16) :

CLCR	CHAMPIGNONS FRAIS	CHAMPIGNONS SECS	BAIES FRAICHES	BAIES SÈCHES	VIANDE SAUVAGE	LAIT
VALAVSK	3491 2016	4105 2021	1451 2015	2974 2020	8636 2021	72 2011
DZERZHINSK	398 2019	4413 2015	217 2016	2483 2024	-	93 2016
DYATLOVICHI	1002 2010	7012 2011	599 2017	4002 2014	88 2021	66 2010
ZELENOCHI	82 2025	-	122 2025	-	-	-
KOZELUZHYE	151 2022	1460 2022	-	-	-	21 2023
KRASNOYE	1313 2017	12439 2013	318 2014	-	416 2015	30 2020
MALINOVKA	1323 2024	7067 2024	660 2022	-	1386 2014	7 2014
OTVERZHICHI	447 2021	27591 2020	131 2023	6286 2020	35 2018	44 2014
POLESYE	1337 2013	18726 2019	463 2013	4859 2011	2005 2012	49 2011
ROSA LUXEMBURG	3700 2011	9733 2014	2822 2014	4160 2015	2930 2014	55 2017
SVENSK	237 2018	2274 2018	183 2017	223 2018	1004 2023	31 2022
SIVITSA	600 2014	3140 2022	388 2013	914 2014	577 2011	32 2011
CHECHERSK	2638 2022	45760 2020	676 2020	-	-	11 2025

Fig. 16 - Tableau des valeurs médianes maximales annuelles de l'activité spécifique du césium-137, Bq/kg

On peut donc en déduire ce qui suit :

- Selon les CLCR de la région de Gomel, les années les plus « remarquables » ont été 2014, 2015, 2016 et 2020 ; à Mogilev, 2018 ; à Minsk, 2011 à 2014 ; à Brest, 2010, 2014, 2017 et 2019.

- Le nombre maximal de records, cette fois-ci pour la valeur médiane annuelle, a de nouveau été enregistré dans le CLCR du district d'Yelsky (**Valavsk et Rosa Luxemburg**), du district de Chechersky (**Polesye**) dans la région de Gomel et du district de Stolin dans la région de Brest (**Otverzhichi**).

Ainsi, des records et des dépassements du seuil RDU-99 ont été observés non seulement lors de la création des CLCR, mais aussi récemment, jusqu'à mi-2025. Cela semble être la réponse la plus claire à la question de savoir si nous pouvons "nous relâcher" et nous considérer comme en sécurité simplement parce que la première demi-vie du césium-137 est écoulée.

Parallèlement, la tendance générale à la baisse est tout à fait attendue et naturelle (rappelons une fois de plus la loi de la décroissance radioactive) et est confirmée par les données obtenues par les radiométristes.

Il convient également de noter que certaines zones habitées figurent dans notre liste de références dans plusieurs catégories, ce qui exige, à tout le moins, une surveillance accrue et un suivi radiométrique continu. Nous reviendrons plus en détail ultérieurement sur les mesures à prendre.

Depuis janvier 2020, des statistiques sont compilées sur le pourcentage d'échantillons excédentaires fournis dans les rapports mensuels du Centre centralisé de contrôle et de surveillance (CCCS). Ces résultats servent à l'élaboration du rapport annuel du Centre de référence pour la pollution atmosphérique (CRPA). Par souci de clarté, ces données sont présentées sous forme de diagrammes circulaires (figure 17).

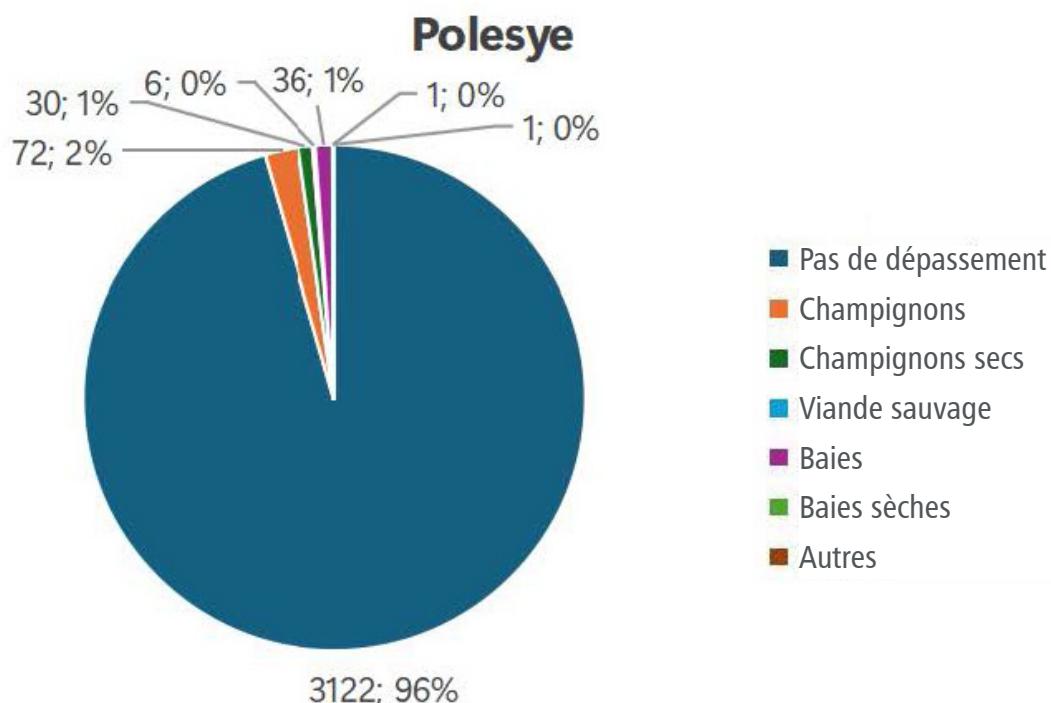
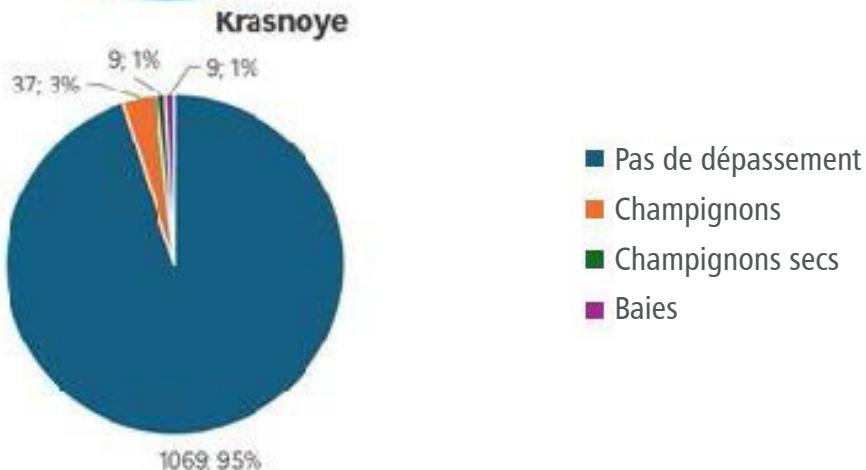
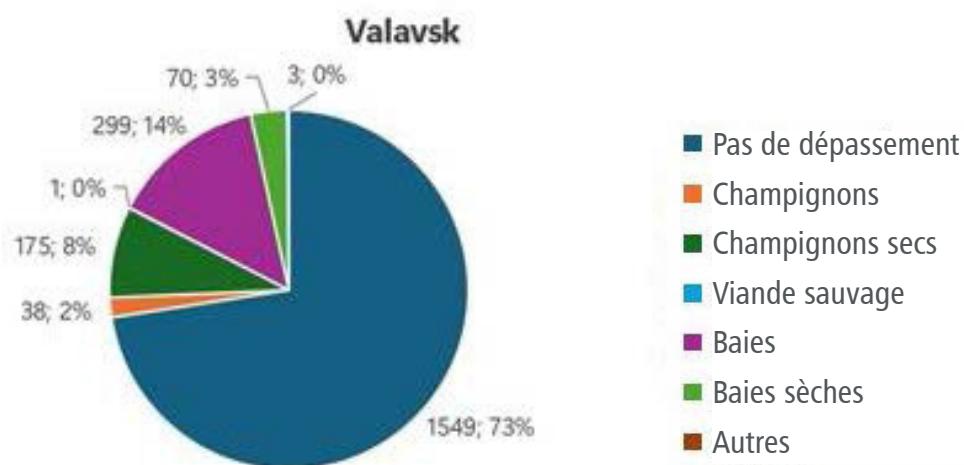
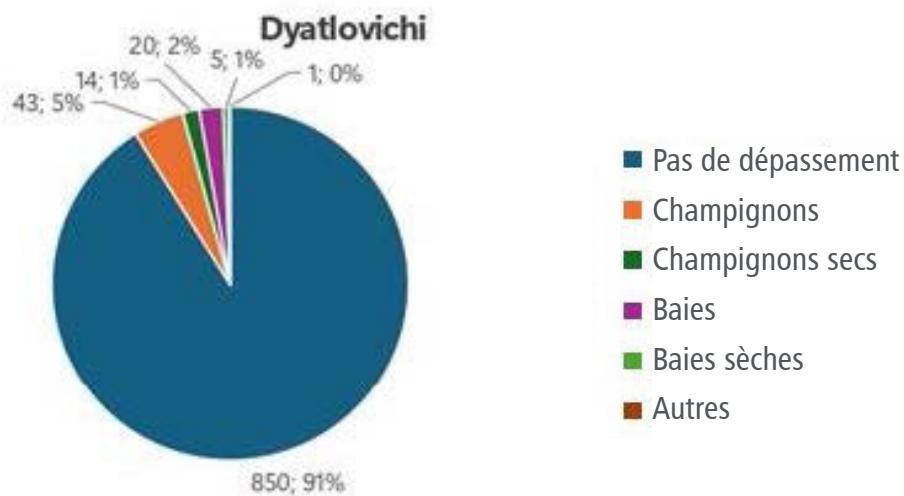
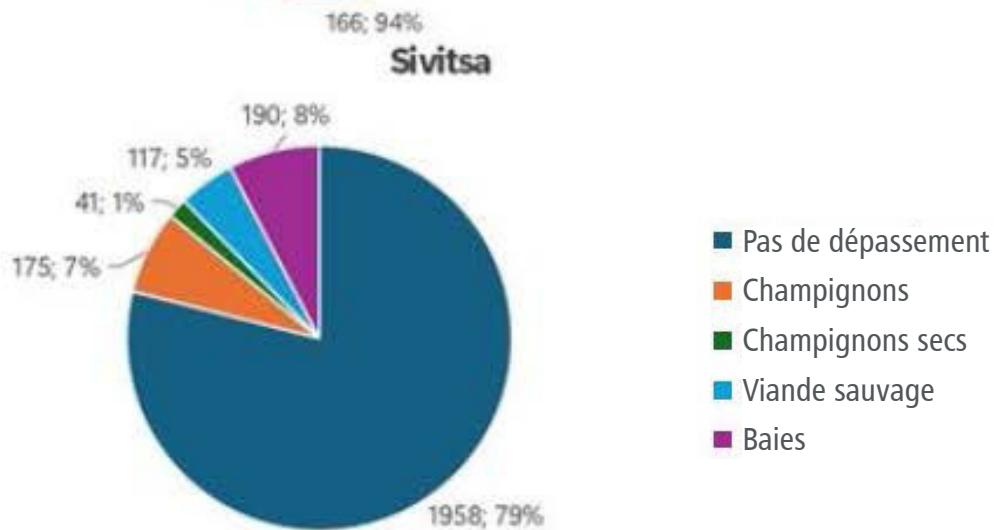
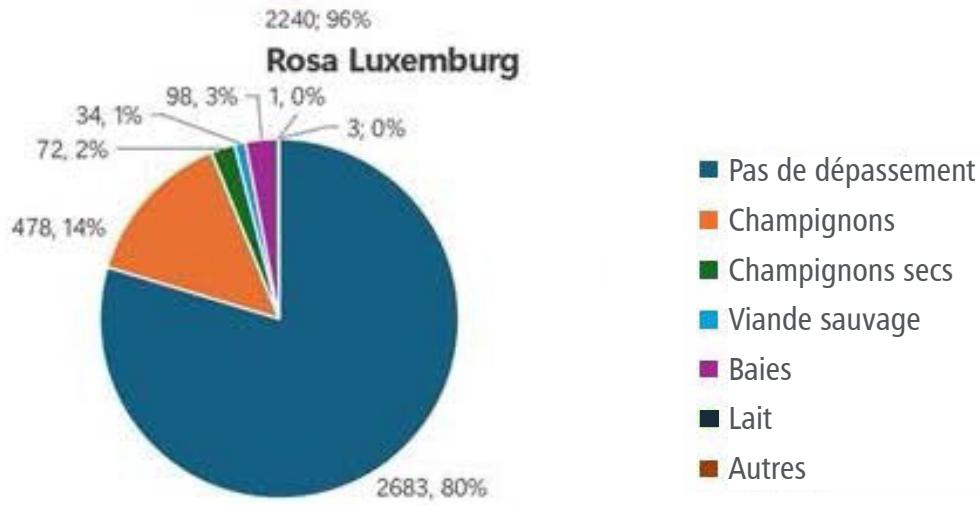
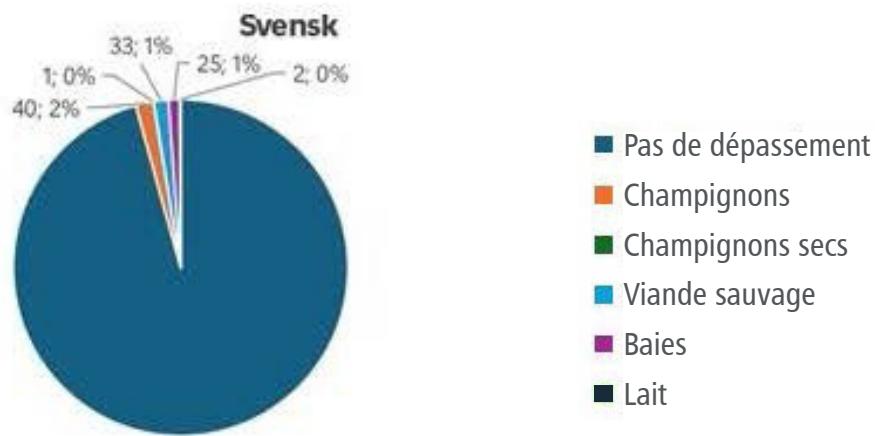


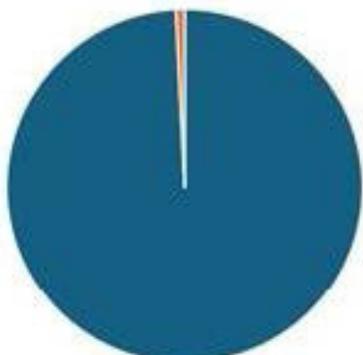
Fig. 17 (et images suivantes) — Statistiques des échantillons mesurés de janvier 2020 à août 2025.





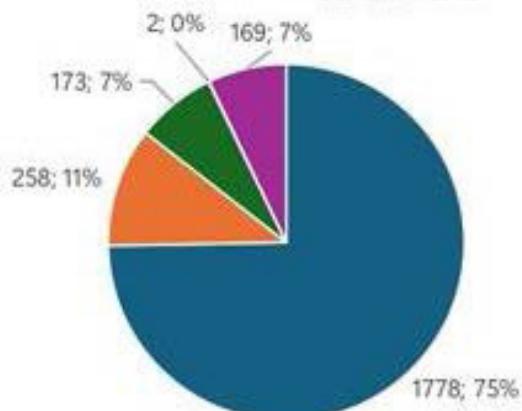
Kozeluzhye

1; 1%



■ Pas de dépassement

■ Champignons

Malinovka

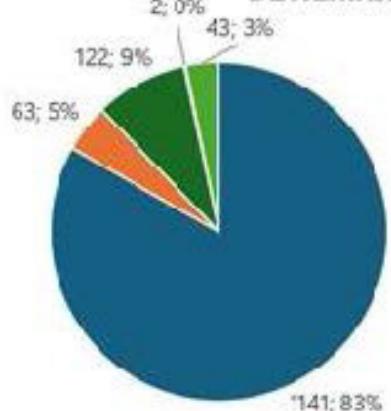
■ Pas de dépassement

■ Champignons

■ Champignons secs

■ Viande sauvage

■ Baies

Dzerzhinsk

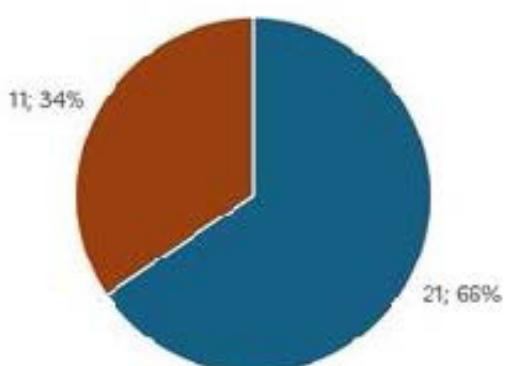
■ Pas de dépassement

■ Champignons

■ Champignons secs

■ Baies

■ Baies sèches

Zelenochi

■ Pas de dépassement

■ Autres

CLCR	Nombre d'échantillons	Champignons quantité %	Champignons secs quantité %	Viande quantité %	Baies quantité %	Baies sèches qté %	Lait qté %	Autres qté %
Valavsk	2135	38; 1,78%	175; 8,20%	1; 0,05%	299; 14,00%	70; 3,28%	-	3; 0,14%
Dzerzhinsk	1371	63; 4,60%	122; 8,90%	-	2; 0,15%	43; 3,14%	-	-
Dyatlovichi	933	43; 4,61%	14; 1,50%	-	20; 2,14%	5; 0,54%	-	1; 0,11%
Zelenochi	32	-	-	-	-	-	-	11; 34,38%
Kozeluzhye	129	1; 0,78%	-	-	-	-	-	-
Krasnoye	1124	37; 3,29%	9; 0,80%	-	9; 0,80%	-	-	-
Malinovka	2380	258; 10,84%	173; 7,27%	2; 0,08%	169; 7,10%	-	-	-
Otverzhichi	233	1; 0,43%	42; 18,03%	-	4; 1,72%	5; 2,15%	-	17; 7,30%
Polesye	3268	72; 2,2%	30; 0,92%	6; 0,18%	36; 1,10%	1; 0,03%	-	1; 0,03%
Rosa Luxemburg	3369	478; 14,19%	72; 2,14%	34; 1,01%	98; 2,91%	-	1; 0,03 %	3; 0,09%
Sivitsa	2481	175; 7,05%	41; 1,65%	117; 4,72%	190; 7,66%	-	-	-
Svensk	2341	40; 1,71%	1; 0,04%	33; 1,41%	25; 1,07%	-	2; 0,09 %	-
Chechersk	177	7; 3,95%	1; 0,56%	-	1; 0,56%	-	-	2; 1,13%

Qu'en est-il des autres sources ?

Les informations concernant ces mesures sont plutôt rares sur Internet. Le plus souvent, elles se limitent à un bref historique et à un rappel des dangers du césium 137. Ces informations sont certes utiles, mais il est tout aussi important de savoir précisément où se cachent ces dangers.

Avec une certaine persévérance, on trouve des informations utiles. Par exemple, un document de 2015 relayé par le « Centre républicain d'hygiène, d'épidémiologie et de santé publique » de l'Université d'État de Russie (<<https://www.rspch.by/ru/node/137>> – traduit en français ici : <https://enfants-tchernobyl-belarus.org/etb/documentaires/L-ombre-de-Tchernobyl_comment-obtenir.html>), nous apprend que, malgré une surveillance continue des radiations, il est pratiquement impossible de trouver des produits agricoles dépassant les seuils de radioactivité (RDU) autorisés dans notre pays.

Mais par ailleurs, les auteurs notent ce qui suit : « *En 2014, les produits présentant les taux de dépassement des seuils autorisés... étaient la viande de gibier (dépassement des seuils autorisés dans 24,3 % des échantillons), les champignons (dépassement dans 22,9 % des cas) et les baies sauvages (dépassement dans 15,5 % des cas).* »

Également : « La principale source d'exposition dans les zones touchées est constituée par les produits forestiers (champignons, baies, viande de gibier). Ces derniers représentent jusqu'à 40 % de l'apport en radionucléides dans l'organisme humain ces dernières années, les 60 % restants étant composés d'autres aliments du régime alimentaire courant. »

Ces informations concordent avec les résultats obtenus par l'Institut Belrad.



Fig.18 — Champignons et baies forestières

Nous avons également trouvé une étude très intéressante, réalisée par le maître de conférences du Département de sécurité au travail et les doctorants en sciences agronomiques et techniques de l'Université technologique du Bélarus (BSTU), sur le degré de contamination radioactive des produits alimentaires issus de la forêt et de sa contribution à la dose de rayonnement reçue par la population (<<https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-stepeni-radiaktivnogo-zagryazneniya-pischevoy-produktsii-lesa-i-ee-vklad-v-dozovuyu-nagruzku-naseleniya>>, N. O. Azovskaya, V. V. Peretrukhin, G. A. Chernushevich, 2018) – traduit en français ici : <<https://enfants-tchernobyl-beloruss.org/etb/documentaires/Degre-contamination-radioactive-produits-foret.pdf>>.

В статье рассмотрены основные факторы влияния на формирование доз внутреннего облучения населения, приводимые на загрязненных радионуклидами территориях. Прорештные задания по минимизации и предупреждению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС и в Беларуси показывают, что в 2016 г. в результате радиационного загрязнения лесных массивов из-за отсутствия систематического ухода. Следует отметить, что, согласно прогнозам, к 2046 г. приток радионуклидов в леса Беларусь может увеличиться в 2 раза. Поэтому проблема радиационного загрязнения лесов не только является продуктом личного потребления, но и распространяется через торговую сеть, для них установлены ограничения на содержание радиоактивного изотопа ^{137}Cs в грибах не должны превышать 370 Беккерель в годовом и 2500 Беккерель в суммарном сроках хранения.

Радиационный контроль грибов выполнялся дозиметром МКС-АТГ130, МКС-АТГ111М, гамма-спектрометром РГТ-АТГ120A.

В ходе проведенных исследований с сентября по декабрь 2017 г., степень радиоактивности сухих грибов (70 образцов) из 43 районов Беларусь была определена, что превышение

№ образца	Район	$A_{\text{Cs}-137}$, Бек/г	Примечание	№ образца	Район	$A_{\text{Cs}-137}$, Бек/г	Примечание
Гомельская область							
11	Светлогорский	5964	в 1,2 раза	30	Смолевичский	394	
17	Мозирский	6937	в 2,8 раза	40	Лунинецкий	85	
21	Чечерский	5909	в 4 раза	59	Слуцкий	984	
25	Ляховичский	5999	в 4 раза	67	Слонимский	30238	в 3,7 раза
29	Калинковичский	998		53	Сиречевский	998	
42	Нетраевский	5705	в 2,3 раза	51	Минский	2033	
50	Речицкий	7116	в 2,8 раза	24	Несвижский	3994	в 1,6 раза
67	Горыничский	5652	в 6,5 раза	9	Логойский	86	
66	Гродненский	1410		62	Лидский	1988	
54	Гомельский	4561	в 1,8 раза	63	Слонимский	715	

Проба грибов исследована на гамма-радиометре РГТ-АТГ120A (рис. 2).



Более всего радиоактивности цезия-137 содержится в грибах из Столбовского и Несвижского лесов Минской области, Несвижского и Гомельского, Брестского и Борисовского лесов Минской области, а также в грибах из лесов Борисовского района в Минской области.

Опять же следует учесть, что в лесах Беларусь радиоактивность цезия-137 может быть выше, чем в лесах Беларусь, но могут меняться как загрязненность земли и многое факторы сбора грибов, вид гриба, состав насаждений и т.д.

Погребение грибов может быть оценено уровнем оксидации в грибах от вторичного облучения. Однако, в соответствии с нормативным документом, обусловленного поступлением радионуклидов с грибами, назначают ряд параметров: радиоактивность грибов, радиоактивность грибов, масса грибов, масса грибов, масса потребляемых продуктов, дозовая конформность, связывающие поступление радионуклидов в организм человека и эффективную дозу внутреннего облучения.

При хроническом потреблении загрязненных грибов доза внутреннего облучения рассчитывается по формуле

$$H = k \cdot Q,$$

где k – дозовый коэффициент, равный единице, если поступление цезия-137 в организме человека, равное 1,3 г/год, включает в полное потребление продукта питания, кг/год; A – потребительская активность, загрязнение почвы, долю загрязнения почвы, долю загрязнения почвы в грибах, привет равным 0,01 мк/г.

При хроническом потреблении загрязненных грибов доза внутреннего облучения может составить 0,43–2,3 мЗв (для примера Светлогорского района – 1000 мЗв, Борисовского района – 100 мЗв, в соответствии с ГН № 213 «Критерий оценки радиационного воздействия» (2013 г.) [21], индивиду

Результаты исследования загрязненности грибов радионуклидом цезий-137 по районам

№ образца	Район	$A_{\text{Cs}-137}$, Бек/г	Примечание	№ образца	Район	$A_{\text{Cs}-137}$, Бек/г	Примечание
Гродненская область							
6	Дзержинский	1492		1	Барановичский	102,3	
32	Шумилинский	400		49	Барановичский	1031	
38	Чечерский	1113		13	Барановичский	950	
36	Ляховичский	97		18	Барановичский	160	
39	Ляховичский	236		4	Ляховичский	1166	
55	Ивановский	8306	в 3,3 раза	22	Брестский	2100	
57	Новогрудский	7338	в 2,9 раза	26	Борисовский	1063	
52	Борисовский	595		30	Борисовский	1081	
71	Воложинский	590		37	Слуцкий	617	
Могилевская область							
3	Приполярский	689		3	Приполярский	941,4	
66	Бобруйский	689		56	Гомельский	254	
20	Птичий	824		63	Логойский	935	
68	Птичий	7495	в 3 раза	64	Логойский	7524	в 3,1 раза
70	Круглянский	67					
Витебская область							
7	Дзержинский	85		2	Борисовский	216,3	
10	Дзержинский	245		8	Борисовский	1110	
23	Россошанский	408		12	Борисовский	2549	
44	Гомельский	361		15	Воложинский	300	
				19	Логойский	339	

Труды БГТУ. Серия 1. № 2. 2018

Les auteurs affirment ici (sans surprise) que les champignons sont et resteront la principale source d'exposition aux radiations pour les décennies à venir. Les baies sauvages arrivent en deuxième position.

Pour parvenir à cette conclusion, les auteurs ont mené une étude géographique très approfondie. Le tableau des dépassements de seuil dans les échantillons de champignons prélevés dans 56 districts de la République est particulièrement intéressant ; nous le présentons intégralement (Fig. 20) :

nbre de mesures	District	A_m Cs-137, Bq/kg	Dépassement des limites	nbre de mesures	District	A_m Cs-137, Bq/kg	Dépassement des limites	
Grodno region								
6	Diatlovsky	1492		1	Baranovichsky	102,3		
32	Shchuchinsky	400		49	Baranovichsky	1031		
38	Shchuchinsky	113		13	Baranovichsky	900		
36	Ostrovetcky	97		18	Liahovichsky	160		
39	Leedsky	236		4	Liahovichsky	1166		
55	Ivievsky	8306	3.3 fois	22	Brestsky	2100		
57	Novogrudsky	7338	2.9 fois	26	Kobrinsky	1063		
52	Novogrudsky	595		35	Ivanovsky	381		
71	Volkovyssky	500		37	Stolinsky	617		
Mogilev region								
66	Bobruisky	689		56	Gantcevichsky	254		
20	Shclovsky	674		58	Maloritsky	935		
68	Shclovsky	7495	3 fois	64	Luninetcky	7824	3.1 fois	
70	Krichevsky	67		Minsk region				
Vitebsk region								
7	Dokshitcky	83		2	Borisovsky	216,3		
10	Dokshitcky	245		8	Borisovsky	1110		
23	Rossomsky	408		12	Molodechensky	2249		
44	Tolochinsky	361		15	Volozhinsky	300		
Gomel region								
11	Svetlogorsky	2964	1.2 fois	30	Smolevichsky	394		
17	Mozyrsky	6937	2.8 fois	40	Puhovichsky	85		
21	Chechersky	298		59	Stolbtcovsky	984		
25	Zhitkovichsky	9995	4 fois	67	Stolbtcovsky	9238	3.7 fois	
29	Kalinkovichsky	998		53	Starodorozhsky	998		
42	Petrikovichsky	5705	2.3 fois	51	Minsky	2033		
50	Rechitcky	7116	2.8 fois	24	Nesvizhsky	3994	1.6 fois	
47	Vetkovsky	16282	6.5 fois	60	Uzdensky	26		
46	Gomelsky	1410		62	Derzhinsky	1968		
54	Gomelsky	4561	1.8 fois	63	Slutcky	715		

Fig. 20 — Tableau des dépassements de seuil de RDU-99 dans les échantillons de champignons des régions du Bélarus.

Voici, par exemple, un diagramme provenant d'une entreprise forestière du district de Lelchitsy, illustrant les niveaux de contamination de la sève de bouleau par des radionucléides de césium, avec une augmentation notable du niveau maximal en 2019 (Fig. 21) :

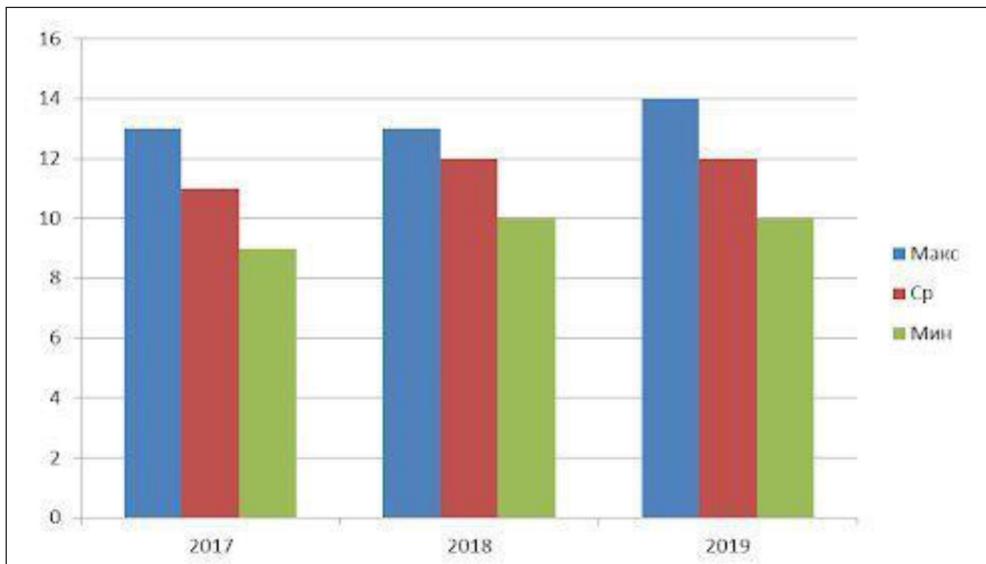


Fig. 21 — Diagramme des niveaux de contamination par les radionucléides de césum-137 dans la sève de bouleau de l'entreprise forestière Miloshevichi pour la période 2017-2019

De nombreuses entreprises forestières (mais pas toutes) mettent régulièrement à jour sur Internet les informations relatives aux résultats des analyses effectuées sur les aliments forestiers.

Comment se protéger des radiations ?

La manière la plus complète et accessible d'acquérir des connaissances dans ce domaine sans avoir de radiométriste à proximité est de lire le livre « *Comment se protéger et protéger son enfant des radiations : un guide pour les parents* » de V. I. Babenko, employé de l'Institut (Fig. 22 ; publié en 2003 et republié en 2007 ; également traduit en allemand, en français et en japonais).



Fig. 22 — Livre « *Comment se protéger et protéger son enfant des radiations : un guide pour les parents* », V. I. Babenko - version japonaise, russe et française (le livre en français est disponible dans la boutique d'Enfants de Tchernobyl Belarus : <<https://www.payasso.fr/enfants-de-tchernobyl-belarus/boutique>>).

Nous allons aborder brièvement quelques points essentiels. Que pouvons-nous faire pour nous protéger, nous et nos familles, de l'exposition au césium nocif ?

- **Contrôle radiométrique.** Tout produit forestier, ainsi que le lait produit à la maison, doit être testé à l'aide d'un radiomètre avant consommation.
- **Exclusion de l'alimentation.** Il n'est pas toujours possible de trouver un radiométricien équipé d'un radiomètre à proximité. Dans ce cas, il est préférable d'éviter les aliments potentiellement dangereux mentionnés précédemment. De plus, il est absolument nécessaire d'éliminer de l'alimentation tout aliment dont le niveau de radioactivité dépasse la dose journalière admissible (DJA).
- **Préparation spécifique des aliments.** Même les aliments contaminés par du césium radioactif peuvent être nettoyés jusqu'à un certain point. Parfois, la situation financière des populations rurales ne leur permet tout simplement pas de modifier leur alimentation et d'en exclure les produits dangereux. Dans ce cas, il est fortement recommandé de préparer les aliments selon une méthode spécifique.
 - **Les champignons** doivent être trempés dans une solution de vinaigre salé. L'échange ionique permet de les débarrasser des radionucléides, à condition de répéter l'opération plusieurs fois et de changer régulièrement l'eau de trempage.
 - **Les baies** sont très nettoyées lorsqu'elles sont trempées dans une solution d'acide citrique.
 - **Le lait** nécessite un traitement pour une purification partielle des radionucléides. Environ 90 % des radionucléides resteront ainsi dans le sérum.
 - **La viande** peut être trempée dans une solution saline ou bouillie. Ces opérations doivent être répétées plusieurs fois. Le salage de la viande combiné au trempage est également efficace.
- **Mesures des globules blancs.** Aucune des méthodes précédentes n'empêche totalement l'entrée de radionucléides dans l'organisme. La surveillance exhaustive est la méthode la plus efficace pour identifier les aliments contaminés. Elle comprend à la fois le contrôle radiométrique des aliments et la mesure de la population leucocytaire à l'aide d'un spectromètre corps entier.

Un fauteuil de spectromètre spécifique WBC est utilisé pour ces mesures. Son fonctionnement est similaire à celui d'un photomultiplicateur. Une particule gamma pénétrant dans un détecteur appelé scintillateur y provoque l'émission d'un flash photonique. Ces flashes sont ensuite enregistrés et comptés par l'appareil.



Fig. 23 — Mesure de la radioactivité humaine par un spectromètre WBC

Des valeurs inférieures à 20 Bq/kg sont considérées comme un niveau d'activité radionucléide sans danger pour le corps humain. Entre 20 et 50 Bq/kg chez l'enfant et entre 20 et 70 Bq/kg chez l'adulte, il s'agit d'un niveau de contrôle qui ne présente pas de danger majeur, mais qui nécessite néanmoins des mesures de réduction et de contrôle. Des valeurs supérieures peuvent être nocives.

- **Élimination du césium de l'organisme.** Si des niveaux dangereux sont détectés lors des mesures des globules blancs, il est également nécessaire d'éliminer les voies d'entrée du radionucléide dans l'organisme et de prendre des mesures pour éliminer les radionucléides déjà accumulés. Préparations à base de pectine et produits en contenant (pommes, abricots, guimauves et, de manière générale, tous les fruits et légumes de couleur jaune à rouge) sont les plus efficaces pour lutter contre ce problème. Les pommes sont particulièrement remarquables car elles n'accumulent jamais de césium radioactif.

À la fin de ces régimes, la surveillance des globules blancs (leucocytes) doit être renouvelée.

Aliments	Contenu de pectine en %	Aliments	Contenu de pectine en %
Betterave à sucre	18-30	Mûre	4,2-12,6
Carotte	6,4-20	Canneberge	6,6-11
Pastèque	6,4-23,6	Groseille	4,2-12,6
Courge	2,6-17	Agrume	9-14
Pomme	6,1-19,9	Kaki	9-12
Sorbier	9,3-10,6	Figue	5,5-15,8
Coing	5,3-9,6	Poire	3,3-8
Groseille maquereau	5,5-7,9	Raisin	4,2-6,6

Fig. 24 — Teneur en pectine de certains aliments

Où effectuer les mesures WBC ?

L’Institut Belrad exploite un Laboratoire de Spectrométrie de rayonnement humain (WBC) depuis 1997. Ce laboratoire se concentre sur les enfants, la population la plus vulnérable, et réalise donc le plus souvent ses mesures dans les écoles et les crèches.

Des spécialistes WBC visitent de nombreuses écoles chaque année, voire plusieurs fois par an, afin de suivre l’évolution des résultats de mesure. L’analyse statistique de ces résultats est ensuite publiée dans l’Atlas radioécologique « Humains et radiations ». Au cours de ses activités, le laboratoire WBC a réalisé plus de 628 000 mesures dans plus de 350 localités de la région de Tchernobyl, au Bélarus.

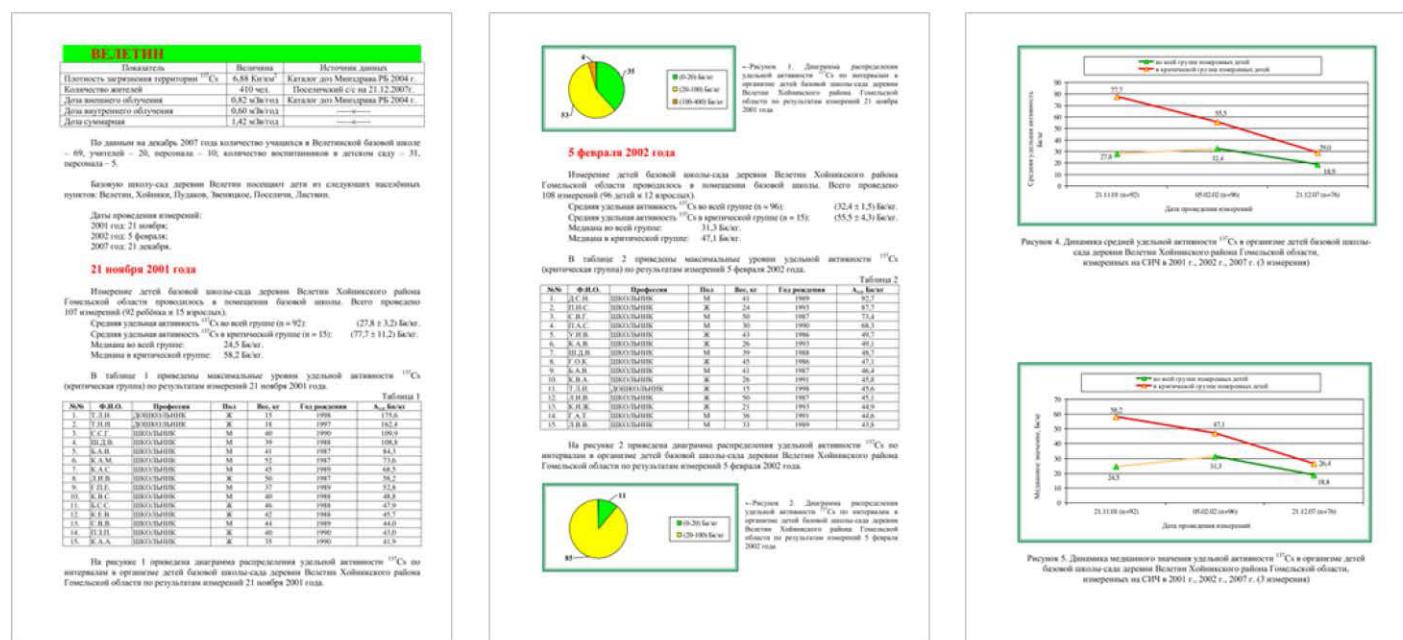


Fig. 25 — Extraits de l’Atlas radioécologique « Humains et radiations »

L’Atlas « Humains et radiations », des contaminations individuelles par districts, est un ouvrage très instructif et détaillé réalisé par nos collègues. Nous conseillons à toutes les personnes intéressées par la radioprotection de s’y familiariser. De manière générale, les données de l’Atlas montrent que :

- d’une part, la tendance à la baisse de l’activité spécifique (c’est-à-dire la quantité de radionucléides dans l’organisme) chez les enfants vivant dans les zones contaminées est assez nette ;
- d’autre part, au vu des résultats des mesures effectuées au cours des seules trois dernières années, nous constatons avec regret qu’il est trop tôt pour considérer cette baisse comme suffisante, car les enfants continuent d’accumuler du césium.

L’édition 2011 de l’Atlas est actuellement disponible dans le catalogue de la Bibliothèque nationale du Bélarus (<<https://e-catalog.nlb.by/Record/BY-NLB-br0001149725>>).

Lier et neutraliser

Nous avons déjà mentionné que les préparations à base de pectine sont très efficaces pour lutter contre les radionucléides qui ont pénétré dans l'organisme. L'Institut Belrad a mis au point une telle préparation. Vitapect-3 est un entérosorbant à base de pectine déjà bien connu de nombreux enfants vivant dans des zones contaminées. Il fixe et élimine les radionucléides et les sels de métaux lourds de l'organisme, tout en ayant un agréable goût de pomme, ce qui est important pour un public d'enfants.



Composition

Single dose content	Daily intake		Percentage of recommended daily intake	
	children from 3 years old	adults	children from 3 years old	adults
Vitamin B ₁₂ , µg	0.46	0.93	1.39	62 46
Vitamin B ₂ , mg	0.155	0.31	0.46	26 31
Vitamin B ₆ , mg	0.54	1.08	1.62	77 85
Vitamin C, mg	15.5	31	46.5	62 66
Vitamin E, mg	2.32	4.64	6.96	58 77
β-carotene, mg	0.77	1.55	2.32	31 46
Folic acid, µg	31	62	93	31 47
Zn, mg	2.32	4.64	7.0	58 47
K, mg	96.75	193.5	290.3	14
Citric acid, mg	44	264	396	

Nutritional value per 100 g: protein - 2.0 g, fat - 1.7 g, carbohydrates - 87.0 g
Energy value kcal / kJ - 371/1553

Fig. 26 — Aspect de l'emballage et composition de l'entérosorbant « Vitapect-3 »

La diminution de l'activité spécifique chez les enfants, constatée par le laboratoire WBC, est en grande partie due aux cures de pectine utilisant Vitapect-3. Afin d'évaluer l'efficacité de ces cures, des mesures sont effectuées avant et après le traitement par entérosorbant, puis les résultats sont comparés – une méthode également présentée dans l'Atlas « Humains et radiations ».

Ainsi, la diminution la plus importante de l'activité spécifique chez les enfants est observée lorsqu'ils reçoivent Vitapect-3, pendant des séjours de convalescence à l'étranger (jusqu'à 90 % dans certains cas) ou dans des sanatoriums biélorusses (40 à 60 %). Ceci s'explique à la fois par une alimentation saine et équilibrée pendant la convalescence, et par le fait que les adultes contrôlent la prise d'entérosorbant par les enfants.

Par exemple, voici un diagramme illustrant la diminution de l'activité spécifique au fil des années chez des groupes d'enfants séjournant au centre de réadaptation et de santé pour enfants « Nadezhda » (district de Vileyka, région de Minsk - Fig. 27).

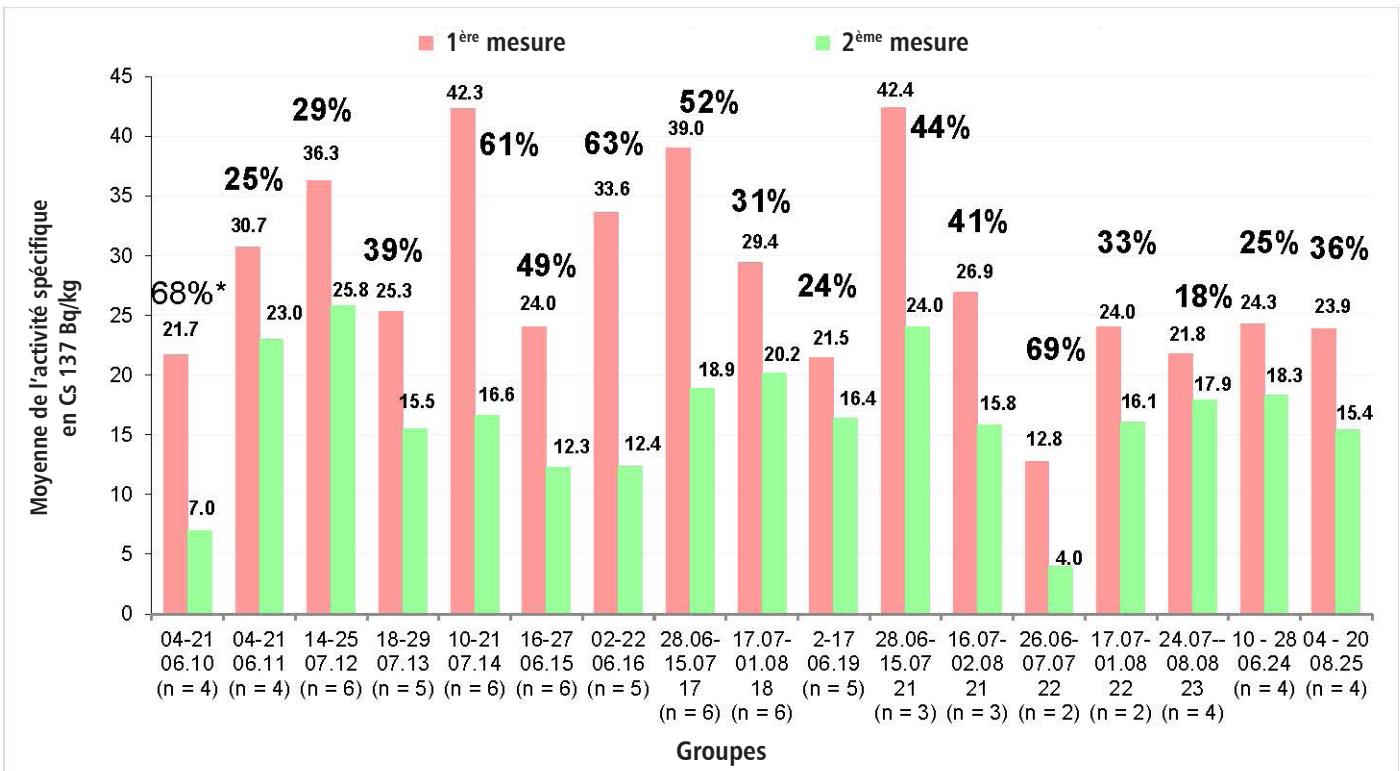


Fig. 27 — Diagramme comparatif de l'efficacité de l'amélioration de la santé infantile de 2010 à 2025 (* pourcentage de réduction de l'activité spécifique du 137 Cs).

Et voici l'un des meilleurs résultats obtenus lors d'un voyage d'enfants au Japon en 2010 (Fig.28) :

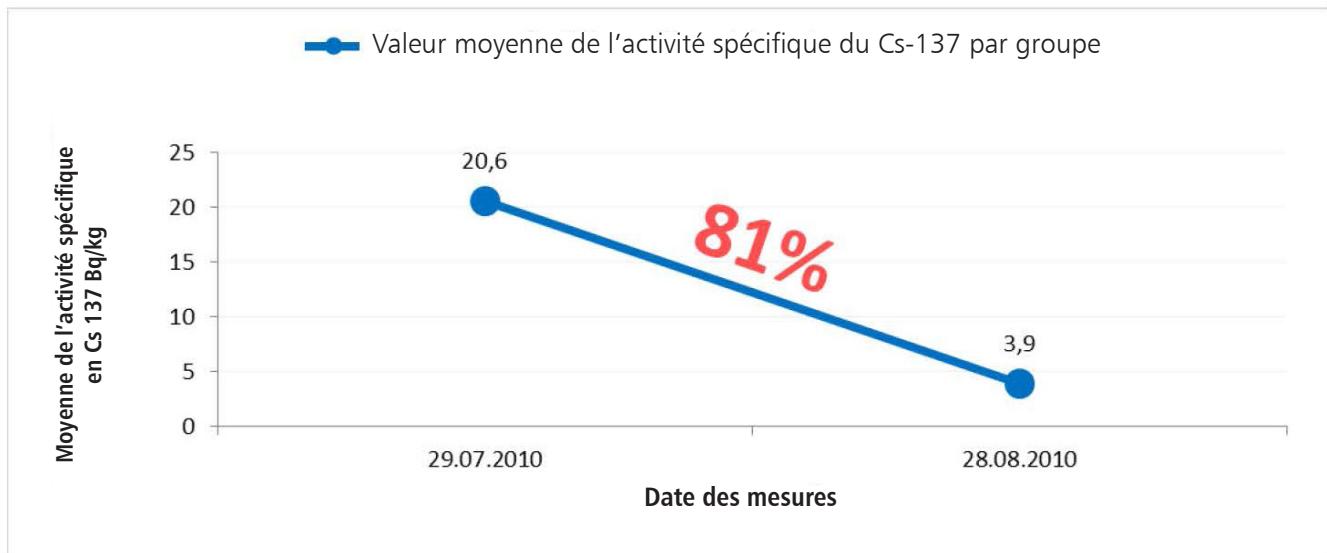


Fig. 28 — Diagramme illustrant la tendance à la baisse de l'activité moyenne dans l'organisme des enfants suite aux cures de pectine et à la réadaptation au Japon en 2010

Dans les zones les plus exposées aux radiations, le laboratoire WBC organise des cures de pectine annuelles, voire plusieurs fois par an. La réduction moyenne des radionucléides dans l'organisme atteint ici 30 %, mais seulement si les enfants ne consomment pas de produits forestiers. Malheureusement, tous les parents ne sont pas responsables face aux mesures de radioprotection et, par conséquent, le niveau de radioactivité chez certains enfants reste inchangé, voire augmente.

Des spécialistes du Centre scientifique de médecine des radiations en Ukraine ont obtenu des résultats similaires suite à des mesures effectuées dans des villages du district de Polessky, dans la région de Kiev (l'une des régions les plus contaminées d'Ukraine), en 2006 et 2008 : l'activité spécifique après administration de Vitapect en poudre a diminué de 26 à 33 %.

Un autre invité indésirable

Outre le césium-137, il convient de mentionner un autre radionucléide qui détermine en grande partie la dose reçue par les habitants des zones touchées : le strontium-90, un isotope radioactif du strontium. Tout comme le césium-137, le strontium-90 est produit lors de la désintégration nucléaire dans les réacteurs nucléaires (le strontium-90 naturel n'existe pas sur Terre). Il subit également une désintégration bêta et sa demi-vie est de 29 ans, soit presque aussi longue que celle du césium-137.



Fig. 29 — Formule de la désintégration radioactive du strontium-90.

La carte de la contamination au strontium-90 au Bélarus présente une bonne corrélation avec une carte similaire pour le césium-137, bien que la zone contaminée par le strontium soit beaucoup plus petite :

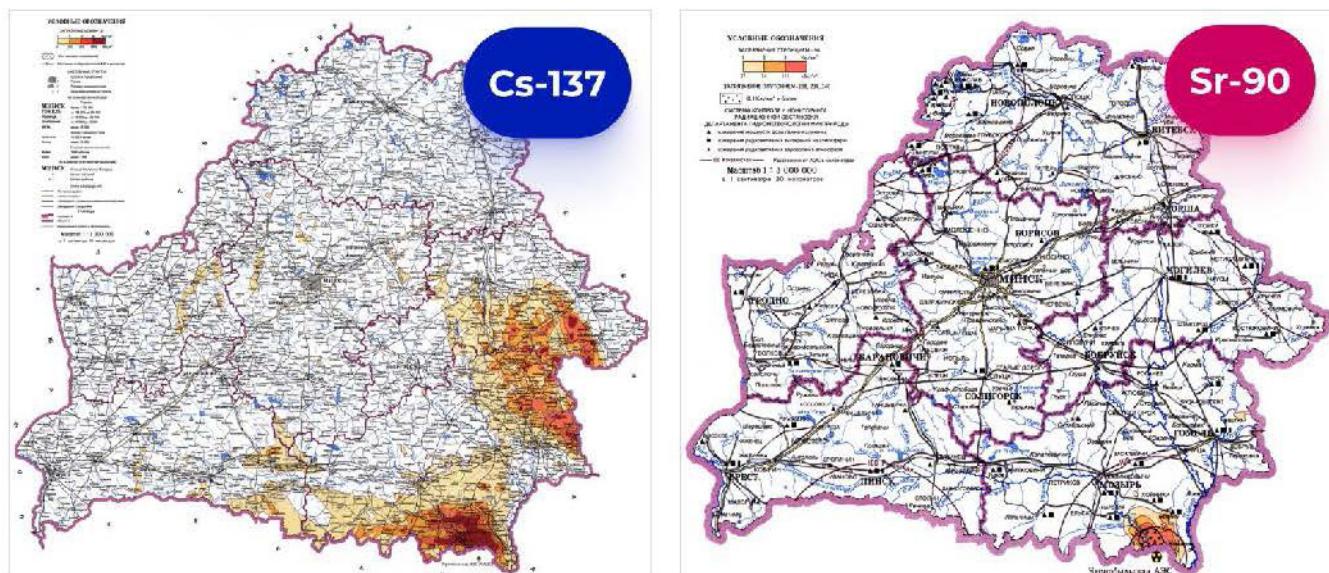


Fig. 30 — Cartes de la densité de contamination du territoire de la République du Bélarus par le césium-137 (à gauche) et le strontium-90 (à droite).

Cependant cela ne signifie pas que le strontium soit inoffensif, car les similitudes s'arrêtent là. Ingéré par voie alimentaire (principalement le lait et les produits laitiers), le strontium-90 s'accumule dans les os, remplaçant le calcium naturel. Le strontium est particulièrement difficile à éliminer de l'organisme, car les processus métaboliques sont plus lents dans le tissu osseux que dans les tissus mous.

La demi-vie biologique du strontium-90 dans le tissu osseux est d'environ 8 à 10 ans. Le strontium-90 s'accumule dans les os et irradie ainsi la moelle osseuse, affectant le système hématopoïétique et provoquant une anémie.

Les mesures visant à empêcher l'entrée du strontium-90 dans l'organisme sont globalement les mêmes que celles utilisées pour le césum-137. Cependant, on peut affirmer que le strontium-90 est pratiquement impossible à éliminer de l'organisme, compte tenu de sa présence quasi constante dans l'alimentation.

Qui mesure l'activité du strontium-90 et comment ?

Mesurer la radioactivité interne du strontium-90 dans le corps humain est techniquement très complexe. Des études de ce type sont menées à l'Institut international Sakharov pour l'environnement de l'Université d'État du Bélarus. Certains résultats de ces études sont disponibles dans le document suivant : <<https://enfants-tchernobyl-belarus.org/etb/documentaires/201405271555032.pdf>> (N. N. Cheshko, E. S. Bogacheva et V. A. Chudakov ; actes du congrès « Dentist 4-2012 ») – traduit en français ici : <<https://enfants-tchernobyl-belarus.org/etb/documentaires/Mesure-strontium90-tissu-humain.pdf>>.

<p>Стоматол. Стоматологич. 4-2012</p> <p>Измерение содержания радионуклида стронций-90 в костной ткани человека in vivo</p> <p>УДК: БЕЛАРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, г. МИНСК¹ БЕЛАРУССКО-МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А.Д. САХАРОВА², г. МИНСК²</p> <p>Резюме. Представлены результаты измерений содержания радионуклида стронций-90, инкорпорированного в костную ткань человека, выполненные на измерительном комплексе «Экспертный бета-спектрометр излучений человека (СИИ), инкорпорированный стронций-90».</p> <p>Ключевые слова: спектрометр излучений человека (СИИ), инкорпорированный стронций-90</p> <p>N.N. Cheshko¹, E.S. Bogacheva², V.A. Chudakov²</p> <p>MEASUREMENT OF STRONTIUM-90 IN HUMAN BONE TISSUE IN VIVO</p> <p>BELARUSIAN STATE MEDICAL UNIVERSITY, MINSK INTERNATIONAL SAMAROV ENVIRONMENTAL UNIVERSITY, MINSK^{1,2}</p> <p>Summary. The results of measurements of radionuclide strontium-90 incorporated in the human bone tissue, performed at the measuring complex «Expert beta-spectrometer of human radiation (СИИ), incorporated strontium-90».</p> <p>Key words: human radiation spectrometer (СИИ), incorporated strontium-90</p>	<p>МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ</p> <p>Н.Н. Чешко¹, Е.С. Богачева², В.А. Чудаков²</p> <p>аварии, говорят о наличии неизвестных путей поступления стронция в организмы.</p> <p>Заключение. Среди студентов и школьников, у которых был выявлен стронций-90, многиеesso</p> <p>Литература</p> <p>1. Дорогин, А.Н. Странность в то и гипотезы // Вестник БГУ. Сер. 1: Физика, Математика, Информатика. – 2013. – № 1. – С. 101–103.</p> <p>2. Академия. Академическая информация для спортивно-неконтактного СИИ-90 // АФРИ. – М., 2016. – №9481. – С. 51–59.</p>
--	--

Безопасность аварии на Чернобыльской АЭС в Беларусь поддается радиоактивному изучению. В настоящее время представлена опасность для организма человека, представленная дополнительным радионуклидом – стронций-90, который может находиться в других трансураниевых элементах. Разработанный в Международном государственном экологическом университете имени А.Д. Сахарова измерительный комплекс для выскоченного прижизненного измерения стронций-90, предназначенный для выскоченного прижизненного измерения в стационарных условиях активности бета-излучения радионуклидов – стронций-90, а также гамма-излучающих радионуклидов: цезий-134, цезий-137, калий-40, яодий-131, йодий-123 и других, инкорпорированных в костную ткань.

Цель нашего исследования – определение приживленного содержания радионуклида стронций-90 в костной ткани человека.

Материалы и методы. В 2008–2011 гг. на измерительном комплексе «Экспертный бета-спектрометр излучений человека (СИИ)» было обследовано 129 человек: 82 студента из МГЗУ им. А.Д. Сахарова и 47 школьников из г. Дзержинска Минской области.

«Экспертный бета-спектрометр СИИ» создан для измерения содержания гамма-излучающих радионуклидов, инкорпорирующихся в организмы человека. Бета-спектрометр обладает собственным алгоритмом и программным обеспечением обработки спектрометрической и радиометрической информации, при этом бета-канал помещен в

низкофотонную защитную камеру.

При измерении стронций-90 в костной ткани человека становится тем, что он, как и дочерний продукт его распада – ятрий-90, является «чистым» бета-излучателем. Пробег бета-излучения в биологической ткани не превышает 100 мкм, поэтому стронций-90 не может проникнуть в кровь и попасть в другие органы in vivo. Бета-излучение стронций-90 и дочернего продукта его распада – ятрий-90 регистрируется в поле излучения бета-спектрометра излучением с помощью чистого гамма-излучателя – ядерного изотопа фосфора [1, 2].

Объектом исследования служил полог человека по возрасту и половой принадлежности, не имеющий болезненных состояний и поклонников тканей. Концепция позволяет проводить приживленные измерения радионуклида стронций-90 в костной ткани человека уже в пределах 20–50 факта.

Результаты исследований и их обсуждение. При обследовании студентов МГЗУ 1986–1988 гг. было установлено, что 21% из них, в том числе и состава имеют статистически значимые значения содержания стронций-90 в пределах 100 Бк. У 50 обследованных из них радионуклид не был обнаружен. Остальные группы имели пренебрежимо малые значения. Результаты радиохронического обследования студентов «стронциевым» СИИ в 2010 г. повторялись в 2011 г. показавшие 21 % среди обследованных содержание стронций-90 в костной ткани.

Предварительные результаты мониторинга школьников из г. Дзержинска, проходившего в 2011 г. показали, что 21 % среди обследованных содержание стронций-90 в пределах 100–400 Бк на тело.

Обнаружено это радионуклида у студентов и школьников, родившихся после Чернобыльской

Fig.31 — Actes de la conférence « Dentiste 4-2012 » intitulée « Mesure de la teneur en strontium-90 dans le tissu osseux humain in vivo » (N. N. Cheshko, E. S. Bogacheva et V. A. Chudakov, 2012).

Les auteurs attirent notre attention sur la découverte de valeurs « *statistiquement significatives* (à 100 Bq près) » de teneur en strontium-90 chez “20 à 25 %” des étudiants de l’Institut analysés (ces résultats ont été obtenus en 2008, 2009 et 2010). Du strontium a également été détecté dans le tissu osseux d’enfants d’âge scolaire de la ville de Dzerjinsk (à ne pas confondre avec le *village de Dzerjinsk* mentionné précédemment). Considérant que les étudiants et les écoliers analysés vivent dans une zone relativement préservée, les auteurs évoquent la possibilité de voies d’exposition au strontium encore inconnues.

« *Cette situation exige une étude approfondie* », concluent les experts. Malheureusement, nous n’avons trouvé aucune information concernant la réalisation d’une telle étude.

Les produits sont également analysés afin de déterminer leur teneur en strontium-90. À cette fin, un spectromètre gamma-bêta est utilisé au laboratoire de surveillance de la radioactivité de l’Institut Belrad. Le tableau ci-dessous présente les mesures effectuées depuis 2016 (fig. 32) :

Date	Produit alimentaire	Localité	Résultat de mesure d’activité spécifique, Bq/kg	RDU-99
05.05.2016	Céréale	Mikulichy, Braginsky, Gomel region	12.3±3.55	11
20.01.2017	Céréale (seigle)	Yelsk, Yelsky, Gomel region	8.80±3.96	11
06.02.2017	Céréale (avoine)	Yelsk, Yelsky, Gomel region	3.60±1.88	11
22.03.2017	Céréale (orge)	Yelsk, Yelsky, Gomel region	5.20±4.52	11
20.10.2017	Céréale	Kozeluzhye, Khoiniki district, Gomel region	23.9±4.3	11
31.10.2017	Lait	Mikulichi, Braginsky, Gomel region	0.40±0.30	3.7
13.11.2017	Céréale	Mikulichi, Braginsky, Gomel region	1.50±1.36	11
26.12.2017	Céréale (seigle)	Stodolichi, Lelchitsky district, Gomel region	< 1.40	11
18.06.2018	Lait	Minsk	< 0.30	3.7
22.06.2018	Lait	Minsk	< 0.20	3.7
12.07.2018	Lait	Minsk	< 0.20	3.7
12.09.2018	Lait	Minsk	< 0.30	3.7
27.09.2018	Céréale	Dzerzhinsk, Lelchitsky, Gomel region	< 1.90	11
10.10.2018	Lait	Minsk	< 0.30	3.7
16.11.2018	Lait	Minsk	< 0.30	3.7
20.11.2018	Céréale (avoine)	Sivitsa, Volozhinsky, Minsk region	10.1±2.60	11
29.11.2018	Céréale (orge)	Sivitsa, Volozhinsky, Minsk region	< 2.80	11
18.12.2018	Lait	Minsk	< 0.30	3.7

03.01.2019	Céréale (blé)	Otverzhichy, Stolin, Brest region.	< 2.00	11
18.02.2019	Céréale (avoine)	Dyatlovichi, Luninets, Brest region	< 1.70	11
26.02.2019	Céréale (avoine)	Dyatlovichi, Luninets, Brest region	< 2.50	11
07.03.2019	Céréale (blé)	Malinovka, Loevsky, Gomel region	< 2.90	11
22.03.2019	Céréale (avoine)	Valavsk, Yelsky district, Gomel region	2.10±0.70	11
08.04.2019	Céréale (avoine)	Krasnoye, Braginsky, Gomel region	11.3±2.80	11
12.04.2019	Céréale (avoine)	Krasnoye, Braginsky, Gomel region	4.30±1.66	11
26.04.2019	Céréale (avoine)	Kirov, Narovlyansky, Gomel region	< 1.60	11
13.05.2019	Céréale (blé)	Valavsk, Yelsky, Gomel region	< 1.60	11
22.05.2019	Céréale (blé)	Dzerzhinsk, Lelchitsky, Gomel region	< 1.90	11
03.06.2019	Céréale (blé)	Otverzhichi, Stolin, Brest region	< 1.90	11
26.11.2019	Céréale (blé)	Krasnoye, Braginsky, Gomel region	19.1±3.49	11
05.12.2019	Céréale (avoine)	Krasnoye, Braginsky, Gomel region	< 3.60	11
17.12.2019	Céréale (orge)	Krasnoye, Braginsky, Gomel region	3.90±1.77	11
06.10.2020	Céréale (avoine)	Valavsk, Yelsky, Gomel region	3,80±1,02	11
23.11.2020	Céréale (avoine)	Krasnoye, Braginsky, Gomel region	2,20±1,20	11
18.01.2021	Lait	Sivitsa, Volozhinsky, Minsk region	< 0,30	3,7
18.01.2021	Lait	Sivitsa, Volozhinsky, Minsk region	< 0,30	3,7
26.02.2021	Céréale (orge)	Krasnoye, Braginsky, Gomel region	4,60±1,33	11
28.06.2021	Céréale (orge)	Krasnoye, Braginsky, Gomel region	9,50±3,16	11
23.08.2021	Céréale (blé)	Dyatlovichi, Luninets, Brest region	< 1,17	11
20.12.2021	Lait	Minsk	< 1,5	3,7
23.05.2022	Céréale	Malinovka, Loevsky, Gomel region	2,15±1,02	11
22.08.2022	Céréale	Sivitsa, Volozhinsky, Minsk region	< 1,60	11
02.11.2023	Lait	Minsk	< 0,30	3,7
13.11.2023	Lait	Minsk	< 0,30	3,7
13.11.2023	Lait	Minsk	< 0,30	3,7
18.07.2024	Céréale (blé)	Polesye, Chechersky, Gomel region	< 2,8	11
16.09.2024	Lait	Minsk	< 0,30	3,7
17.10.2024	Lait	Minsk	< 0,30	3,7
25.10.2024	Lait	Minsk	< 0,30	3,7

28.10.2024	Lait	Minsk	< 0,30	3,7
12.02.2025	Céréale (orge)	Zelenochi, Kalinkovichi, Gomel region	23,30±5,20	11
10.04.2025	Céréale (avoine)	Kozeluzhye, Khoinski district, Gomel region	21,50±5,55	11
22.04.2025	Céréale (blé)	Kozeluzhye, Khoinski district, Gomel region	< 3,4	11
11.07.2025	Céréale (orge)	Krasnoye, Braginsky, Gomel region	11,70±3,30	11
25.07.2025	Lait	Minsk	< 0,30	3,7
28.07.2025	Céréale (triticale)	Malinovka, Loevsky, Gomel region	< 2,5	11

Fig. 32 — Tableau de l'activité spécifique du strontium-90 dans les échantillons mesurés au laboratoire de surveillance de la radioactivité de l'Institut Belrad de 2016 à 2025.

Ce tableau montre que les échantillons les plus contaminés proviennent de zones géographiquement proches de la centrale nucléaire de Tchernobyl.

Il est regrettable de constater qu'il a été pratiquement impossible de trouver des informations publiées sur les résultats de mesures similaires effectuées par d'autres institutions du Bélarus ou des pays voisins. Une recherche sur Google ne renvoie qu'à des lignes directrices et des normes. La seule publication plus ou moins pertinente était l'étude de la dynamique des concentrations de strontium-90 dans certaines rivières de la région de Gomel (publiée sur le site web du Centre principal d'information et d'analyse du Système national de surveillance environnementale : version originale en russe <<https://enfants-tchernobyl-belarus.org/etb/documentaires/Radioactive-Monitoring-2018.pdf>> – traduit en français ici : <<https://enfants-tchernobyl-belarus.org/etb/documentaires/surveillance-de-la-radioactivite-2018.pdf>>)

L'analyse des données conduit les auteurs à conclure à une tendance à la baisse des concentrations annuelles moyennes de strontium-90 dans les eaux de surface, avec quelques pics certaines années. Ces pics sont liés à une variation des débits annuels (c'est-à-dire la quantité d'eau que le fleuve transporte de son bassin versant au cours d'une année donnée).

La teneur en strontium-90 des aliments distribués dans les commerces est réglementée et contrôlée par la limite de dose radiologique (RDU). Cependant, la pureté du lait artisanal est rarement garantie. Comme pour le césium, cela souligne la nécessité d'un suivi continu.

Un danger différé

Dans les décennies à venir, un autre radionucléide aux caractéristiques tout aussi inquiétantes fera son apparition : l'américium-241, isotope de l'américium, un autre radionucléide hérité de la catastrophe de Tchernobyl.

Premièrement, la quantité d'américium au Bélarus ne cesse d'augmenter. Ceci s'explique par le fait que l'américium-241 est un produit de désintégration du plutonium-241. La moitié du plutonium-241 se transforme en américainum-241 en 14 ans, ce qui signifie que la formation d'américium devrait atteindre son maximum aux alentours de 2056, avant que son activité ne diminue.

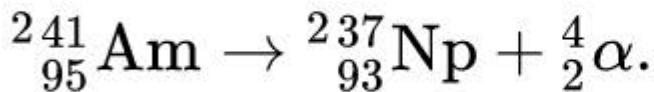


Fig. 33 — Formule de la désintégration radioactive de l'américium-241

Deuxièmement, l'américium-241 a une demi-vie de 433 ans. Comme on le sait, il faut environ 10 demi-vies pour qu'un territoire soit débarrassé du radionucléide ; pour l'américium, cela n'arrivera donc qu'en 6316.

Troisièmement, les noyaux d'américium-241 sont sujets à la désintégration alpha, ce qui explique sa forte toxicité pour les organismes vivants.

D'après les cartes de contamination, la majeure partie de l'américium-241 s'est déposée sur le territoire de l'actuelle Réserve radioécologique d'État de Polésie (PSRR). Cela signifie que la voie d'entrée la plus probable dans le corps humain est la viande d'animaux sauvages qui circulent librement sur le territoire du Bélarus et d'autres États, transportant avec eux les radionucléides ingérés avec les plantes contaminées qu'ils consomment.

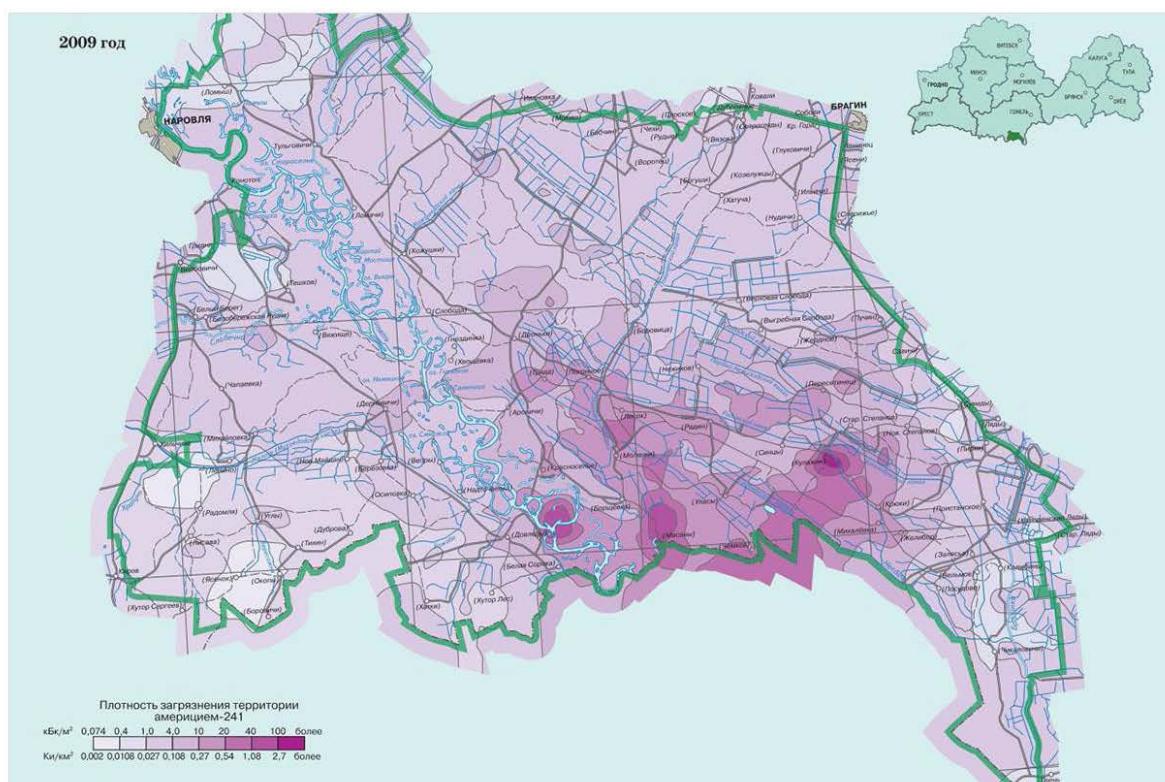


Figure 34 — Carte de la densité de contamination par l'américium-241 du territoire du district de Narovliansky (région de Gomel)

Malheureusement, à l'heure actuelle, la réglementation bélarusse ne prend pas en compte la contamination par l'américium-241.

La catastrophe comme une habitude

Les radiométristes des CLCR suivent une formation spécialisée, non seulement pour effectuer des mesures, mais aussi sur les aspects théoriques du problème, afin de pouvoir ensuite sensibiliser le public et répondre à toutes les questions relatives aux rayonnements et à la radioprotection.

Il semblerait que les habitants des zones touchées par Tchernobyl vivent avec cette catastrophe depuis plus de trente ans, et soient les mieux placés pour parler de radioactivité. Ont-ils vraiment besoin qu'on leur rappelle les dangers ?

C'est nécessaire. Car on s'habitue à tout. Et quand on s'habitue au danger, on a tendance à l'ignorer. Ce phénomène est également accentué par l'absence d'effets immédiats et visibles de l'exposition aux radiations.



Fig. 35 — Radiométriste à l'école du village de Valavsk

Même dans les zones les plus contaminées, de nombreux habitants font totalement abstraction des risques radiologiques – ou, plus exactement, ils en ont connaissance mais les ignorent. Dans le village de Dzerjinsk, année après année, on observe chez les mêmes enfants des taux de césum-137 d'au moins 300 Bq/kg, sans que cela ne suscite la moindre réaction émotionnelle ni le moindre changement dans leur alimentation. Et ce n'est qu'un exemple parmi tant d'autres.

Nous aimerais croire que les données impressionnantes accumulées au fil des ans peuvent au moins être convaincantes – c'est pourquoi nous avons décidé d'écrire cet article.

Épilogue

L'ensemble des informations présentées suggère que le problème de la contamination radioactive des « cadeaux de la forêt » et de certains produits locaux demeure d'une actualité brûlante, même plusieurs décennies après le terrible accident d'origine humaine, et démontre l'urgence de poursuivre la surveillance constante de la radioactivité des produits alimentaires, de mettre en œuvre toutes les mesures disponibles pour se protéger des effets des radionucléides pénétrant dans l'organisme et de mener des actions de sensibilisation dans les zones contaminées.

Enfin, nous souhaitons formuler une dernière réflexion. Une norme est, par définition, un concept relatif. Il n'est pas tout à fait raisonnable de supposer, par exemple, que du lait présentant une activité de 99 Bq/L est parfaitement sûr, mais que le simple franchissement du seuil de 100 Bq/kg le rende immédiatement mortel. Il est bien plus pragmatique d'adopter une approche privilégiant la pureté, indépendamment des normes sur lesquelles on s'est accordé par simple nécessité de parvenir à un consensus sur cette question complexe.

Sachant que, jusqu'à l'apparition très récente du césium-137 de synthèse avant laquelle ni la nature ni notre organisme n'étaient exposés, il semble pertinent de considérer l'absence totale de radionucléides dans l'alimentation et le corps humain comme la norme. Cet objectif est pratiquement inatteignable, mais progresser le plus loin possible dans cette direction est la priorité absolue de notre Institut et de tous ceux qui se soucient de leur santé et de celle de leurs descendants.

I. Turkovsky, I. Khromova, S. Runtsevich

Laboratoire de surveillance des rayonnements,
Institut de radioprotection « Belrad », octobre 2025

