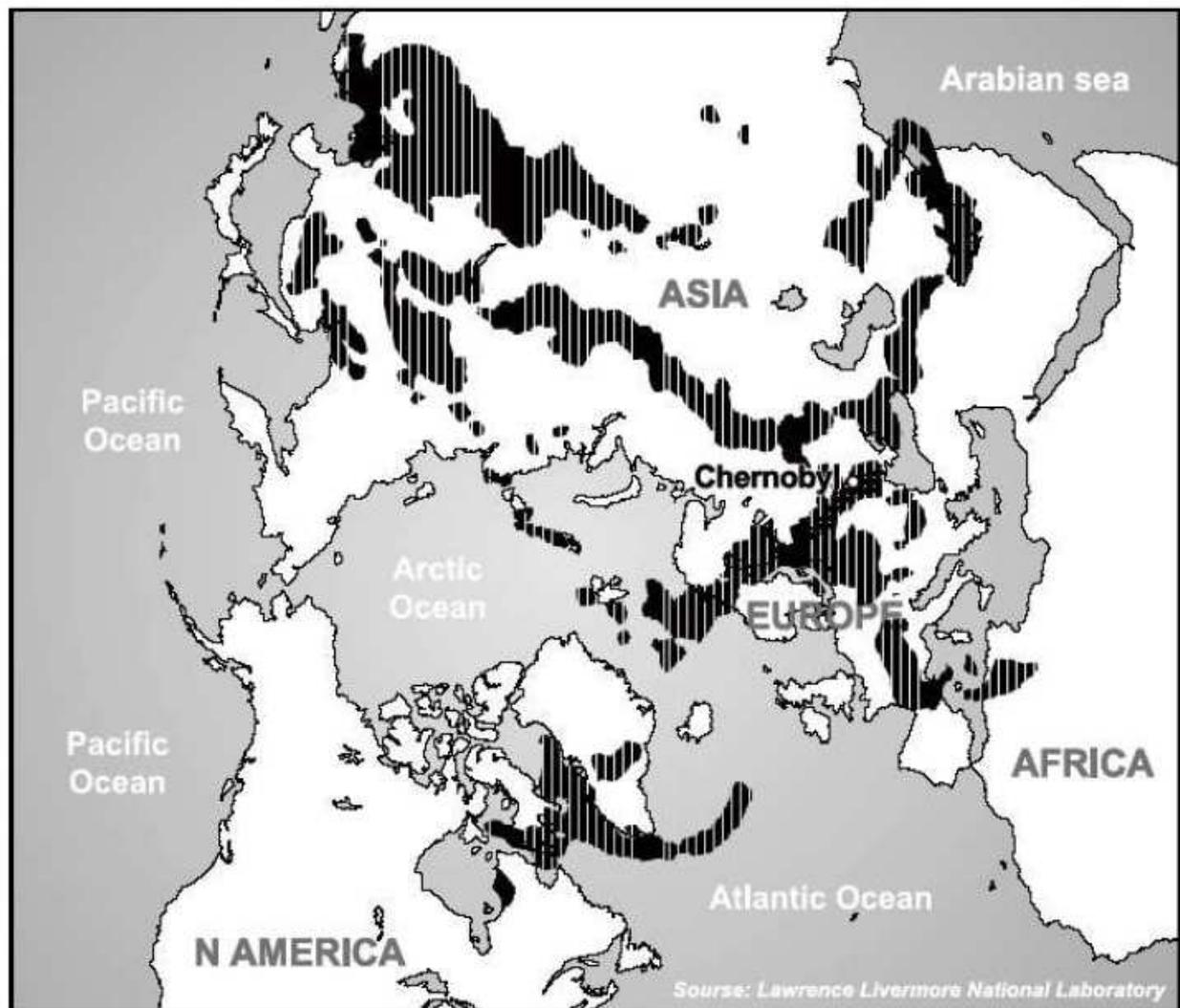


La Catastrophe de Tchernobyl

Conséquences sur la santé humaine



GREENPEACE 2006



Source: Lawrence Livermore National Laboratory
 Radioactive cloud  27 April  by 6 May

ISBN 5-94442-013-8

© Copyright: Greenpeace, Amsterdam, the Netherlands
 April 2006

LA CATASTROPHE DE TCHERNOBYL : CONSEQUENCES SUR LA SANTE HUMAINE

Copyright : Greenpeace, Amsterdam, Pays-bas. Avril 2006

Greenpeace se félicite des contributions des personnalités suivantes qui ont rendu possible la publication de ce rapport.

Comité de rédaction : A. Yablokov, I.Labunska, I.Blokov

Ce rapport est édité par le Dr. David Santillo (UK), le Dr. Paul Johnston (UK), Ruth Stringer (UK) et Tony Sadownichik (Pays-Bas/Canada).

Liste des auteurs par ordre alphabétique :

Antipkin Y.G., Institut de Pédiatrie, d'Obstétrique et de Gynécologie, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*

Arabskaya L.P., Institut de Pédiatrie, d'Obstétrique et de Gynécologie, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*

Bazyka D.A., Centre de Recherche Médicale pour la Radioactivité, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*

Blokov I.P., Greenpeace International - *Chapitres 1 et 2*

Burlak G.F., Ministère ukrainien de la Santé, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*

Burlakova E.B., Institut de Physique et de Biochimie – *Chapitre 1*

Buzunov V.A., Institut d'Hygiène Radiologique et d'Epidémiologie, Centre de Recherche pour la Radioactivité Médicale, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*

Cheban A.K., Association "Physiciens de Tchernobyl", Kiev, Ukraine – *Chapitre 2 et 3*

Dashkevich V.E., Institut de Pédiatrie, d'Obstétrique et de Gynécologie, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*

Diomina, E.A., Institut de Pathologie Expérimentale, d'Oncologie et de Radiobiologie, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*

Druzhina M.A., Institut de Pédiatrie, d'Obstétrique et de Gynécologie, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*

Fedirko P.A., Centre de Recherche Médicale pour la Radioactivité, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*

Fedorenko Z., Institut d'Oncologie, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 2*

Fuzik M., Centre de Recherche Médicale pour la Radioactivité, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 2*

Geranios A., Département de Physique Nucléaire et des Particules Élémentaires, Université d'Athènes, Grèce – *Chapitre 4*

Gryshchenko V., Centre de Recherche pour la Radioactivité Médicale, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 2*

Gulak G.L., Institut d'Oncologie, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 2*

Komissarenko I.V., Institut d'Endocrinologie et du Métabolisme, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 2*

Kovalenko A.Ye., Institut d'Endocrinologie et du Métabolisme, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 2*

- Khudoley V.V., Institut de Recherche en Oncologie, Saint Petersburg ; Centre d'Expertise Environnementale Indépendante, Académie des Sciences de Russie, Saint Petersburg, Russie - *Chapitres 1 et 2*
- Lipskaya A.I., Institut de Pathologie Expérimentale, d'Oncologie et de Radiobiologie, Académie Nationale des Sciences, Kiev, Ukraine – *Chapitres 3 et 4*
- Loganovsky K.N., Centre de Recherche pour la Radioactivité Médicale, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*
- Malko M.V., Institut de l'Energie et de la Recherche Nucléaire, Académie Nationale des Sciences du Bélarus - *Chapitres 1 et 2*
- Misharina Zh.A., Centre de Recherche pour la Radioactivité Médicale, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*
- Naboka M.V., Département des Recherches Eco-hygiéniques du Centre Radio-écologique de l'Académie Nationale des Sciences, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*
- Nyagu A.I., Association "Physiciens de Tchernobyl", Journal International de la Radioactivité Médicale, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*
- Okeanov E.A., Université Internationale d'Etat A. Sakharov de l'Environnement, Minsk, Bélarus - *Chapitres 1 et 2*
- Omelyanets N.I., Laboratoire de Démographie Médicale, Centre de Recherche pour la Radioactivité Médicale, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 2*
- Oradovskaya I.V., Institut d'Immunologie du Ministère russe de la Santé Publique, Moscou, Russie – *Chapitre 3*
- Petrov N.N, Institut de Recherche d'Oncologie, Saint Petersburg ; Centre d'Expertise Environnementale Indépendante, Académie des Sciences de Russie, Moscou, Russie- *Chapitres 1 et 2*
- Pilinskaya M.A., Centre de Recherche pour la Radioactivité Médicale, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*
- Pintchouk L.B., Institut de Pathologie Expérimentale, d'Oncologie et de Radiobiologie, Académie Nationale des Sciences, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*
- Prysyazhnyuk A., Centre de Recherche pour la Radioactivité Médicale, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 2*
- Rjazskay E.S., Centre de Recherche pour la Radioactivité Médicale, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*
- Rodionova N.K., Institut de Pathologie Expérimentale, d'Oncologie et de Radiobiologie, Académie Nationale des Sciences, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*
- Rymyantseva G.M., V.P. Serbskiy V.P., Institut de Recherche Scientifique et de Psychiatrie Sociale et Légale, Moscou, Russie - *Chapitre 3*
- Rybakov S.I., Département Chirurgical, Institut d'Endocrinologie et du Métabolisme, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 2*
- Schmitz-Feuerhake I., Département de Physique, Université de Brème, Allemagne (retiré) – *Chapitre 4*
- Serkiz Ya.I., Institut de Pathologie Expérimentale, d'Oncologie et de Radiobiologie, Académie Nationale des Sciences, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*
- Sherashov V.S., Centre d'Etat de Recherche Scientifique en Médecine Préventive, Moscou, Russie - *Chapitre 3*
- Shestopalov V.M., Centre Radio-Ecologique, Académie Nationale des Sciences, Kiev, Ukraine *Chapitre 3*
- Skvarkaya E.A., Centre de Recherche pour la Radioactivité Médicale, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*
- Slipenyuk K., Centre de Recherche pour la Radioactivité Médicale, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*
- Stepanova E.I., Centre de Recherche pour la Radioactivité Médicale, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*
- Sushko V.A., Centre de Recherche pour la Radioactivité Médicale, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*
- Tararukhina O.B., Centre russe de Radiologie Scientifique, Moscou, Russie – *Chapitres 3 et 5*

Tereshchenko V.P., Centre de Recherche pour la Radioactivité Médicale, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*

Usatenko V.I., Commission Nationale de la Radio-Protection d'Ukraine, Kiev, Ukraine – *Chapitre 1*

Vdovenko V.Yu. Centre de Recherche pour la Radioactivité Médicale, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine – *Chapitre 3*

Wenisch A., Institut autrichien d'Ecologie Appliquée, Vienne, Autriche – *Chapitre 4*

Zubovsky G.A, Centre Scientifique russe de Radiologie (Rayons X), Moscou, Russie – *Chapitre 3*

La préparation et l'organisation de ce rapport ont été assurées par Iryna Labunska (Greenpeace International Science Unit) et Ivan Blokov (Greenpeace International).

La matière de ce rapport a été rassemblée et traduite en anglais par Eugeniy Lobanov (Belarus), Maryna Karavai (Belarus), Vladimir Tchouprov (Russia), Irina Mikituk (Ukraine), Olga Sologub (Ukraine), et Victor Sologub (Ukraine).

Traduction française : François Gillard (France).

Nous tenons à remercier tout spécialement:

Prof. Antipkin Yu.G., Directeur de l'Institut de Pédiatrie, Obstétrique and Gynécologie, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine ;

Prof. Bebeshko V.G., Directeur du Centre de Recherche Médicale pour la Radioactivité, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine ;

Prof. Tronko N. D., Directeur de l'Institut d'Endocrinologie et du Métabolisme, Académie des Sciences Médicales, Kiev, Ukraine.

Note : la terminologie et les unités de mesure de ce rapport sont celles utilisées dans les documents de référence.

TABLE DES MATIERES

La difficile vérité sur la catastrophe de Tchernobyl : le pire est encore à venir	7
Sommaire détaillé	9
Les cancers	12
Cancer de la thyroïde	12
Leucémie.....	13
Autres cancers	13
Les maladies non-cancéreuses	13
Système respiratoire.....	13
Système digestif.....	14
Système vasculaire.....	14
Systèmes musculo-squelettique et cutané.....	15
Etat hormonal et endocrinien	15
Anormalités de la fonction immunitaire	16
Maladies infectieuses	16
Anomalies génétiques et aberrations chromosomiques	17
Système uro-génital et reproducteur	17
Vieillesse précoce	17
Organes sensoriels	18
Troubles neurologiques et psychologiques.....	18
Conclusions.....	18
1. Les conséquences de la catastrophe de Tchernobyl sur la santé humaine	20
1.1. Risques généraux associés à l'industrie nucléaire	20
1.2. Vue d'ensemble : morbidité, mortalité et problèmes sanitaires.....	21
Références.....	27
2. Les cancers en Ukraine, au Bélarus et en Russie	29
2.1. Cancer de la thyroïde	36
2.2. Leucémie.....	42
2.3. Autres cancers.....	44
Conclusions sur les cancers	46
Références.....	49
3. Les maladies non cancéreuses	55
3.1. Maladies non cancéreuses généralisées	55
3.2. Maladies du système respiratoire.....	59
3.3. Maladies du système digestif et des autres organes.....	65
3.4. Maladies de la circulation sanguine et des systèmes lymphatiques.....	67
3.5. Maladies des systèmes musculo-squelettique et cutané.....	69
3.6. Déséquilibres de l'état endocrino-hormonal	70
3.7. Troubles et anomalies de l'immunité.....	73
3.8. Infections et invasions.....	75
3.9. Aberrations chromosomiques et autres caractères génétiques.....	76
3.10. Les maladies du système uro-génital et reproducteur.....	79
3.11. Malformations et maladies congénitales de l'enfant et du nourrisson.....	82
3.12. Vieillesse prématuré	87
3.13. Maladies des organes sensoriels	88
3.14. Troubles neurologiques.....	90
3.15. Troubles mentaux, psychologiques et du système nerveux central	93
Références.....	106
4. Problèmes sanitaires dans les pays autres que l'Ukraine, la Russie et le Bélarus	131
Conclusions.....	137
Références.....	137

LA DIFFICILE VERITE SUR LA CATASTROPHE DE TCHERNOBYL : LE PIRE EST ENCORE A VENIR

Pour des millions d'habitants de la planète, l'explosion de la quatrième unité de la centrale de Tchernobyl le 26 avril 1986 a partagé la vie en deux : il y a l'avant et l'après Tchernobyl. Le mot « Tchernobyl » évoque tout à la fois l'aventurisme technocratique et l'héroïsme des liquidateurs, la solidarité humaine et la lâcheté des dirigeants (effrayés à l'idée d'avertir leurs concitoyens des terribles conséquences et contribuant, de ce fait, à accroître le nombre des victimes innocentes), les souffrances de la multitude et l'intérêt particulier des autres. Tchernobyl a introduit une nouvelle terminologie dans notre existence, telle que « liquidateurs », « enfants de Tchernobyl » et « sida tchernobylien ».

Il est apparu clairement au cours de ces vingt dernières années que l'énergie nucléaire recélait des dangers, bien supérieurs sous certains aspects à ceux des armes atomiques: la contamination radioactive provoquée par les retombées de ce réacteur a dépassé de cent fois celle provoquée par les bombes atomiques de Hiroshima et Nagasaki. Il est apparu clairement qu'un seul réacteur nucléaire pouvait contaminer la moitié de la planète, et que les citoyens, en quelque pays que ce fût, ne pouvaient être assurés que l'Etat aurait la prévoyance et la sagesse de les protéger des accidents nucléaires. Le sort des milliers de soldats liquidateurs a été scellé par cette phrase d'un document du Ministère de la Défense de l'ex-Union Soviétique, daté du 9 juillet 1987: «... le fait que le travail ait été effectué à proximité du cœur du réacteur [en fusion] ne doit pas apparaître, non plus que la dose totale de radiation, s'ils [les liquidateurs] n'ont pas atteint le niveau de malaise dû aux rayonnements...»

Le «Forum de Tchernobyl» – un groupe d'experts, comprenant les représentants de l'AIEA, de l'UNSCEAR, de l'OMS, d'autres programmes des Nations Unies, de la Banque mondiale ainsi que l'équipe de certaines organisations gouvernementales du Bélarus, de la Russie et de l'Ukraine – a présenté un rapport intitulé «Effets de l'accident de Tchernobyl sur la santé et programmes sanitaires spéciaux», à la veille du vingtième anniversaire de la catastrophe de Tchernobyl, en septembre 2005. La partie médicale de ce rapport du «Forum de Tchernobyl» conclut essentiellement au fait que 4 000 à 9 000 personnes sont mortes ou mourront de cancer dû à la radioactivité (ce qui «sera difficile à identifier», dans le contexte des cancers spontanés). Ce rapport indique que 4 000 cas de cancers de la thyroïde dus à la radioactivité chez l'enfant ont été résolus par des opérations médicales. Ce rapport reconnaît une augmentation certaine du nombre de cataractes chez les liquidateurs et chez les enfants dans certaines régions contaminées. Ce rapport conclut enfin, de manière générale, que les conséquences de la catastrophe «ont été prouvées n'être pas vraiment significatives pour la santé des populations, comme il a été estimé au premier abord».

Un point de vue plus objectif a été bien exprimé par le Secrétaire général de l'ONU, Kofi Annan: «... le nombre exact des victimes ne sera peut-être jamais connu, mais 3 millions d'enfants ont besoin de soins et... beaucoup mourront prématurément... On ne connaîtra pas avant 2016, au plus tôt, le nombre exact de ceux qui développeront probablement des complications médicales sérieuses ... du fait des réactions trop tardives à l'exposition aux radiations... beaucoup mourront prématurément...»

Les retombées radioactives des nuages de Tchernobyl ont touché de nombreux territoires, où vivent plus de 3 milliards d'individus. Treize pays européens ont été dangereusement contaminés sur plus de la moitié de leur territoire par les radionucléides de Tchernobyl, et huit autres pays sur plus de 30% de leur territoire. Ce sera le sort des nombreuses générations futures de souffrir des effets de Tchernobyl dans ces régions, conformément aux lois inexorables de la statistique et de la biologie.

En réalité, le nombre de cancers de la thyroïde chez l'enfant causé par Tchernobyl dans le Bélarus, l'Ukraine et la Russie est beaucoup plus important que celui indiqué par l'AIEA et/ou l'OMS. De même, il ne faut pas considérer comme «soignés» ceux qui ont fait l'objet d'une intervention médicale – car en fait, la santé des personnes concernées aura été compromise par une médication à vie et des dysfonctionnements des systèmes hormonal et immunitaire. Le cancer de la thyroïde n'est que l'une des nombreuses modifications

pathologiques qui affectent cet organe sous l'effet de l'irradiation. Pour chaque cas de cancer, il y a des dizaines de cas d'autres maladies affectant cette glande endocrine importante. Des perturbations de la santé, liées à des modifications radiogéniques de la glande thyroïde, ne touchent pas déjà plusieurs, mais plusieurs dizaines de milliers d'individus. Dans les 30 à 50 années à venir, elles en toucheront plusieurs milliers de plus.

Il n'y a aucun doute scientifique concernant la détérioration de la santé liée à l'irradiation due à l'accident de Tchernobyl (spécialement la santé des enfants), dans les territoires 'Tchernobyl' du Bélarus, de l'Ukraine et de la Russie : on ne saurait expliquer l'apparition de douzaines de pathologies ni par l'efficacité des méthodes de dépistage, ni par des facteurs économiques et sociaux.

Je ne reprendrai pas ici le contenu du présent rapport, mais je mettrai en lumière quelques-unes des raisons concernant les différences entre les estimations des conséquences de la catastrophe de Tchernobyl, selon que celles-ci sont faites par l'industrie nucléaire ou par de nombreux experts indépendants. Certains bureaucrates de l'ex-Soviet n'ont pas seulement interdit aux médecins d'expliquer les maladies courantes par l'irradiation de Tchernobyl, mais ils ont également classé certaines données sur Tchernobyl, rendant ainsi leur accès difficile, voire impossible en certains cas. Afin de triompher de ces manipulations politiques, la validation et la sélection des données contenues dans ce rapport ont été soumises à une rigoureuse approche scientifique. Les variances statistiquement significatives de santé dans la population des territoires contaminés, avec des caractéristique ethniques, psychologiques, géographiques, sociales et économiques identiques (différenciées uniquement par l'exposition à l'irradiation de Tchernobyl) sont expliquées par les conséquences de la catastrophe de Tchernobyl.

Ce rapport, dans sa forme abrégée, présente au lecteur une matière qui était auparavant difficilement accessible (publications du Bélarus, de la Russie et de l'Ukraine). Il y a beaucoup d'études scientifiques, publiées dans ces trois pays, sur les conséquences sanitaires de la catastrophe de Tchernobyl, mais peu de ces informations ont été reprises à ce jour par la presse occidentale. Il faut noter qu'il existe depuis 1959 un accord entre l'AIEA et l'OMS, par lequel l'OMS «coordonnera» sa position avec l'AIEA pour les questions de santé liées au nucléaire. Avec l'estimable assistance des divers spécialistes indépendants de Russie, d'Ukraine, du Bélarus et de nombreux autres pays, j'espère que ce rapport figurera parmi les nombreuses études objectives publiées à l'avenir sur la véritable évaluation de la catastrophe de Tchernobyl.

Professeur A. YABLOKOV

Docteur en Biologie

Membre du Comité Européen sur le Risque de l'Irradiation (CERI)

Ancien Conseiller à l'Ecologie et à la Santé Publique

auprès du Président de la Fédération russe des Conseillers pour l'Académie des Sciences de Russie

SOMMAIRE DÉTAILLÉ

Vingt ans après le désastre de Tchernobyl, le besoin de poursuivre l'étude des conséquences à long terme reste aussi grand que jamais. Le 26 avril 1986, le terme «atome pacifique» disparaissait dans un sombre nuage au-dessus du quatrième réacteur en feu de la centrale nucléaire de Tchernobyl dans l'ex-Union soviétique. La catastrophe technologique la plus importante dans l'histoire de l'Humanité eut lieu dans une petite ville d'Ukraine au bord de la rivière Prypiat. Le lendemain, le nom de Tchernobyl était connu dans le monde entier.

Vingt ans plus tard, plusieurs millions de personnes (de 5 à 8 millions, selon les estimations) résident encore dans des zones qui resteront hautement contaminées par la pollution radioactive de Tchernobyl pour de nombreuses années. Du fait que la demi-vie du césium-137 (^{137}Cs), principal élément radioactif libéré (bien qu'il ne soit pas le seul, et de loin) est d'un peu plus de trente ans, on continuera de subir les conséquences radiologiques (et donc sanitaires) de cet accident nucléaire pendant des siècles.

Cet événement authentiquement mondial a produit ses plus forts impacts dans les trois républiques voisines anciennement soviétiques, ces pays maintenant indépendants qui sont l'Ukraine, le Bélarus et la Fédération de Russie. Toutefois, les impacts ont porté bien plus loin. Plus de la moitié du césium-137 émis lors de l'explosion a été transportée dans les autres pays européens, contaminant au moins quatorze autres pays (l'Autriche, la Suède, la Finlande, la Norvège, la Slovénie, la Pologne, la Roumanie, la Hongrie, la Suisse, la République Tchèque, l'Italie, la Bulgarie, la République de Moldavie et la Grèce) à des niveaux de radiation supérieurs à $1 \text{ Ci}/\text{km}^2$ (ou $37 \text{ kBq}/\text{m}^2$), seuil utilisé pour définir une «zone contaminée de l'Europe». Des quantités inférieures, mais néanmoins substantielles de radioactivité liée à l'accident de Tchernobyl, ont été détectées sur tout le continent européen, de la Scandinavie à la Méditerranée, et en Asie.

Malgré l'étendue géographique de la zone étudiée et la gravité de la contamination causée par l'accident, la totalité des impacts sur les écosystèmes, sur la santé humaine, sur la performance économique et sur les structures sociales reste inconnue. Dans tous les cas, pourtant, les impacts semblent être étendus et durables. Confrontant les contributions de nombreux chercheurs scientifiques et professionnels de la santé, d'Ukraine, du Bélarus et de la Russie pour beaucoup – ce rapport présente un aspect de ces impacts, et plus précisément la nature et la portée de leurs conséquences à long terme sur la santé humaine.

Les estimations de l'augmentation de la mortalité causée par l'accident de Tchernobyl offrent un spectre extrêmement large qui dépend précisément de ce qui est pris en compte. Des exemples de ces estimations sont reproduits dans le tableau ci-dessous. La dernière enquête épidémiologique, publiée sous les auspices de l'Académie des Sciences de Russie, suggère une échelle des problèmes supérieure à celle prévue dans les études publiées jusqu'ici. Par exemple, le rapport de l'AIEA 2005 envisage 4 000 morts supplémentaires causées par l'accident de Tchernobyl. Les courbes publiées très récemment indiquent qu'au Bélarus, en Russie et en Ukraine, l'accident a entraîné 200 000 décès supplémentaires entre 1990 et 2004.

Mais surtout, les données valables reproduites dans le tableau ci-dessous révèlent une augmentation considérable de la mortalité, variable selon les groupes, et contribuent à souligner les énormes incertitudes quant à la connaissance des impacts réels de l'accident de Tchernobyl.

Ce rapport contient certaines données qui n'ont pas encore été publiées sur la scène internationale. Confrontées à l'important corpus de littérature publié jusqu'ici, ces données indiquent que les chiffres «officiels» (c'est-à-dire: l'évaluation faite en 2005 par l'AIEA) concernant la morbidité (incidence de la maladie) et la mort survenant comme conséquence directe de la contamination radioactive issue de Tchernobyl, sous-estiment peut-être à la fois l'impact local et international de l'incident.

Populations affectées	Période considérée (en années)	Maladies considérées	Mortalité en excès	Commentaires
I Liquidateurs 1986-1987. V Résidents des autres zones contaminées (pour la Russie)	Non estimée	Toutes	145 maximum	(1)
I Liquidateurs 1986-1987, III Populations évacuées, IV Résidents des zones fortement contaminées	Non estimée	Cancers durs et leucémies	4 000	Conclusion en désaccord avec le Forum Tchernobyl 2005 (2)
I Liquidateurs 1986-1987, III Populations évacuées, IV Résidents des zones fortement contaminées, V Résidents des autres zones contaminées	95 10	Cancers durs Leucémies	9 335	95 ans pour tous les cancers durs, 10 ans pour les leucémies (3)
VI Population de l'Ukraine, du Bélarus et de Russie	95	Tous les cancers (cancer de la thyroïde excepté)	9 335	(4)
VIII Population mondiale	50	Toutes les maladies	17 400	(5)
VIII Population mondiale	NA	Maladies cancéreuses et non cancéreuses	9 335	(6)
VIII Population mondiale	70	Cancer de la thyroïde, autres cancers solides et leucose	46 000 – 150 000	Il faut doubler tous les chiffres sur la mortalité mais l'incertitude frôle les 100% (7)
V Résidents des autres zones contaminées	15	Toutes	210 000	Non applicable à l'ensemble de la région. Pour la Russie : entre 55 000 et 65 000 (95%) (8)
VIII Population mondiale	NA	Tous les cancers	475 368	Pour le groupe VI : 212 150, pour le groupe VII : 244 786 (9)
VIII Population mondiale	NA	Exposition grave aux radiations et tous les cancers (cancer de la thyroïde excepté)	de 905 000 à 1 809 768	(10)
VIII Population mondiale	70	Tous les cancers	jusqu'à 6 000 000	Estimations basées sur notre propre modèle d'évaluation du risque. Pour le Bélarus, : jusqu'à 25 000 par an (11)

Populations affectées : I. Liquidateurs 1986-1987 ; II. Autres liquidateurs ; III. Populations évacuées ; IV. Résidents des zones hautement contaminées ; V. Résidents des autres zones contaminées ; VI. Population de l'Ukraine, du Bélarus et de la Russie ; VII. Populations de pays autres que l'Ukraine, le Bélarus et la Russie ; VIII. Population mondiale.

Il apparaît que quatre groupes de population sont les plus sévèrement touchés :

1. ceux qui ont travaillé au nettoyage, «les liquidateurs», c'est-à-dire : le personnel civil et militaire affecté aux opérations de décontamination et de construction de la chape de protection sur le réacteur ;

2. les populations évacuées des territoires dangereusement contaminés dans un rayon de 30 km autour de la centrale ;
3. les résidents des territoires moins (mais encore dangereusement) contaminés ;
4. les enfants nés dans les familles des trois groupes précédemment évoqués.

Certaines des clefs d'identification concernant les pathologies cancéreuses et non cancéreuses sont expliquées ci-dessous :

- 1 Minatom (Russian Ministry of Nuclear Energy), Branch report on safety for 2001, Moscow, 2002
- 2 IAEA (2005) Chernobyl: The True Scale of the Accident.
<http://www.iaea.org/NewsCenter/PressReleases/2005/prn200512.html>
- 3 Chernobyl Forum Expert Group "Health" (EGH) Report "Health Effects of the Chernobyl Accident et Special Health Care Programs", Working Draft, August 31, 2005
- 4 Mousseau T, Nelson N, Shestopalov V (2005). Don't underestimate the death rate from Chernobyl. *Nature* 437, 1089
- 5 Anspaugh LR, Catlin RJ, Goldman M. (1988) The global impact of the Chernobyl reactor accident. *Science* 242:1514-1519.
- 6 Shcherbak Y. (1996). Ten Years of the Chornobyl Era. *Scientific American*. 274(4): 44-49 Sinclair, W.K. (1996) The international role of RERF. In: RERF Update 8(1): 6-8
- 7 Malko, M.V. (2006) In: Estimations of the Chernobyl Catastrophe (on the base of statistical data from Belarus et Ukraine), Publ: Centre of the Independent Environment Assessment of the Russia Academy of Sciences, ISBN 5-94442-011-1
- 8 Khudoley et al. (2006) Attempt of estimation of the consequences of Chernobyl Catastrophe for population living at the radiation-polluted territories of Russia. Publ: Centre of the Independent Environment Assessment of the Russia Academy of Sciences, Consequences of the Chernobyl Accident: Estimation et prognosis of additional mortality et cancer deseases. ISBN 5-94442-011-1
- 9 Gofman J. (1990),. Radiation-Induced Cancer from Low-Dose Exposure: an Independent Analysis. ISBN 0-932682-89-8.
- 10 Bertell R. 2006. The Death Toll of the Chernobyl Accident. In: Busby C.C., Yablokov A.V. (Eds.). *ECCR Chernobyl: 20 Years On. Health Effects of the Chernobyl Accident. Documents of the ECCR, N 1, Green Audit, Aberystwyth, pp. 245 – 248. (CERI)*
- 11 CERI (2003). *Recommandations du Comité Européen sur le Risque de l'Irradiation. Editions Frison-Roche, 2004. ISBN 2-87671-449-3*

LES CANCERS

Aujourd'hui, il est clair que la pollution de Tchernobyl a vraiment provoqué une augmentation à grande échelle de tous les cancers. En particulier, les cancers sont notoirement plus fréquents chez les populations des régions hautement contaminées et parmi les «liquidateurs» (victimes d'exposition hautement radioactive) que dans les groupes de référence (relativement peu exposés). Chez les liquidateurs du Bélarus, par exemple, les incidences du cancer du rein, de la vessie et de la thyroïde sont toutes significativement plus élevées pour la période 1993-2003 que dans un groupe de référence comparable. La leucémie est significativement plus fréquente chez les liquidateurs d'Ukraine, chez les adultes du Bélarus et chez les enfants des régions de l'Ukraine et de la Fédération de Russie les plus contaminées.

Autres exemples (bien que cette liste soit loin d'être exhaustive) :

- Entre 1990 et 2000, on enregistre un accroissement de 40% de tous les cancers au Bélarus, avec des augmentations plus fortes (52%) dans la région fortement contaminée de Gomel que dans les régions moins contaminées de Brest (33%) et de Moligev (32%).
- En Russie, la morbidité du cancer dans les régions fortement contaminées de Kaluga et Bryansk est plus élevée que dans tout le pays. Par exemple, dans les zones lourdement contaminées de la région de Bryansk, la morbidité est 2,7 fois plus élevée que dans les territoires moins contaminés de la région.
- Dans les zones contaminées de la région Zhytomir en Ukraine, le nombre d'adultes avec un cancer triple pratiquement entre 1986 et 1994, passant ainsi de 1,34% à 3,91%.

CANCER DE LA THYROÏDE

Le cancer de la thyroïde augmente tragiquement dans ces trois pays, comme on peut s'y attendre du fait des grandes quantités d'iode radioactif libérées lors de la catastrophe de Tchernobyl. Par exemple, l'incidence dans la région très contaminée de Bryansk au cours de la période 1988-1998 est deux fois supérieure à celle de la Russie dans son ensemble, et trois fois inférieure à celle de 2004. Des estimations prévisionnelles d'une possible augmentation de 60 000 cas supplémentaires sont faites dans les seuls pays de l'Ukraine, du Bélarus, et de la Russie.

Les enfants âgés de moins de 4 ans au moment de l'exposition sont particulièrement vulnérables à ce cancer. Avant l'accident, l'occurrence du cancer de la thyroïde parmi les enfants et les adolescents est en moyenne de 0,09 cas pour 100 000. Après 1990, la fréquence de l'occurrence atteint 0,57-0,63 cas pour 100 000. Il est prédit que la morbidité du cancer de la thyroïde parmi ceux qui sont encore des enfants ou des adolescents au moment de la catastrophe, atteindra son pic entre 2001 et 2006.

Il apparaît que le cancer de la thyroïde provoqué par Tchernobyl est remarquablement agressif, avec une progression précoce et rapide jusqu'à la formation de tumeurs secondaires dans les ganglions lymphatiques et les poumons, ce qui complique le pronostic et entraîne souvent des interventions chirurgicales à répétition.

Etant données les périodes de latence particulièrement longues qui peuvent être associées au cancer de la thyroïde, on peut s'attendre à voir émerger de nouveaux cas induits par Tchernobyl d'ici quelques décennies. Le contrôle médical des populations «à risque», y compris celles ayant reçu des doses relativement faibles, s'avère essentiel pour permettre une intervention médicale opportune et efficace.

LEUCÉMIE

Des taux élevés de leucémie grave chez les liquidateurs du Bélarus sont enregistrés pour la première fois en 1990-1991. A partir de 1992, des augmentations significatives de l'incidence de la leucémie sous toutes ses formes peuvent être détectées dans l'ensemble de la population adulte du Bélarus. En Ukraine, la fréquence des formes malignes de cancers du sang enregistrée dans les quatre parties les plus fortement contaminées des régions de Zhytomyr et de Kiev est significativement plus élevée pendant les quatre premières années et la sixième année après la catastrophe qu'au cours de la période précédente.

Après l'accident, la leucémie de l'enfant dans la région de Tula dépasse significativement les taux moyens enregistrés en Russie, particulièrement chez les enfants âgés de 10 à 14 ans. A Lipetsk, les cas de leucémie se multiplient par 4,5 fois entre 1989 et 1995. Certaines données suggèrent même une augmentation du risque de leucémie pour les enfants irradiés dans le ventre de leur mère.

AUTRES CANCERS

Une augmentation du cancer des voies respiratoires chez les femmes est observée dans la plupart des zones contaminées de la région de Kaluga. Depuis 1995, on détecte également des cancers en surnombre dans les zones du sud-ouest de cette région : des cancers de l'estomac, des poumons, du sein, du rectum, du côlon, de la thyroïde, de la moelle osseuse et du système lymphatique. Dans la région de Tula, des taux anormalement élevés du cancer des os et du système nerveux central peuvent être détectés chez les enfants au cours de la période 1990-1994.

Dans la plupart des territoires contaminés, l'incidence du cancer du sein est restée sensiblement stable en Ukraine, et plutôt inférieure à celle des régions voisines, durant la période 1980-1994. Pourtant, depuis 1992, cette incidence commence à s'élever dans les territoires contaminés. Des augmentations significatives de l'incidence du cancer de la vessie sont aussi observées ces dernières années dans les territoires contaminés de l'Ukraine.

LES MALADIES NON-CANCEREUSES

Les changements identifiés dans l'incidence des maladies cancéreuses répertoriées dans les études sur les populations irradiées par l'accident de Tchernobyl ne sont qu'un seul aspect de la série des effets sanitaires rapportés. En effet, on enregistre par ailleurs des augmentations significatives des maladies non cancéreuses parmi les populations exposées, bien que – et en dépit de l'échelle d'irradiation – très peu d'études puissent être retenues comme valables.

Malgré les difficultés à déduire des relations de cause à effet absolue et la relative rareté des données concernant l'impact substantiel et international du nuage de Tchernobyl, les différents rapports suffisent à établir clairement que la morbidité et la mortalité, quand elles sont uniquement basées sur les changements observés et projetés des taux de maladies cancéreuses parmi ces populations, peuvent considérablement sous estimer le large spectre et l'échelle des conséquences sur la santé humaine.

SYSTEME RESPIRATOIRE

L'exposition du système respiratoire des humains aux matières radioactives libérées lors de l'accident de Tchernobyl s'est faite par deux voies principales. Dans les premières phases de libération de la radioactivité, les aérosols solides de tailles variées et de «particules chaudes» liquides liées aux radionucléides sous forme

gazeuse ont emprunté la voie de l'inhalation. En conséquence, l'irradiation externe par les matières en suspension apparaît être la voie la plus significative de l'exposition du système respiratoire.

Parmi les évacués de la zone examinée des 30 km au Bélarus, le nombre des cas de morbidité respiratoire est sensiblement multiplié par deux. Une telle morbidité compte pour environ un tiers des problèmes observés chez les évacués et chez les adultes et enfants qui continuent à vivre dans les territoires contaminés. Chez les enfants, les problèmes respiratoires comptent pour les deux tiers de la morbidité enregistrée. En Russie, une corrélation positive est constatée entre les problèmes respiratoires du nouveau-né et les niveaux de pollution radioactive relevés dans les localités en question.

Les statistiques du Ministère ukrainien de la Santé font état d'un accroissement du nombre des cas de bronchite chronique non spécifiée et d'emphysème, passant d'environ 300 pour une population de 10 000 en 1990 à plus de 500 pour une population de 10 000 adultes et adolescents en 2004. Durant cette même période, la morbidité de l'asthme bronchial a pratiquement doublé, pour atteindre 55,4 cas dans une population de 10 000.

Les études les plus complètes apparaissent être celles qui ont été faites sur les liquidateurs impliqués dans la sécurisation et le nettoyage du site après l'accident. Dans ce groupe, la maladie pulmonaire obstructive chronique, dans sa forme de bronchite chronique obstructive et d'asthme bronchial, est reconnue comme cause suffisante pour la mortalité, la morbidité et l'invalidité. Dans ces cas-là, les études de suivi ont permis de relier les observations sanitaires générales aux profils reconstitués des doses d'irradiation. Ceci permet d'éclairer par une documentation détaillée la progression des problèmes rapportés. Ce groupe constitue un exemple relativement rare d'une fraction de la population touchée par les fuites radioactives, qui a été suivie de manière précise.

SYSTEME DIGESTIF

Il est évident que les dysfonctionnements du système digestif sont plus fréquents chez les individus qui ont été exposés aux radiations de Tchernobyl. Il ressort d'un contrôle en 1995 que la morbidité liée à ces dysfonctionnements est 1,8 fois supérieure parmi les évacués du Bélarus et les habitants des territoires contaminés que dans la totalité de la population biélorussienne. Entre 1991 et 1996, l'incidence de l'ulcère peptique connaît une hausse de presque 10% dans la population du pays.

En Ukraine, on trouve davantage d'études d'ensemble. Sur la période 1988-1999, on assiste à un doublement de la morbidité du système digestif parmi la population demeurant dans les zones contaminées. Ces problèmes du système digestif enregistrés auprès des adultes évacués de la ville de Pripjat et dans la zone des 30 km sont plus fréquents que pour le reste de la population. Les indices de morbidité du système digestif sont plus élevés chez les personnes vivant dans les zones de contrôle strict de la radioactivité que dans la population ukrainienne globale. C'est également le cas pour les enfants dont le nombre des maladies du système digestif double entre 1988 et 1999 jusqu'à atteindre 10,1 pour 10 000, avec une tendance très nette à la pathologie des organes digestifs, observée aussi chez le fœtus *in utero*. Là encore, l'incidence double. Les dysfonctionnements du système digestif sont reconnus comme cause majeure des problèmes de santé chez les enfants vivant dans les territoires contaminés.

SYSTEME VASCULAIRE

L'exposition à la pollution radioactive de Tchernobyl est liée non seulement aux maladies malignes du sang et de la lymphe, mais aussi aux pathologies non malignes du système vasculaire, dont le diagnostic s'établit facilement, en portant une attention particulière sur ces systèmes organiques en relation avec leur sensibilité aux maladies malignes.

Au Bélarus, dix ans après l'accident de Tchernobyl, les maladies du sang se développent, surtout dans les zones contaminées. On enregistre un nombre anormal de cellules blanches dans les sous-groupes de la population vivant dans les territoires pollués par les retombées radioactives de Tchernobyl.

Il apparaît que c'est en Ukraine qu'ont été menées les études les plus extensives et les plus holistiques. L'athérosclérose précoce généralisée et la maladie coronarienne affectent davantage les évacués de la zone des 30 km et les habitants des zones polluées par les radionucléides que l'ensemble de la population. Dans les territoires contaminés, la morbidité du système sanguin sur la période 1988-1999 est multipliée par un facteur de 10 à 15.

Dans une étude transfrontalière relativement exceptionnelle, les accidents hémorragiques et l'ictère congénital du nouveau-né sont contrôlés en divers lieux exposés aux radiations de Tchernobyl, au Bélarus, en Ukraine et dans la Fédération de Russie. Ils apparaissent respectivement 4,0 et 2,9 fois plus fréquemment que dans les zones non-contaminées.

SYSTEMES MUSCULO-SQUELETTIQUE ET CUTANE

Les données spécifiques sur les réactions des systèmes musculo-squelettique et cutané à l'irradiation consécutive à l'accident de Tchernobyl sont relativement rares. Ceci est sans doute dû en partie au fait que ces systèmes organiques ne sont pas considérés en eux-mêmes comme des systèmes vulnérables critiques. Néanmoins, il ressort des données enregistrées dans des zones contaminées du Bélarus et de l'Ukraine que les maladies affectant les muscles et le squelette augmentent de façon remarquable. Des examens du squelette chez le fœtus révèlent également l'incorporation du ¹³⁷Cs dans les os et une occurrence d'anormalités plus grande que celle attendue. Une étude transfrontalière sur la santé néonatale menée dans différents territoires contaminés permet de dégager une tendance croissante des déficiences dans le développement musculo-squelettique.

ETAT HORMONAL ET ENDOCRINIEN

En 1993, plus de 40% des enfants contrôlés dans la région de Gomel au Bélarus ont des glandes thyroïdes hypertrophiées alors qu'en Ukraine, ce dommage concerne 35,7% des 3 019 adolescents observés dans les régions de Vinnitsk et de Zhytomyr, âgés de 6-8 ans au moment de l'accident. Dans cette étude, on observe une réaction fonctionnelle primaire de la glande thyroïde en 1986-1987 subséquent à l'accident, suivie d'une thyroïdite auto-immune chronique (1990-1992) et d'une réalisation clinique de la maladie en 1992-1993. Parmi ces enfants, 32,6% développent une pathologie évidente de la glande thyroïde, à comparer aux 15,4% du groupe de contrôle.

La morbidité – due à la maladie du système endocrinien comme aux dysfonctionnements à la fois nutritionnel, métabolique et immunitaire – enregistrée parmi les évacués de la zone d'exclusion aussi bien que dans la population des territoires contaminés, est plus de deux fois supérieure à celle de l'ensemble de la population du Bélarus. En 1995, le nombre de cas pour 100 000 est de 2 317 (évacués) et de 1 272 (population de la zone contaminée), à comparer à la moyenne nationale de 583.

L'occurrence des maladies du système endocrinien chez les enfants vivant dans les zones contaminées par Tchernobyl dans la région de Tula en Russie est multipliée par cinq dès 2002, par rapport à la période précédant l'accident. La morbidité parmi la population adulte habitant les territoires hautement contaminés du Sud-Ouest dans la région de Bryansk est 2,6 fois supérieure à la moyenne régionale. Il semble que les individus en zones contaminées aient généralement réagi par une augmentation de l'activité du système endocrinien, qui ne s'est stabilisée que 5-6 ans après le départ de ces zones. Des perturbations généralisées de la production et de l'équilibre des hormones sexuelles sont décrites dans les zones russes polluées par la radioactivité de Tchernobyl, alors qu'est constaté de façon persistante un niveau élevé des maladies

endocriniennes auto-immunes – hydroadénite auto-immune, thyrotoxicose et diabète – depuis 1992 dans les territoires contaminés ukrainiens. Enfin, la pathologie du système endocrinien est une conséquence significative de la plus haute importance, observée chez ces populations exposées à la radioactivité de Tchernobyl. Etant donné l'importance du système endocrinien dans la modulation de toutes les fonctions physiologiques, il n'est pas étonnant que d'autres dysfonctionnements soient également observés.

ANORMALITES DE LA FONCTION IMMUNITAIRE

Le système immunitaire est modulé par la fonction endocrinienne. Pour cette raison, on peut s'attendre à des anomalies du système immunitaire en cas de perturbations du système endocrinien. Mais les rayonnements ionisants peuvent affecter directement les composants du système immunitaire. Au Bélarus, une étude de l'état du système de 4 000 hommes ayant été exposés à de petites doses de radiations – mais à long terme – montre que l'irradiation chronique conduit à la perte de la capacité du système immunitaire à résister au développement des maladies infectieuses et non infectieuses. Des contrôles de l'immunité cellulaire et humorale effectués dans la région de Gomel révèlent que les modifications immunitaires développées chez les enfants chroniquement exposés à la radioactivité dépendent des radionucléides en question : on trouve des effets différents pour des expositions à des niveaux radiologiquement équivalents, selon qu'il s'agit de strontium, de césium ou d'autres radionucléides.

La déficience immunitaire se manifeste par la réduction du nombre de leucocytes, par l'activité des T-lymphocytes et des cellules tueuses, ainsi que par la thrombocytopenie et les différentes formes de l'anémie, comme on a pu l'observer dans les territoires russes affectés par Tchernobyl. Dès 2002, la fréquence des conséquences sur le métabolisme et le système immunitaire des enfants des zones contaminées par les retombées de Tchernobyl dans la région de Tula est multipliée par cinq, par rapport au niveau enregistré avant l'accident.

En Ukraine, les modifications les plus défavorables sont observées chez les enfants présentant *in utero* de hautes doses d'irradiation de la thyroïde (plus de 200 cGy). Parmi ces enfants, 43,5% développent une déficience immunitaire, à comparer aux 28,0% du groupe de contrôle.

MALADIES INFECTIEUSES

L'interférence avec le système immunitaire peut avoir des répercussions sur l'occurrence et la sévérité des maladies infectieuses dans une population élargie. Certaines statistiques rassemblées après l'accident donnent à penser que les populations exposées aux radiations sont plus vulnérables à la maladie. On constate 2,9 fois plus d'infections congénitales qu'avant l'accident chez les nouveau-nés de mères venant des zones contaminées du district de Polesky dans la région de Kiev (jusqu'à 20-60 Ci/km², du district de Tchetchersky dans la région de Gomel (5-70 Ci/km²), des districts de Mtsensky et Volkhovsky dans la région d'Orel (respectivement : 1-5 Ci/km² et 10-15 Ci/km²).

Entre 1993 et 1997, on découvre une plus grande fréquence des virus de l'hépatite B et C, ainsi que des virus D et G, chez 2 814 adultes et adolescents souffrant de l'irradiation de Tchernobyl, dans la région de Vitebsk en Russie. Ceci peut conduire en définitive à une mortalité accrue, due à la cirrhose et au cancer primaire du foie. Plus de 6-7 ans après l'accident, l'incidence de l'hépatite virale dans les zones hautement contaminées des régions de Gomel et de Mogilev est deux fois supérieure à la moyenne du Bélarus. Ailleurs en Russie, des infections par des cryptosporidies sont en augmentation dans la région de Bryansk. Les enfants dans les zones contaminées sont plus fréquemment touchés par la pneumocystose (56.3% à comparer aux 30% du groupe de référence).

ANOMALIES GENETIQUES ET ABERRATIONS CHROMOSOMIQUES

Les fréquences d'aberrations chromosomiques dans les zones contaminées par les retombées de Tchernobyl en Ukraine, au Bélarus et en Russie sont remarquablement plus élevées que la moyenne globale. Dans les zones en question, la fréquence de cellules anormales et d'aberrations chromosomiques pour 100 lymphocytes est jusqu'à trois fois supérieure à la moyenne globale. En Russie, la fréquence des aberrations chromosomiques augmente de deux à quatre fois chez les habitants des territoires présentant des niveaux de contaminations supérieurs à 3 Ci/km², tandis que l'étude d'un groupe de résidents ukrainiens avant et après l'accident de Tchernobyl révèle un accroissement par six de la fréquence des modifications chromosomiques induites par l'irradiation, un phénomène qui semble s'être transmis à leurs enfants. Des aberrations chromosomiques imputables à Tchernobyl sont enregistrées dans des pays aussi éloignés de l'accident que l'Autriche, l'Allemagne et la Norvège.

L'accroissement des fréquences de mutations chromosomiques est souvent corrélative à une incidence accrue de la variété des maladies. Par exemple, les aberrations chromosomiques accrues des lymphocytes se trouvent coïncider avec les niveaux de challenge psychopathologique et d'immunosuppression secondaire diagnostiqués chez 88% des liquidateurs contrôlés.

SYSTEME URO-GENITAL ET REPRODUCTEUR

Pendant la période 1988-1999, le nombre des maladies du système uro-génital a plus que doublé chez les populations demeurant dans les territoires les plus contaminés d'Ukraine. Les rapports font état d'un accroissement multiplié par trois des maladies inflammatoires internes, des perturbations du cycle menstruel et des tumeurs bénignes de l'ovaire parmi les femmes irradiées. Dans d'autres régions contaminées, la stérilité et l'impuissance masculine sont devenues plus fréquentes depuis l'accident. Des modifications structurelles des canalicules séminifères et des perturbations de la production séminale sont enregistrées chez les trois quarts des hommes contrôlés dans la région de Kaluga en Russie.

Plus de 8-10 ans après l'accident, la menace d'interruption de grossesse devient plus fréquente chez les évacuées de la zone des 30 km et chez les résidentes des territoires contaminés. Dans les groupes fortement irradiés en Ukraine, plus de la moitié des femmes enceintes souffrent de complications de la grossesse (comprendant : pré-éclampsie, anémie, anomalie fœto-placentaire), alors que dans le groupe de contrôle, les complications sont limitées à 10% des cas. De même, le risque d'inhibition du développement fœtal est observé chez 35% des femmes du groupe à risque d'irradiation, soit trois fois plus que dans l'ensemble de la population; et les naissances présentent des complications dans plus des trois-quarts des cas dans le groupe à risque d'irradiation, soit deux fois plus que dans le groupe de contrôle. L'accumulation de radionucléides dans le placenta des femmes vivant dans les zones les plus contaminées est à relier aux nombreux indicateurs de développement placentaire pauvre et de la réduction pondérale consécutive du nouveau-né.

Ces conséquences ne sont vraisemblablement pas à limiter à la Russie, au Bélarus et à l'Ukraine. A travers l'Europe de l'ouest et la Scandinavie (comprendant la Grèce, la Hongrie, la Pologne, la Suède, la Norvège, la Finlande et l'Allemagne), des études identifient l'exposition aux radiations de Tchernobyl *in utero* comme facteur ayant pu contribuer aux avortements spontanés, aux nouveau-nés de faible poids, et à leurs chances de survie réduites.

VIEILLISSEMENT PRECOCE

L'âge biologique apparent des personnes vivant en Ukraine dans des zones contaminées par des radiations connues augmente de façon disproportionnée au cours des années suivant l'accident, excédant le calendrier de 7 à 9 années. Une étude portant sur 306 liquidateurs évalue cette différence entre l'âge civil et l'âge biologique à 5-11 années. Dans la plupart des territoires contaminés du Bélarus, l'âge moyen de décès par crise cardiaque est de 8 années inférieur à celui concernant l'ensemble de la population.

ORGANES SENSORIELS

Dans les zones contaminées autour de Tchernobyl, les maladies oculaires comme la cataracte (y compris chez le nouveau-né), et d'autres problèmes se manifestent selon une fréquence plus grande que dans les régions voisines plus propres. Bien que les plus grands risques apparaissent avec les irradiations les plus fortes, il n'y a pas de seuil de dose de radiation connu au-dessous duquel le risque de cataracte n'est pas accru. De même, d'autres problèmes ophtalmiques comme la dégradation de la rétine, qui surviennent naturellement à un certain degré dans toute population, sont enregistrés avec une fréquence accrue parmi les populations irradiées.

TROUBLES NEUROLOGIQUES ET PSYCHOLOGIQUES

Des rayonnements ionisants relativement bas peuvent même entraîner des dommages notoires dans les systèmes nerveux central et périphérique. Assumer l'étendue du dommage neurologique provoqué par la libération des radionucléides de Tchernobyl est donc une tâche très difficile. Pourtant, chez les liquidateurs de Russie, par exemple, les maladies neurologiques constituent le second groupe le plus répertorié, avec 18% de la morbidité générale. Les troubles neurologiques et psychiatriques parmi les adultes dans les territoires irradiés au Bélarus sont considérablement plus fréquents que la normale (31,2% comparés à 18,0%). L'augmentation des troubles mentaux et nerveux est aussi constatée chez les enfants de certaines zones contaminées au Bélarus, ainsi que la baisse du QI, bien que le lien avec les mesures directes de la radioactivité ne soit pas toujours clairement établi.

CONCLUSIONS

En clair, le corpus de l'étude d'impact de la radioactivité libérée par l'accident de Tchernobyl sur la santé humaine est très complexe et diversifié, mais hautement significatif. Beaucoup de caractéristiques concernant l'accident et ses conséquences - telles que l'incertitude relative aux quantités de radionucléides libérées, l'inégale répartition de la radioactivité, les effets concomitants et séquentiels des expositions aux multiples radio-isotopes, de même que les moyens limités accordés au contrôle médical, au diagnostic, à la prévision et au traitement des maladies - contribuent à en faire quelque chose d'unique, pour lequel les standards et les méthodes jusqu'alors en vigueur sont désormais inapplicables. En conséquence, il semble que l'évaluation complète des conséquences de l'accident de Tchernobyl sur la santé humaine demeure une tâche pratiquement impossible, et telle que l'étendue véritable de la morbidité et de la mortalité qui en résultent ne puisse jamais être totalement évaluée. Cependant, le registre des impacts sanitaires ainsi décrits, lié à la variété des moyens employés à leur détection et à leur quantification, souligne le besoin d'une évaluation appropriée pour analyser toutes les données utilisables et traduire la diversité des conséquences à la fois létales et non-létales. Toute description qui cherche à présenter les conséquences sur la base d'une estimation simple et «facile à comprendre» de l'augmentation des décès par cancer (comme le chiffre de 4 000 annoncé en 2005 par des organismes comme l'AIEA) se réduit donc à une simplification grossière de l'étendue de la souffrance humaine éprouvée. En outre, une grande partie de la démonstration avancée dans le présent rapport indique que de tels chiffres peuvent aussi sous-estimer l'échelle des impacts, comme on l'a précisé précédemment. Beaucoup d'incertitudes demeurent. Plus particulièrement, il y a encore très peu d'estimations des mortalités non cancéreuses attribuées à Tchernobyl, alors que les longues périodes de latence pour le développement des cancers (en certains cas, supérieures à 40 années) signifient inévitablement que de nouveaux cas se manifesteront à l'avenir. Les impacts sur la santé des enfants sont évidents et perdureront pendant toute leur vie, et éventuellement celle de leurs propres enfants. Les vides substantiels dans les données exploitables, liés à certaines divergences entre les estimations des incidences et les augmentations de certains cancers et autres maladies, empêchent la validation de toute évaluation simple, solide et vérifiable sur l'ensemble des conséquences sur la santé humaine, et laissent des questions fondamentales sans réponse.

Néanmoins, on peut dégager deux conclusions.

Premièrement, il est vital qu'un corpus de données bien plus vaste, incluant celles présentées dans ce rapport, soit pris en considération par la communauté internationale pour conclure à l'échelle et à l'étendue de l'impact sur la santé humaine. En particulier, les raisons des grandes divergences entre les estimations les plus élevées et celles acceptées par l'AIEA et l'OMS doivent être recherchées de toute urgence.

Deuxièmement, en l'absence d'une approche internationale coordonnée de façon appropriée pour contrôler les incidences et les tendances de la morbidité cancéreuse et non-cancéreuse dans la région touchée, et avec une attention particulière pour les populations fortement contaminées en Ukraine, au Bélarus et dans la Fédération de Russie, on aura laissé échapper une gigantesque (et unique, espérons-le !) occasion de prendre pleinement connaissance des conséquences à long terme d'un tel désastre. En termes de compréhension holistique des implications d'un accident nucléaire de grande ampleur sur la santé humaine, il semble que nous en soyons plus loin que là où nous en étions avant l'explosion de Tchernobyl, 20 ans auparavant. Il est donc vital de continuer, et même d'accroître les efforts de recherche en ce domaine. Loin d'être le moment convenable pour tirer de fermes conclusions de l'événement et penser à autre chose, ce vingtième anniversaire devrait donner le signal du redoublement d'efforts internationaux pour identifier et contrôler les effets à long terme et, autant que possible, soulager la souffrance des millions d'individus encore affectés. L'accident de Tchernobyl, bien qu'ayant certains aspects en commun avec d'autres événements catastrophiques planétaires, est jusqu'à présent unique. Nous ne pouvons qu'espérer qu'il le reste. Cette génération en a vu le commencement, mais il est improbable que nous en voyions la fin.

1. LES CONSEQUENCES DE LA CATASTROPHE DE TCHERNOBYL SUR LA SANTE HUMAINE

1.1. RISQUES GENERAUX ASSOCIES A L'INDUSTRIE NUCLEAIRE

La documentation abonde depuis plus d'un demi-siècle, sur les effets sanitaires et environnementaux du cycle du combustible nucléaire, de l'extraction du minerai à l'entrepôt des déchets. A cause de la capacité des rayonnements ionisants, depuis longtemps reconnue, à provoquer différents types de cancers, beaucoup d'études sur les effets sanitaires se concentrent sur ces groupes de maladies. Mais, de surcroît, des effets non-cancéreux dus à une irradiation aigüe sont identifiés (comme les brûlures et la maladie des rayons), de même que l'incidence génétique sur les enfants des travailleurs du secteur industriel, qu'on pense pouvoir attribuer à une irradiation chronique.

Dans le processus de conversion et d'enrichissement du combustible, les agents chimiques sont largement utilisés. Certains d'entre eux, les acides par exemple, peuvent aussi produire des réactions d'intolérance cutanée et respiratoire. Le broyage du minerai d'uranium implique des expositions respiratoires aux poussières et aux métaux lourds toxiques, aussi bien qu'aux produits radioactifs dérivés du minerai en décomposition. Et si, dans l'opération de broyage du minerai en fines particules, on utilise un acide pour le lessivage, les employés sont alors également exposés à un risque accru du syndrome de dysfonction réactive des bronches (RADS), une maladie due à l'inhalation de vapeurs d'acide. Un risque professionnel significatif de cancer du poumon a été identifié très tôt dans l'histoire industrielle de l'extraction et du traitement de l'uranium. Il est lié à l'exposition accrue aux rayonnements alpha du radon inhalé par les ouvriers (BEIR VI 1999).

Les transports du combustible radioactif, les opérations autour du réacteur et la gestion des déchets sont à l'origine de nombreux accidents et deversements de combustible qui peuvent exposer les ouvriers et les résidents du voisinage aux radiations. A la centrale nucléaire, les ouvriers sont examinés et contrôlés pour toute exposition potentielle aux radiations dans les opérations de routine, les accidents imprévus, les fuites et les versements de combustible. Des études sur les ouvriers travaillant dans les centrales nucléaires sont régulièrement faites et consignées dans de nombreux rapports au Royaume-Uni, au Canada, aux Etats-Unis, en France et dans d'autres pays (Cardis *et al.* 2005, BEIR VII 2005). De même, quelques études sur les populations près des installations nucléaires montrent une augmentation de la leucémie, particulièrement chez les enfants et les jeunes adultes (Beral *et al.* 1993). Mais ces résultats enregistrés concernant l'ensemble de la population sont contestés, principalement à cause du manque de mesures de dose individuelle d'irradiation. En revanche, les données épidémiologiques rapportées à partir des effets observés chez les employés des centrales nucléaires sont sans nul doute suffisantes, qui indiquent chez ceux-ci une augmentation de la mortalité due à la leucémie et aux autres cancers.

L'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl en 1986 replace l'industrie en tant que telle dans le contexte général des problèmes sanitaires liés au nucléaire. Les quantités de radioactivité rejetées au cours de l'accident sont sans précédent, comme l'ont été les expositions humaines – à court terme et à long terme – aux matériaux radioactifs libérés. Les effets en ont été dispersés, mais très profondément en Ukraine, au Bélarus et en Russie où la contamination est la plus forte. Cependant, les pays voisins, généralement de l'Europe centrale et de l'hémisphère Nord, enregistrent eux aussi des impacts radiologiques significatifs. Dans l'accident de Tchernobyl, la matière radioactive a été libérée par une puissante explosion qui a transporté les débris dans la couche supérieure de l'atmosphère supérieure sur des centaines et des milliers de kilomètres. Enfants et adultes de l'ensemble de la population ont été exposés à l'iode radioactif et aux produits de fission mixtes, à la fois directement à travers les retombées, et indirectement à travers la chaîne alimentaire. La contamination de l'environnement persiste encore à l'heure actuelle et il n'y a pas de raison d'en voir la fin. De vastes zones autour de la centrale détruite demeurent inhabitables à cause de cette contamination radioactive.

Il est prouvé que les impacts humains (et plus largement écologiques) de l'accident de Tchernobyl sont à la fois à court et à long terme. Des impacts sanitaires significatifs ont été aussitôt identifiés, mais par la suite, les impacts à plus long terme se sont révélés d'eux-mêmes. Ce rapport, basé sur le travail d'un nombre de scientifiques et engageant le travail publié dans la littérature académique, décrit les impacts sanitaires de l'accident de Tchernobyl.

1.2. VUE D'ENSEMBLE : MORBIDITE, MORTALITE ET PROBLEMES SANITAIRES

L'impact général de l'accident de Tchernobyl dépasse à lui seul l'impact de tout autre accident, aussi bien de l'industrie nucléaire que de l'industrie en général. Des milliards de dollars ont été dépensés ces 20 dernières années dans les pays les plus touchés par la contamination radioactive, qui sont en définitive l'Ukraine, le Bélarus et la Russie. Quelque 350 000 personnes, des zones les plus contaminées, ont été relogées. Néanmoins, un excédent de cinq millions de personnes résident toujours dans ces zones contaminées ; et en dehors de ces zones, plusieurs millions d'autres personnes restent exposées à des niveaux plus faibles de radioactivité rejetée lors de l'accident. Les impacts sanitaires de ces irradiations sont évalués et calculés par diverses équipes de recherche. Ces études produisent un large spectre de chiffres et une diversité d'opinions concernant la vérité des impacts de l'accident sur la santé humaine.

L'étude de l'impact humain de Tchernobyl, à court et à moyen terme, dénombre trente morts ou plus parmi les ouvriers de la centrale immédiatement après l'explosion, plusieurs milliers de cas de cancers de la thyroïde, en premier lieu chez les enfants en Ukraine et au Bélarus, ainsi qu'une variété de conséquences sanitaires cancéreuses et non-cancéreuses, dans le groupe des liquidateurs qui ont travaillé dans l'urgence et parmi la population résidant dans d'autres territoires.

Les premières prédictions officielles des conséquences sanitaires de l'explosion du réacteur de la 4^{ème} tranche de la centrale de Tchernobyl le 26 avril 1986 ont été écartées. Elles prédisaient seulement quelques cas de cancers supplémentaires. Vingt ans après l'accident, il est maintenant clair que les impacts possibles s'étendent à travers tout l'hémisphère Nord et pourraient affecter plusieurs millions d'individus. Selon Yablokov (2006), les groupes de population les plus vulnérables sont :

- 1) Les 100 000 résidents et plus, évacués en 1986 des zones contaminées du Bélarus, de la Russie et de l'Ukraine.
- 2) Ceux qui ont reçu des doses significatives de radiation dans les premiers jours et semaines après l'accident, y compris les gens vivant dans les territoires avec des niveaux de contamination radioactive de plus de 1 Ci/km² (jusqu'à 3,2 millions en Ukraine, jusqu'à 2,4 millions en Russie, jusqu'à 2,6 millions au Bélarus, et 0,5-0,8 million en Suède, Norvège, Bulgarie, Roumanie, Autriche, Allemagne du Sud et dans d'autres pays Européens).
- 3) Les liquidateurs (les personnes impliquées dans la limitation/contrôle du dommage et le nettoyage, à la centrale et dans les territoires contaminés). Le nombre en est estimé à environ 740 000 personnes venues de l'Ukraine, de la Russie et du Bélarus, auquel il faut ajouter 80 000 à 90 000 de Moldavie, des Etats Baltes, du Caucase, et de l'Asie centrale.
- 4) Les enfants dont les parents appartiennent à ces trois premiers groupes, et estimés à environ 2 millions à ce jour.
- 5) Les populations de l'ex-Union Soviétique, mais également de la Suède, de la Norvège, du Royaume-Uni et d'un certain nombre d'autres pays d'Europe – de l'ordre de plusieurs centaines de mille individus, qui ont consommé et continuent de consommer des aliments contaminés par cet accident nucléaire.

- 6) Les populations vivant dans toutes les zones ayant subi les retombées de l'accident de Tchernobyl. Ce nombre est difficile à estimer, mais totalise plusieurs centaines de millions d'individus en Europe, en Amérique du Nord et en Asie.

Le rassemblement des données concernant les impacts de l'accident a été considérablement empêché par le couvercle du secret officiel posé sur l'événement, et qui a persisté jusqu'en mai 1989. De plus, pendant les trois premières années qui ont suivi l'accident, il est apparu que les autorités avaient falsifié les données médicales, corrompant définitivement la banque de données. Ceci s'accompagnait d'une absence de statistiques médicales authentiques dans l'ex-Union Soviétique. En conséquence, les premiers effets épidémiologiques de l'accident ne seront probablement pas clarifiés. Les incertitudes s'étendent à l'inventaire des matières radioactives émises par le réacteur endommagé. Les données officielles du Soviet suprême reconnaissent jusqu'à 50 millions Ci, alors qu'un bilan récent (Fairlie & Sumner, 2006) avance un chiffre plusieurs fois supérieur à celui-ci. Pourtant, même si la manipulation de données appartient au passé, on peut douter de la suffisance des moyens accordés par les agences nationales et internationales pour évaluer toutes les conséquences sanitaires, étant donné la dimension sans précédent prise par les événements survenus à Tchernobyl. Il y a pourtant un besoin vital de poursuivre le contrôle des impacts sanitaires à plus long terme, à mesure que ceux-ci se manifestent dans les populations exposées, et d'essayer de dénouer les diverses relations causales impliquées dans la détérioration de l'état sanitaire.

Malgré le grand nombre de gens exposés aux radiations dues à l'accident, il existe un nombre d'autres circonstances qui augmentent la difficulté à identifier les relations causales et à les confronter aux banques de données concernant les niveaux de radiation et les impacts sanitaires en résultant. Certaines d'entre elles sont exposées en détail dans un récent bilan (Yablokov, 2006) et comprennent :

- 1) La répartition très irrégulière des retombées radioactives sur les zones affectées;
- 2) La méconnaissance du comportement et de l'impact de différents radionucléides à demi-vie brève, dans la courte période qui a suivi le nuage (^{133}J , ^{135}J , ^{132}Te , entre autres);
- 3) La méconnaissance des effets et du devenir des «particules chaudes»;
- 4) La complexité environnementale de la radiochimie et de la radiobiologie du mélange des radionucléides rejetés par l'explosion;
- 5) La méconnaissance des impacts radiologiques spécifiques différés des différents isotopes dans des conditions de densité de radiation identiques;
- 6) La distribution mal définie des doses d'irradiation interne et externe dans les zones affectées.

Tous ces facteurs concourent à sous-estimer la validité des doses d'irradiation reconstituées et des taux de doses, et en retour, compromettent les possibilités d'établir solidement et précisément les corrélations entre doses-réponses et effets sanitaires particuliers. Les difficultés à caractériser et résoudre ces questions conduisent à la formule classique «absence de preuve de l'impact», largement interprétée comme «preuve de l'absence d'impact». Ceci est à relever, par exemple, dans le rapport du «Groupe d'Experts de la Santé» au Forum de Tchernobyl 2005. L'importance de la radiation émise pour la santé humaine est considérablement minimisée et repose pour beaucoup sur une lacune de la «preuve» scientifique des impacts sur la santé humaine.

On peut néanmoins donner un aperçu remarquable des véritables impacts de l'événement de Tchernobyl sur la santé publique, en rassemblant les données existantes comparatives entre les groupes de population dans la période postérieure à l'accident et les groupes de population de conditions socio-économique et géographique similaires, mais soumis à des niveaux d'irradiation différents. Mais surtout, il apparaît que depuis 1986, dans les anciens territoires de l'Union Soviétique, l'espérance de vie a considérablement réduit,

avec des augmentations de la mortalité infantile et des taux de mortalité dans les tranches d'âges supérieurs. Ainsi, alors qu'il n'y a aucune preuve que ces observations générales soient liées à l'accident de Tchernobyl, l'analyse des données recueillies précisément sur les territoires contaminés par l'accident révèle des liens entre l'accident et la détérioration de la santé.

Par exemple, plusieurs études montrent une augmentation de la mortalité dans les zones contaminées d'Ukraine, du Bélarus et de Russie, en comparaison avec les zones voisines (Voir: Grodzinsky, 1999; Omelyanets, *et al.* 2001; Kashirina, 2005; Sergeeva *et al.* 2005). Une augmentation du nombre de mortinaissances, visiblement liée aux niveaux de contamination, est enregistrée très tôt dans certaines zones d'Ukraine (Kulakov *et al.* 1993), du Bélarus (Golovko & Izhevsky, 1996). De même le nombre d'avortements déclarés, en forte augmentation dans les territoires contaminés de Russie. En Ukraine, une estimation porte à 50 000 et plus le nombre d'avortements et de mortinaissances liées à l'irradiation (Lipik, 2004). Et depuis 1987, on assiste à une augmentation de la mortalité chez les nouveau-nés et les enfants dans les zones polluées, en Ukraine (Omelyanets & Klementev, 2001) et en Russie (Utko *et al.* 2005). Ailleurs en Europe, certains pays attribuent l'augmentation de la mortalité périnatale à l'accident de Tchernobyl (Korblein 1997).

La mortalité par cancer est également suivie et enregistrée dans les zones contaminées par la radioactivité. Entre 1986 et 1998, le taux de mortalité par cancer augmente de 12% dans l'ensemble de l'Ukraine, et de 18% à 22% dans les zones contaminées et la population évacuée de ces zones à la suite de l'accident (Omelyanets *et al.* 2001; Golubchikov *et al.* 2001). Egalement en Ukraine, la mortalité masculine par cancer de la prostate est multipliée par un facteur de 1,3 dans l'ensemble du pays, et par un facteur de 1,5 à 2,2 dans les territoires contaminés.

L'incidence accrue des maladies cancéreuses et autres impacts graves liés à l'irradiation entraînera sans nul doute une augmentation de la mortalité dans les populations concernées. Mais la détermination précise d'un chiffre pour «l'incident de Tchernobyl» est empêchée par le manque de données empiriques et par une politisation manifeste et malsaine de l'accès à ces données, qui existent bel et bien.

Une des estimations les plus basses des morts supplémentaires par cancer dues aux rejets radioactifs est celle de 4 000 publiée par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (IAEA, 2005), connue pour sa posture en faveur de l'industrie nucléaire. Par contraste, d'autres estimations sur l'excès de la mortalité sont publiées, qui dépassent largement cette estimation. D'autres estimations (Anspaugh *et al.* 1988) prédisent un excès de 17 400 morts par cancer sur une période de 50 ans, avec 63% de celles-ci hors de l'ex-Union Soviétique, pour la plupart ailleurs en Europe. Un chiffre portant à 32 000 l'excès de morts dues à diverses causes est considéré comme plausible par un chercheur en épidémiologie (Scherbak 1996). Une étude plus récente (Mousseau *et al.* 2005), indique que l'accident entraînera un excès de 9 335 morts par cancer (à l'exclusion du cancer de la thyroïde) dans les 95 prochaines années.

Malgré les difficultés rencontrées, la reconstitution rétrospective des doses après l'accident a été tentée. Le calcul des doses d'irradiation individuelle et collective pour la population du Bélarus et tous les autres pays pollués par l'accident de Tchernobyl vient d'être publié (Malko 2006). A partir des données actuelles des statistiques sanitaires officielles du Bélarus et de ses propres estimations de l'exposition aux radiations dans les différentes régions du Bélarus, ce chercheur évalue les conséquences de l'accident de Tchernobyl à 31 400 cas supplémentaires de cancer de la thyroïde et à 28 000 de tumeurs solides autres que celui de la thyroïde, entre 1986 et 2056 au seul Bélarus (Tableau 1.2.1.). Cette évaluation prédit un excès de 93 080 morts par cancer liées à l'accident de Tchernobyl dans tous les pays touchés, soit dix fois plus que l'estimation de Mousseau *et al.* (2005).

Pathologie	Morbidity		Mortality	
	Bélarus	Tous les pays	Bélarus	Tous les pays
Cancer de la thyroïde	31 400	137 000	3 140	13 700
Autres cancers solides	28 300	123 000	16 400	71 340
Leucose	2 800	12 000	1 880	8 040
Total	62 500	270 000	21 420	93 080

Tableau 1.2.1. Estimations de la morbidité et de la mortalité causées par les cancers solides et la leucose résultant de l'accident de Tchernobyl, sur la période 1986-2056.

Population s affectées	Période estimée (en année)	Pathologie considérée	Mortalité	Nombre de victimes	Commentaires	Référence/ source
1, 5 (pour la Russie)	NE	Toutes	Max. 145	NE		Minatom 2002
1, 3, 4	NE	Cancers solides	4 000	NE	Conclusion en désaccord avec celle du Forum de Tchernobyl 2005, bien que la même méthodologie ait été employée	AIEA 2005
1, 3, 4, 5	95 10	Cancers solides, leucémie	9 335	NE	95 ans pour tous les cancers solides 10 ans pour la leucémie	Rapport du Groupe "Santé" du Forum de Tchernobyl 20056
6	95	Tous les cancers (sauf le cancer de la thyroïde)	9 335	NE		Mousseau <i>et al.</i> 2005
8	50	Toutes les pathologies	17 400	NE		Anspaugh <i>et al.</i> 1988
8	NE	Cancer et maladies non-cancéreuses	32 000	NE		Shcherbak 1996
8	70	Cancer de la thyroïde, autres cancers solides et leucose	93 080	46 000-150 000	Le nombre des morts est à doubler, mais l'incertitude peut être de 100%	Malko 2006

5	15	Toutes	210,000	Non applicable pour l'ensemble de la région. Pour la Russie: de 55,000 à 65,000 (95 %)	De 1990 à 2004, basé sur les données statistiques de Russie	Khudoley <i>et al.</i> 2006
8	NE	Tous les cancers	475 368	NE	Pour le groupe 6 : 212150, pour le groupe 7 : 244786	Goffman 1990
8	NE	Exposition aigüe aux radiations et tous cancers (excepté le cancer de la thyroïde)	NE	De 905 016 à 1 809 768		Bertell 2006
8	70	Tous les cancers	Jusqu'à 6 000 000	NE	Estimations basées sur un modèle de risque personnel, Bélarus – jusqu'à 25 000 par an	CERI, 2003

6 Les incertitudes dans l'estimation des doses peuvent être jusqu'à 5 fois plus élevées (si identifiables).

Tableau 1.2.2. Quelques estimations de la mortalité causée par la catastrophe de Tchernobyl.

Populations affectées: 1. Liquidateurs 1986-1987; 2. Autres liquidateurs; 3. Evacués; 4. Résidents des zones fortement contaminées; 5. Résidents d'autres zones contaminées en Ukraine, au Bélarus et en Russie; 6. Population de l'Ukraine, du Bélarus, de la Russie; 7. Population des pays autres que la Russie, l'Ukraine et le Bélarus; 8. Population globale.

*Notes: Pour les calculs, la latence des cancers solides n'a pas été prise en compte. Les incertitudes dans le facteur de risque sont aussi significatives, mais ne peuvent être résolues. Avec 95% de probabilité, les seuils les plus hauts et les plus bas du risque relatif attribué peuvent varier jusqu'à 60 fois (0,007–0,47) (Krestinina *et al.* 2005) ; avec 90% de probabilité, jusqu'à 6 fois (1,2–8,8). Il est également important de noter que les incertitudes dans les facteurs de risque et les estimations de doses collectives peuvent porter ces chiffres jusqu'à 260 000 morts.*

Les tendances de la mortalité générale peuvent être confortées par les chiffres du Bélarus (basés sur les données publiées sur le site internet officiel du Gouvernement du Bélarus <http://stat.med.by/>). Ceux-ci montrent que, sur la période de 1990 à 2004, la mortalité générale connaît une augmentation de 43%, passant de 6,5 à 9,3 pour 1 000 dans l'ensemble de la population. En chiffres absolus, ceci signifie qu'elle passe de 109 582 en 1990 à 140 084 en 2004, et la mortalité par cancer de 17 683 à 18 818. Durant la même période, le pourcentage de patients nouvellement diagnostiqués pour des tumeurs malignes en différents lieux passe de 0,26% à 0,38% (un accroissement de 46,2%), tandis que dans la région de Gomel, la région du Bélarus la plus contaminée par l'accident, ces diagnostics augmentent de 0,25% à 0,42% (un accroissement de 68%). Ces données n'illustrent qu'une part d'un grand nombre d'opinions scientifiques, et les estimations exprimées en réponse à la question de l'impact de Tchernobyl et de ses conséquences sur la santé humaine.

Les facteurs contribuant à de hauts degrés de spéculation et à l'incertitude générale comprennent:

- les divergences dans le calcul des masses de matières radioactives rejetées dans l'environnement, et l'exclusion des évaluations d'un nombre d'isotopes radioactifs (voir supra);

- les approches différentes dans la détermination des doses d'irradiation, avec ou sans prise en compte de l'irradiation interne de la thyroïde, des poumons, du tractus gastro-intestinal, de l'appareil uro-génital, des os et de la moelle osseuse, consécutive à l'accumulation sélective de certains radionucléides dans ces organes et/ou tissus ;
- l'absence d'un coefficient adéquat de l'effet-dose;
- la variation du nombre de personnes affectées «prises en compte» dans ces calculs. Par exemple, le nombre total des liquidateurs venus de différents pays est de 200 000 selon l'AIEA (Rapport 2005), alors que 305 639 liquidateurs sont officiellement recensés dans le Registre d'Etat de l'Ukraine (REU) en 2005 pour ce seul pays, que Shcherbak mentionne 400 000 liquidateurs (1996), et que Yablokov (2006) fait référence à plus de 800 000 individus;
- la non-prise en compte des pays pollués après l'accident de Tchernobyl, autres que le Bélarus, la Russie et l'Ukraine ; et ceci en dépit du fait que, selon De Cort & Tsaturov (1996), dix pays européens ont des zones contaminées à des niveaux de 1 à 5 Ci/km² par le ¹³⁷Cs de Tchernobyl: de la Suède et la Finlande au Nord, à l'Italie et la Grèce au Sud de l'Europe;
- l'exclusion de données présentant des maladies non-oncologiques, bien que de nombreux dossiers de recherche aient déjà prouvé l'existence de telles maladies, y compris les troubles cardiovasculaires, respiratoires, digestifs, nerveux et autres;
- le manque de personnel formé et/ou de matériel nécessaire au diagnostic médical après l'accident dans l'ex-Union Soviétique;
- les erreurs dans l'enregistrement des données épidémiologiques des pays post-soviétiques;
- l'incurie des banques de données statistiques essentielles dans ces pays.

Cette liste peut être complétée par d'autres points significatifs. Par exemple, étant donné que la période de latence pour les tumeurs solide peut dépasser 40 ans (Sinclair 1996), la courbe de morbidité et de mortalité oncologiques liées à Tchernobyl est loin d'être terminée. De plus, la démonstration expérimentale aussi bien que clinique, est faite que la combinaison de ces radiations avec d'autres facteurs nocifs (trauma, agents biologiques ou chimiques) augmente les effets de l'exposition aux radiations en question (Pellmar & Ledney 2005). Ceci souligne d'une part, la possibilité d'une situation où les faibles doses de radiation, agissant dans le contexte d'autres facteurs délétères tels que la pollution chimique (ou autres, tels que l'épuisement physique et le stress psychologique autour de Tchernobyl), peuvent produire des effets bien plus graves que l'irradiation seule. D'autre part, la multiplication des effets des agents de stress non-radiologiques par l'irradiation à Tchernobyl peut entraîner une forte hausse des taux de maladies non cancéreuses dans les populations affectées par l'accident. Il doit être mentionné ici que la morbidité et la mortalité de toute pathologie dépendent du niveau de soin sanitaire de tout pays, et pour cette raison, les projections faites à partir des référentiels de la médecine occidentale ne seraient pas appropriées à la réalité des pays post-soviétiques dont les niveaux de soins sanitaires sont généralement bas. De plus, les effets sanitaires de Tchernobyl ne sont en aucun cas limités aux maladies oncologiques. Les liens existant entre de nombreuses pathologies autres que le cancer et l'exposition aux radiations sont établis (Preston *et al.* 2003). En réalité, les victimes sanitaires de Tchernobyl souffrent de plus en plus de différentes maladies affectant les principaux systèmes physiologiques: cardiovasculaire, neurologique, hormonal et endocrinien, respiratoire, gastro-intestinal, immunitaire, etc. Il se peut que la mortalité due à des causes non cancéreuses, concernant la population exposée directement ou indirectement à Tchernobyl, soit beaucoup plus élevée que celle due au cancer lui-même. Le bilan funèbre de Tchernobyl est toujours considéré comme l'une des images les plus percutantes pour exprimer de ce qui ressort de l'incident et, en tant que tel, il fait encore l'objet de vigoureuses discussions scientifiques et politiques. Les estimations varient de l'ordre de quelques douzaines de morts (voir Tableau 1.2.2.) à des millions de morts supplémentaires dans le monde. Quoi qu'il en soit, il est largement reconnu que ni les données valables, ni la méthodologie épidémiologique en vigueur n'autorisent à des estimations holistiques consolidées de l'hécatombe causée par l'accident de Tchernobyl. La recherche existante, sans prendre en compte les chiffres les plus extrêmes, dresse un bilan de morts supplémentaires par cancer qui se situe entre 10 000 et 200 000. En fait, l'étude épidémiologique la plus récente (Khudoley *et al.*) indique que l'échelle des problèmes pourrait être beaucoup plus grande que celle prévue par les nombreuses études publiées à ce jour.

Par exemple, le rapport de l'AIEA 2005 prédit un excès de 4 000 morts du à l'accident de Tchernobyl. Mais les chiffres les plus récents donnent une estimation qui, seulement au Bélarus, en Russie et en Ukraine, porterait à 200 000 l'excès de morts causées entre 1990 et 2004 par la catastrophe.

RÉFÉRENCES

- Anspaugh L.R., Catlin R.J., Goldman M. (1988). The global impact of the Chernobyl reactor accident. *Science* 242:1514-1519.
- BEIR VI. Health Effects of Exposure to Indoor Radon. (1999). In: Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR) VI Report. National Academy Press, Washington, D.C.
- BEIR VII. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. (2005). In: Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR) VII- Phase 2 Report. National Academy Press, Washington, D.C.
- Beral V., Roman E, and Bobrow M, eds. (1993). Childhood Cancer and Nuclear Installations. London: BMJ Publishing Group.
- Bertell R. (2006). The Death Toll of the Chernobyl Accident. In: Busby C.C., Yablokov A.V. (Eds.). ECRR Chernobyl: 20 Years On. Health Effects of the Chernobyl Accident. Documents of the ECCR, N 1, Green Audit, Aberystwyth, pp. 245-248.
- Cardis E., Vrijheid M., Blettner M., Gilbert E., Hakama M., Hill C., et al. (2005). Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries. *Br Med J*; 331:77
- De Cort M. & Tsaturov Y. S. (eds). (1996). Atlas on caesium contamination of Europe after the Chernobyl nuclear plant accident, EC/CIS international scientific collaboration, EUR 16542 EN.
- ECRR (2003) 2003 Recommendations of European Commission on Radiation Risk, Green Audit Press. UK, ISBN 1-897761-24-4
- Fairlie I., Sumner D. (2006). The Other Report of Chernobyl (TORCH). Berlin, 91 pp. (http://www.greenpeace.org/cms/topics/dokbin/118/118499.the_other_report_on_chernobyl_torch@en.pdf).
- Gofman J. (1990). Radiation-Induced Cancer from Low-Dose Exposure: an Independent Analysis. ISBN 0-932682-89-8
- Golovko O.V., Izhevsky P.V. (1996). Studies of the reproductive behaviour in Russian and Belorussian populations, under impact of the Chernobyl' ionizing irradiation. *Rad. Biol., Radioecol.*, vol. 36, # 1, pp. 3-8 (en Russe).
- Golubchikov M.V., Michnenko Yu.A., Babynets A.T. (2002). Changes in the Ukrainian public health at post-Chernobyl period. 5 Annual Sci.-Pract. Conf.: "To XXI Century – with safety nuclear technologies", Slavutich, 12-14 January, 2001". Scientific and Technological Aspects of Chernobyl, N°4, pp. 579-581 (enUkrainien).
- Grodzinsky D.M. (1999). General situation of the Radiological Consequences of the Chernobyl Accident in Ukraine. In: Imanaka T. (Ed.) Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accadent in Belarus, Ukraine and Russia. Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-7), pp. 18-28.
- IAEA (2005). Chernobyl : The True Scale of the Accident
<http://www.iaea.org/NewsCenter/PressReleases/2005/prn200512.html>.
- Kashirina M.A. (2005). Social-ecological factors of public health in the radioactive polluted territories of Bryansk area. Inter. Sci.-Pract. Conf.: «Chernobyl - 20 years after. Social-economical problems and perspective for development of the impacted territories», Bryansk, Materials, pp. 166-167 (en Russe).
- Khudoley et al. (2006) Attempt of estimation of the consequences of Chernobyl Catastrophe for population living at the radiation-polluted territories of Russia. Publ: Centre of the Independent Environment Assessment of the Russia Academy of Sciences, Consequences of the Chernobyl Accident: Estimation and prognosis of additional mortality and cancer deseases. ISBN 5-94442-011-1.
- Krestinina L.Yu., Preston D.L., Ostroumova Ye.V., Ron E., Vyushkova O.V., Akleyev A.V. (2005) Cancer mortality in the Techa river cohort: preliminary risk estimates, *Siberiam Medicine Bulletin*, N°2, 2005 p.p. 52-62.
- Korblein, A. & Kuchenhoff, H. (1997) Perinatal mortality in Germany following the Chernobyl accident. *Rad. Environ. Biophys.* 36: 3-7.

- Kulakov V.I., Sokur A.L., Volobuev A.L. et al. (1993). Female reproductive functions in areas affected by radiation after the Chernobyl power station accident. *Environ. Health Perspect. Suppl.*, Vol. 101.
- Malko M.V. (2006). In: *Estimations of the Chernobyl Catastrophe (on the base of statistical data from Belarus and Ukraine)*, Publ: Centre of the Independent Environment Assessment of the Russia Academy of Sciences, ISBN 5-94442-011-1
- Minatom (Russian Ministry of Nuclear Energy) (2002) Branch report on safety for 2001, Moscow
- Mousseau T., Nelson N., Shestopalov V. (2005). Don't underestimate the death rate from Chernobyl. *Nature* 437, 1089.
- Omelyanets N.I., Kartashova S.S., Dubovaya N.F., Savchenko A.B. (2001). Cancer mortality and its impact on life expectancy in the radioactive polluted territories of Ukraine. 3rd Inter. Conf. "Medical consequences of the Chernobyl' catastrophe: results of the 15-years investigations. 4-8 June 2001, Kiev, Ukraine". Abstracts, Kiev, pp. 254 – 255 (en Russe)
- Omelyanets N.I., Klementev A.A. (2001). Mortality and longevity analysis of Ukrainian population after the Chernobyl catastrophe. 3rd Inter. Conf. "Medical consequences of the Chernobyl' catastrophe: results of the 15-years investigations. 4-8 June 2001, Kiev, Ukraine". Abstracts, Kiev, pp. 255–256 (en Russe).
- Pellmar T.C., Ledney G.D. (2005). Combined injury: Radiation in combination with trauma, infectious disease, or chemical exposures. *AFFRI CD 05-2:19-1 - 19-9*.
- Preston D.L., Shimizu Y., Pierce D.A., Suyama A., Mabuchi K. (2003). Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997. *Radiat Res* 160: 381-407.
- Report of Chernobyl Forum Expert Group "Health" (EGH) Report "Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programs", Working Draft, August 31, 2005.
- Sergeeva M.A., Muratova N.A., Bondarenko G.N. (2005). Demographic peculiarities in the radioactive polluted zone of Bryansk area. *Materials Inter. Sci. – Pract. Conf.: «Chernobyl - 20 years after. Socio-economical problems and perspectives for development of suffering territories»*, Bryansk, pp. 302 – 304 (en Russe).
- Shcherbak Y. (1996). Ten Years of the Chornobyl Era. *Scientific American*. 274(4): 44-49
- Sinclair, W.K. (1996) The international role of RERF. In: *RERF Update* 8(1): 6-8.
- Sinclair, W.K. (1996). The international role of RERF. In: *RERF Update* 8(1): 6-8.
- Yablokov A. (2006). The Chernobyl catastrophe – 20 years after (a matter review). In: Busby C.C., Yablokov A.V. (Eds.). *ECRR Chernobyl: 20 Years On. Health Effects of the Chernobyl Accident. Documents of the ECCR, N 1, Green Audit, Aberystwyth*, pp. 5-48.

2. LES CANCERS EN UKRAINE, AU BÉLARUS ET EN RUSSIE

Le cancer est l'une des manifestations les plus connues de l'exposition aux rayonnements ionisants. Malgré cela, les prévisions initiales qui font suite à l'énorme dégagement de radiations en provenance de la centrale de Tchernobyl sont anodines et rassurantes:

R. Gale : " ... toute possibilité de maladie cancéreuse découlant de l'effet de l'accident de Tchernobyl est infinitésimale. Il se peut qu'aucun cas ne se déclare, ou que leur quantité soit telle qu'elle sera inquantifiable... J'espère qu'il n'y aura pas de cas supplémentaire de maladies cancéreuses."

*L.A. Buldakov: "Il y a le contexte actuel de morbidité, et aucun cas supplémentaire ne devrait se déclarer."
Extrait d'une conversation traduite entre le professeur de l'Université de Californie Robert Gale avec le Directeur adjoint de l'Institut de Biophysique au Ministère de la Santé de l'URSS, le professeur L.A. Buldakov, plusieurs mois après la catastrophe de Tchernobyl (Dyachenko et al. 1996).*

Le risque de cancer mortel dû à l'accident de Tchernobyl est évalué à environ 5% pour 1 Gy (UNDR, UNICEF, OCHA et OMS 2002). Ceci est beaucoup moins élevé que l'estimation à 10-12% par Sv faite par l'UNSCEAR en 1988 du risque vie entière de cancer mortel (Sinclair, 1996), mais le chiffre avancé par l'UNSCEAR serait basé sur des données de populations telles que les personnes irradiées lors des bombardements atomiques au Japon (CIPR 1966) et d'essais nucléaires (Sinclair 1996), ainsi que les patients exposés à des rayonnements au cours d'un traitement radiothérapeutique sur prescription médicale. Toutefois, ces populations ont été exposées à différents radio-isotopes et suivies sur une période plus longue que celles qui furent exposées après l'accident de Tchernobyl, deux facteurs entre autres, qui peuvent limiter la précision des prévisions d'apparitions de cancers.

Aujourd'hui, il est clair que la contamination radioactive de Tchernobyl entraîne de fait une augmentation à grande échelle des tumeurs malignes. Les taux de cancer dans les populations critiques des trois pays les plus touchés, le Bélarus, la Fédération de Russie et l'Ukraine sont significativement élevés. La lecture du sommaire ci-dessous, bien que non exhaustif, donne une indication de l'ampleur du problème.

Bélarus

Dans les zones les plus contaminées de la Bélarus, la morbidité totale du cancer est en forte hausse depuis l'accident de Tchernobyl, comme on peut le constater dans la Figure 2.1. Environ 26 000 cas de tumeurs malignes radio-induites (y compris la leucémie) sont enregistrées au Bélarus, pendant la période 1987-1999, dont environ 11 000 cas mortels (Malko 2002). Les estimations les plus récentes (Malko 2006) laissent envisager que cette incidence (tous les cancers solides et les leucémies) au Bélarus sur 70 années, de 1986 à 2056, pourrait s'élever jusqu'à 62 500, dont 21 420 décès dus à ces cancers.

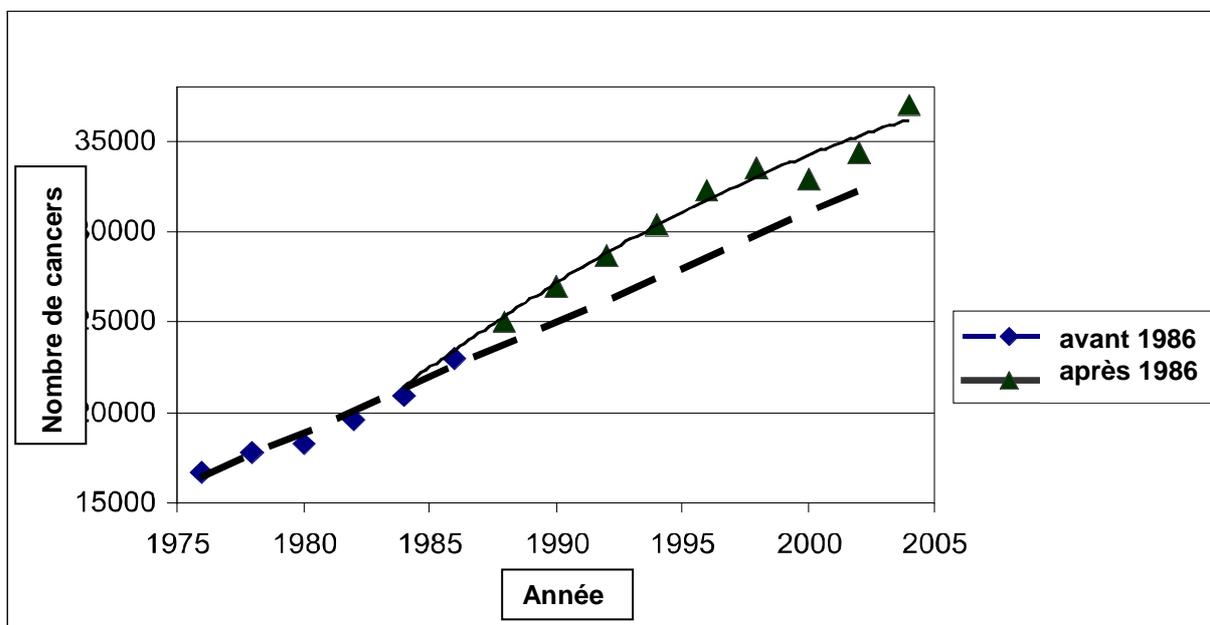


Figure 2.1. Nouveaux cas diagnostiqués de cancer au Bélarus, de 1975-2005. Basé sur les données de Matsko (1999) et du Centre scientifique de l'Information médicale du Ministère de la Santé de la République du Bélarus (<http://stat.med.by/>).

Entre 1990 et 2000, le Bélarus accuse une augmentation de 40% de tous les cancers (Okeanov *et al.* 2004). Une étude dans le district touché par les radiations de Tchernobyl révèle que la plus forte augmentation se trouve dans la région de Gomel, fortement contaminée (Matsko 1999). L'augmentation y est de 52%, comparée à celles, plus faibles, des régions moins contaminées de Brest (33%) et de Mogilev (32%) (Okeanov *et al.* 2004).

¹³⁷ Cs, Ci/km ²	Région de Gomel		Région de Mogilev	
	1977-1985	1986-1994	1977-1985	1986-1994
< 5	181.0 ± 6.7	238.0 ± 26.8	248.8 ± 14.5	306.2 ± 18.0*
5-15	176.9 ± 9.0	248.4 ± 12.5**	241.8 ± 15.4	334.6 ± 12.2***
>15	194.6 ± 8.0	304.1 ± 16.5**	221.0 ± 8.6	303.9 ± 5.1**

Tableau 2.1. L'incidence du cancer malin (pour 100 000) dans les territoires contaminés de Bélarus, avant et après la catastrophe de Tchernobyl (Konoplya & Rolevich 1996). * $P < 0,05$ ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.

Okeanov *et al.* (2004) ont étudié le risque de cancer chez les liquidateurs biélorusses. Cette population compte 71 840 personnes (représentant 790 249 années-personnes pour l'ensemble de l'étude). Ce total comprend 57 440 hommes (631 844 années-personnes) et 14 400 femmes (15 8405 années-personnes). La population de la région de Vitebsk, la partie du Bélarus qui a reçu le moins de retombées de radionucléides à vie longue, sert de témoin. Toutes les tumeurs apparues chez les liquidateurs vivant dans la région de Vitebsk et chez les personnes qui y ont emménagé depuis des zones contaminées sont exclues de cette étude.

L'analyse de la morbidité utilise les indicateurs standards et les taux standardisés par âge tronqué (TASR), pour la tranche d'âge de 20 à 85 ans et plus.

Au cours de la période 1993-2003, on observe que la morbidité due aux tumeurs malignes est en augmentation statistiquement significative chez les liquidateurs, mais également dans la région de référence. Par conséquent, la comparaison entre la cohorte des liquidateurs et celle de la zone de référence est réalisée sur la base de niveaux moyens d'indicateurs normalisés de la morbidité et sur la valeur du coefficient de régression associé, qui indique le taux d'augmentation de la morbidité.

La comparaison des valeurs moyennes des indicateurs normalisés pour la période de 1993 à 2003 montre chez les liquidateurs, une morbidité des tumeurs malignes – tous sites confondus, y compris les cancers des reins, de la vessie et de la thyroïde – significativement supérieure à la morbidité enregistrée dans le groupe de référence (Tableau 2.2). Les coefficients de régression sont plus élevés chez les liquidateurs que dans la population générale de la région de Vitebsk, ce qui indique un taux plus élevé de morbidité parmi les liquidateurs.

Site de la tumeur	Indicateur de morbidité (pour 10 ⁵)		Coefficient de régression par an	
	Liquidateurs	Témoins	Liquidateurs	Témoins
Tous sites	422.2 ± 20.6	366.4 ± 5.3	13.15 ± 5.29	4.69 ± 1.10
Estomac	41.1 ± 3.4	42.9 ± 1.2	1.99 ± 0.92	-0.99 ± 0.19
Côlon	19.1 ± 2.1	16.1 ± 0.4	1.14 ± 0.59	0.24 ± 0.12
Poumon	55.6 ± 5.4	53.6 ± 1.2	3.78 ± 1.26	-0.38 ± 0.31
Rein	15.7 ± 1.9	10.8 ± 0.5	1.78 ± 0.27	0.68 ± 0.16
Vessie	16.7 ± 1.2	13.8 ± 0.8	0.89 ± 0.23	0.28 ± 0.12
Thyroïde	28.4 ± 4.1	10.1 ± 1.0	1.08 ± 1.03	0.80 ± 0.18

Tableau 2.2. Niveaux moyens des indicateurs standardisés et dynamique de la morbidité liée aux tumeurs malignes au cours de la période 1993-2003.

Seules sont reconnues dans la littérature les évaluations de doses approximatives et collectives (groupes). Du fait que l'opinion des spécialistes en dosimétrie est divisée sur la question de ces doses collectives, il n'existe pas de méthode unique pour l'estimation de doses. Les doses individuelles d'irradiation enregistrées ne valent pas pour toutes les personnes incluses dans le registre spécialisé, et leur vérification n'est pas complète. On sait également que les données sur la dosimétrie individuelle dans les documents d'enregistrement ont souvent été intentionnellement abaissées (Pitkevich *et al.* 1995). Par conséquent, les données disponibles sur les doses d'exposition individuelles et collectives ne sont pas suffisamment fiables pour une analyse scientifique solide.

Le critère de la dose reçue ne pouvant être retenu pour distinguer entre les sous-groupes de la cohorte, ces derniers ont été créés sur la base de l'heure d'arrivée dans la zone contaminée:

les liquidateurs arrivés dans la zone d'évacuation et dans la zone que les habitants ont été contraints d'évacuer par la suite, entre le début de l'accident et la fin juin 1986 (période de l'impact le plus intense de l'iode radioactif) : Groupe 1;

les liquidateurs arrivés dans la zone d'évacuation et la zone évacuée par la suite, entre le début du mois de Juillet 1986 et le début de janvier 1988 : Groupe 2;

les liquidateurs arrivés dans la zone d'évacuation à partir de début janvier 1988 : Groupe 3.

L'âge moyen des liquidateurs au moment de l'entrée en zone d'accident est de 37,2 ans pour le Groupe 1, de 34,6 ans pour le Groupe 2 et de 33,5 ans pour le Groupe 3.

Les trois groupes des liquidateurs ont travaillé dans des zones à forte densité de contamination aux radionucléides - plus de 555 kBq/m². Le Groupe 1 a été exposé aux radiations de radionucléides à vie longue et à vie courte. Les Groupes 2 et 3 ont été exposés seulement aux radionucléides à vie longue. Le Groupe 3 est arrivé 18 mois après l'accident, alors que la majorité des travaux de décontamination des terres et l'enfouissement de la plupart des matières radioactives étaient achevés. En conséquence, les doses de rayonnement hypothétiques dans le Groupe 3 sont beaucoup moins élevées que celles relevées dans les deux premiers groupes.

Les doses totales de rayonnement sont les plus élevées chez les membres du Groupe 1 qui ont travaillé directement après la catastrophe dans les régions les plus contaminées, et qui ont aussi été exposés à l'iode radioactif. En été et en automne, le temps chaud et sec aura augmenté le nombre de poussières dans l'air et, en conséquence, la contamination interne par inhalation de radionucléides.

L'analyse de la morbidité du cancer dans ces groupes montre des niveaux élevés de maladie dans les deux premiers groupes. La morbidité totale des tumeurs, tous sites confondus, dans les deux premiers groupes est significativement plus élevée que dans la population de référence. La morbidité du cancer de l'estomac, des reins, de la vessie et de la thyroïde est significativement plus élevée dans le Groupe 1 ; le cancer du rein et du poumon est nettement plus élevé dans le Groupe 2 (Tableau 2.3).

Site de la tumeur	Morbidity pour 100 000			
	Liquidateurs Groupe 1	Liquidateurs Groupe 2	Liquidateurs Groupe 3	Groupe de contrôle
Tous sites	456,1 ± 10,3	437,8 ± 10,3	356,5 ± 34,8	366,4 ± 5,3
Estomac	50,4 ± 3,4	42,6 ± 3,2	42,5 ± 12,0	42,9 ± 1,2
Côlon	18,7 ± 2,1	25,5 ± 2,5	27,5 ± 9,7	16,1 ± 0,4
Poumon	57,9 ± 3,7	67,1 ± 4,0	60,5 ± 14,4	53,6 ± 1,2
Rein	20,3 ± 2,2	20,6 ± 2,2	9,58 ± 5,7	10,8 ± 0,4
Vessie	20,6 ± 2,2	16,6 ± 2,0	7,61 ± 5,1	13,8 ± 0,8
Thyroïde	40,0 ± 3,1	25,2 ± 2,5	9,47 ± 5,7	10,1 ± 1,0

Tableau 2.3. Indicateurs normalisés de morbidité des tumeurs malignes chez les liquidateurs (1993 - 2003)

Il ressort également du Tableau 2.3 que la morbidité dans le Groupe 1 diffère significativement de celle constatée dans le Groupe 2 par le cancer de la thyroïde. Cela peut être attribué à une plus forte exposition à l'iode radioactif dans le Groupe 1. Et bien que significativement plus basse que dans le Groupe 1, l'incidence du cancer de la thyroïde dans le Groupe 2 elle dépasse encore celle du groupe témoin.

Le niveau de morbidité dans le Groupe 2, plus élevé que dans le Groupe 3 et le groupe de contrôle, peut être imputé à une exposition plus élevée de la glande thyroïde aux radiations externes et à un effet indirect de doses d'irradiation plus élevées dans ce groupe (liée aux travaux de décontamination des terres et à l'enfouissement de matériaux hautement radioactifs), ce qui – selon un certain nombre de publications – réduirait les capacités de défense immunitaire.

Ainsi, pour la période 1999-2003, il est établi que ce sont les liquidateurs ayant travaillé en 1986-1987 qui sont les plus exposés au risque de cancer. Bien que les liquidateurs ayant travaillé en 1988 dans les zones d'évacuation et de repeuplement forcé ne montrent pas des niveaux de morbidité différents par rapport au groupe de référence au cours de cette période, la possibilité à venir d'une augmentation supplémentaire de morbidité du cancer parmi les liquidateurs de ce groupe ne peut être exclue.

Diviser la durée de l'étude et en réexaminer les données permet d'observer une augmentation significative du risque relatif de morbidité de certaines formes de tumeurs malignes dans l'ensemble de la cohorte des liquidateurs à partir de 1997, comparativement à la population de la région de Vitebsk (Okeanov *et al.* 2004).

Tandis qu'une hausse de la morbidité est constatée parmi les liquidateurs, une baisse est constatée dans le groupe de référence. Si ces tendances se maintiennent, les différences de morbidité du cancer du poumon et de l'estomac excéderont bientôt le niveau de pertinence statistique. C'est en gardant ceci à l'esprit que les données ont été analysées de nouveau, en tenant compte des indices statistiques récemment obtenus jusqu'à l'année 2003 comprise (Tableau 2.4).

Sites de la tumeur	Indice de morbidité		RR	Intervalle de confiance à 95%	
	Liquidateurs	Témoins		Limite inférieure	Limite supérieure
Tous sites	464.6	379.3	1.23	1.18	1.27
Estomac	46.9	40.8	1.15	1.02	1.29
Côlon	22.2	16.7	1.33	1.11	1.59
Poumon	66.3	52.6	1.26	1.14	1.39
Rein	19.1	15.4	1.24	1.05	1.47
Vessie	18.7	11.4	1.65	1.37	1.98
Thyroïde	32.2	12.3	2.62	2.23	3.07

Tableau 2.4. Risque relatif (RR) de morbidité des tumeurs malignes chez les liquidateurs : moyenne sur la période 1997-2003.

Russie

La morbidité du cancer dans les régions hautement contaminés de Kalouga et de Briansk est plus élevée que dans l'ensemble du pays (Ivanov & Tsyb, voir Figure 2.2. ci-dessous). Neuf ans après la catastrophe, la morbidité oncologique générale dans certains secteurs de la région de Briansk contaminés à 15 Ci/km² ou plus, est 2,7 fois plus élevée que dans les territoires moins contaminés de la région (Ouchakov *et al.* 1997).

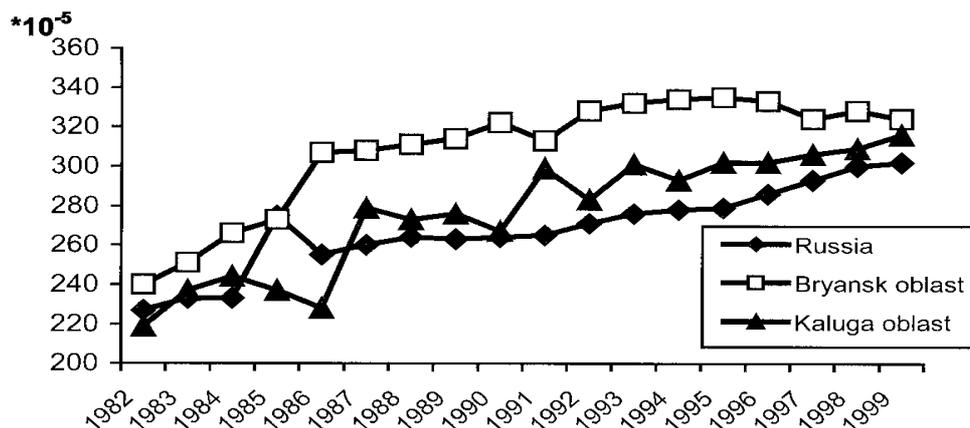


Figure 2.2. Incidence de tous les cancers solides pour une population de 100 000 habitants dans les deux secteurs russes de Bryansk et de Kaluga, pollués par la radioactivité, en comparaison avec l'ensemble de la Russie (Ivanov & Tsyb 2002).

Ukraine

À travers l'Ukraine, on constate une hausse de 12% de la mortalité par cancer (Omelyanets *et al.* 2001, Omelyanets & Klementev 2001). Dans les zones contaminées de la région de Zhytomir, l'augmentation de la morbidité des tumeurs malignes chez les adultes triple entre 1986 et 1994, passant de 1,34% à 3,91% (Nagornaya 1995).

L'augmentation des cancers chez les personnes évacuées de la zone des 30 km et dans la population des territoires pollués par la radioactivité est plus élevée que pour le pays en général (Golubchikov *et al.* 2002). Dans les zones fortement contaminées, la mortalité par néoplasmes augmente de 4 – 6.2% chez les hommes (de 240-250 cas pour 100000 en 1985 à 255-260 cas en 1999) et de 4.2 – 6.6% chez les femmes (de 120-122 cas 1985 à 125-130 cas en 1999).

Prysyazhnyuk *et al.* (1991, 1993, 1995, 2002, 2004, 2005) ont analysé les données recueillies par le Registre ukrainien du Cancer depuis sa création en 1987, en vue d'une enquête sur l'incidence du cancer dans les trois cohortes suivantes : les liquidateurs ayant participé aux opérations de nettoyage et de décontamination à Tchernobyl en 1986-1987; les évacués de la ville de Pripyat et de la zone des 30 km ; et la population vivant encore dans les zones fortement contaminées énumérées ci-dessus, dans les 20 années qui ont suivi le rejet des radionucléides à Tchernobyl.

Ce registre recueille des informations sur tous les cas de cancer dans les zones contaminées des districts de Luginy, de Narodichy et d'Ovruch dans la région de Zhytomir, et des districts de Borodyanka, d'Ivankov et de Poleskoye dans la région de Kiev. Il rassemble également des données remontant à 1980, afin de fournir un niveau de référence avant l'accident pour les résidents des territoires les plus contaminés par les radionucléides, ainsi que des renseignements sur tous les cas de cancer dans l'ancien district de Tchernobyl pendant la période 1981-1985.

Au moment de l'accident, l'effectif total de cette population était de 360700 personnes, dont 74400 enfants âgés de 0 à 14 ans (Prysyazhnyuk *et al.* 1995). En 2004, la population des six districts, le district désormais déserté de Tchernobyl excepté, était de 211700 dont 34000 enfants (Commission d'Etat des Statistiques de l'Ukraine, 2005).

Les données du Registre d'Etat de l'Ukraine sur les victimes de Tchernobyl, comparées avec celles du Registre National du Cancer, ont été utilisées pour calculer l'incidence du cancer sur les liquidateurs en 1986-1987 et sur les évacués. Des documents médicaux (y compris les signalements d'urgence de nouveaux cas de cancer et de décès) ont été obtenus auprès de tous les établissements médicaux où ces patients ont été diagnostiqués et traités. Ces documents ont ensuite été croisés afin d'éliminer les doublons, et une base finale de données a été compilée. Celle-ci révèle 19 836 nouveaux cas de cancer enregistrés de 1980 à 2004, dont 6221 parmi les liquidateurs et 2182 parmi les personnes évacuées (Prysyazhnyuk *et al.* 2002a, Prysyazhnyuk *et al.* 2002b, Romanenko *et al.* 2004, Fedorenko *et al.* 2004, Prysyazhnyuk *et al.* 2005).

Le taux annuel d'incidence spécifique par classe d'âge et le taux annuel comparatif (ou standardisé sur l'âge) d'incidence sont calculés directement pour la période 1980-2004, puis comparés aux taux correspondants des régions de Kiev et de Zhytomir (à laquelle appartiennent les districts étudiés) et de l'Ukraine dans son ensemble. La structure par âge de la population de l'URSS en 1979 (selon les recensements de Toute l'Union) est utilisée comme standard. Les cohortes étudiées sont les suivantes: les résidents dans les régions de Dnepropetrovsk, de Donetsk, de Harkov, de Kiev, de Lougansk et dans la ville de Kiev (au total 106844 en 2004), les liquidateurs ayant travaillé en 1986-1987, et les personnes évacuées de Pripiat et de la zone des 30 km, qui se sont réinstallées partout en Ukraine (56 175 en 2004). L'analyse de l'incidence du cancer dans ces deux groupes utilise la méthode indirecte de normalisation. Les taux d'incidence spécifique par classe d'âge en Ukraine en 1998 sont retenus comme standards.

Au cours de la période 1980-2004, le taux d'incidence du cancer dans les territoires contaminés est un peu plus faible que dans les zones de comparaison. Les tendances sont similaires dans le temps sur les quatre territoires: on observe une hausse progressive jusqu'en 1998, suivie d'une certaine baisse des taux dans tous les territoires. Il n'y a pas de différence significative entre les coefficients de régression (Prysyazhnyuk *et al.* 2002b, Prysyazhnyuk, *et al.* 2004).

Les taux de cancer chez les liquidateurs montrent un excès statistiquement significatif par rapport au niveau national (Tableau 2.5).

Période	Années-personnes de l'observation	Nombre de cas actuels	Nombre de cas prévus	SIR (%)	Intervalle de confiance 95%
Résidents des territoires contaminés (hommes et femmes)					
1990-2004	3 413 232	11 221	13 211	84.9	83.4-86.5
Liquidateurs 1986-1987 (hommes) en années de participation					
1990-2004	1 228 422	5 396	4 603	117.2	114.1-120.3
Evacués de Pripyat et de la zone des 30 km (hommes et femmes)					
1990-2004	796 653	2 182	2 599	83.9	80.4-87.5

Tableau 2.5. Taux d'incidence standardisés (SIR) pour toutes les formes de cancer (Code CIM-9 140-208) dans différents groupes de population ukrainienne touchés par la catastrophe de Tchernobyl.

L'étude de l'incidence du cancer dans les principales populations touchées par la catastrophe de Tchernobyl (les liquidateurs de 1986-1987; les évacués de Pripyat et de la zone des 30 km et la population vivant encore dans les territoires les plus contaminés par les radionucléides) révèle des particularités de tendance dans certains types de cancer.

Parmi les liquidateurs ukrainiens observés par la Commission Interministérielle d'Experts de Kiev, les tumeurs du système digestif sont le type de cancer le plus courant (33,7%), suivies des tumeurs des organes respiratoires (25,3%) et des tumeurs du système uro-génital (13,1%). L'augmentation la plus rapide de la pathologie oncologique concerne le système uro-génital, pour laquelle une augmentation d'un facteur trois (de 11,2% à 39,5%) est observée de 1993 à 1996 (Barylyak & Diomina 2003).

Le plus grand nombre de tumeurs malignes est enregistré chez les liquidateurs qui ont travaillé à la morgue, en tant que conducteurs, aux travaux de décontamination et d'évacuation en rapport avec les 13 différents types de tâches considérées. A dater du 26.04.1986, toute entrée dans la zone contaminée constitue un facteur de risque de développement de tumeurs malignes, et le risque augmente avec la durée du séjour.

Les liquidateurs étudiés par la commission ont reçu des doses dans la gamme 1-85 cGy. L'analyse de la dépendance-dose est faite à l'aide d'une régression spline. Toutes classes d'âge confondues, la lecture des données montre une tendance à la hausse des tumeurs malignes en relation avec l'augmentation de la dose de rayonnement. De plus, l'analyse des données par sous-groupes de dose établit que la probabilité du développement de tumeurs malignes chez ceux qui ont été exposés à des doses allant de 1 à 5 cGy, est statistiquement plus importante que la probabilité de tumeurs malignes dans l'ensemble du groupe. Cela indique une augmentation de la fréquence des tumeurs malignes chez les liquidateurs ayant été soumis à de faibles doses d'exposition (Klyushin *et al.* 2002). Les intervalles de confiance aussi diminuent avec l'augmentation de la dose, ce qui indique que la variabilité de fréquence des tumeurs malignes diminue avec l'augmentation de l'exposition aux radiations. Cette méthode permet donc de prévoir les tumeurs malignes avec une certaine précision.

Des études cytogénétiques sont venues confirmer ces résultats. Des lymphocytes récoltés dans le sang périphérique ont été cultivés, comme recommandé par l'UNSCEAR, l'OMS et l'AIEA, à des fins d'études sur la biodosimétrie et la bio-indication du degré de dommage causé par l'irradiation (CART 1989). Parmi les liquidateurs affectés de tumeurs malignes, l'estimation de la dose de rayonnement est corrélée aux mesures des lésions chromosomiques. Le coefficient de corrélation pour les dicentriques est de 0,59 et de 0,56 pour les anneaux centriques. Ces corrélations sont plus fortes dans les résultats obtenus pour les maladies non cancéreuses, et confirment les estimations de doses de radiation pour les malades du cancer. Il est possible que ces résultats indiquent la production de lymphocytes anormaux par les pro-myélocytes endommagés dans la moelle, et la suppression de l'efficacité des systèmes de réparation dans les cellules affectées par des maladies oncologiques.

Les petites doses de radiation absorbée représentent des facteurs statistiquement significatifs de développement de tumeurs malignes (Kindzelsky *et al.* 1999, Diomina 2001, Klyushin *et al.* 2001, Diomina *et al.* 2000). Ceci peut être lié à une intensité insuffisante de la protection anti-cancéreuse des organismes au cours de la période effective d'irradiation selon les doses considérées. De tels processus impliquent l'élimination des aberrations cellulaires par le système de contrôle immunitaire (sur la constance antigénique des transmissions internes de l'organisme), ainsi que la réparation cellulaire, les processus de restauration et de compensation.

2.1. CANCER DE LA THYROÏDE

Au cours des premiers mois qui ont suivi la catastrophe, seuls quelques cas supplémentaires de cancer de la thyroïde étaient prévus. Cette prévision a ensuite été révisée à la hausse, jusqu'à quelques centaines, mais sans dépasser les quelques milliers (Anon 1996)

La catastrophe de Tchernobyl, toutefois, a rejeté d'énormes quantités d'iode radioactif, qui s'est concentré dans la thyroïde des individus exposés. La thyroïde étant l'un des principaux piliers du système endocrinien, tout impact sur celle-ci engendre donc de graves perturbations dans les fonctions normales de l'organisme. Et c'est sans surprise qu'on observe une augmentation significative des taux de cancer thyroïdien dans la population exposée, avec un excès de risque relatif (ERR) plus élevé que pour d'autres formes de cancer.

Le cancer de la thyroïde provoqué par l'exposition aux radiations de Tchernobyl semble anormalement agressif, principalement de forme papillaire, avec des métastases précoces et rapides formant des tumeurs secondaires dans les glandes lymphatiques et les poumons (OMS, 1996, Ivanov & Tsyb 2002).

La Figure 2.1.1 illustre cette augmentation du cancer de la thyroïde.

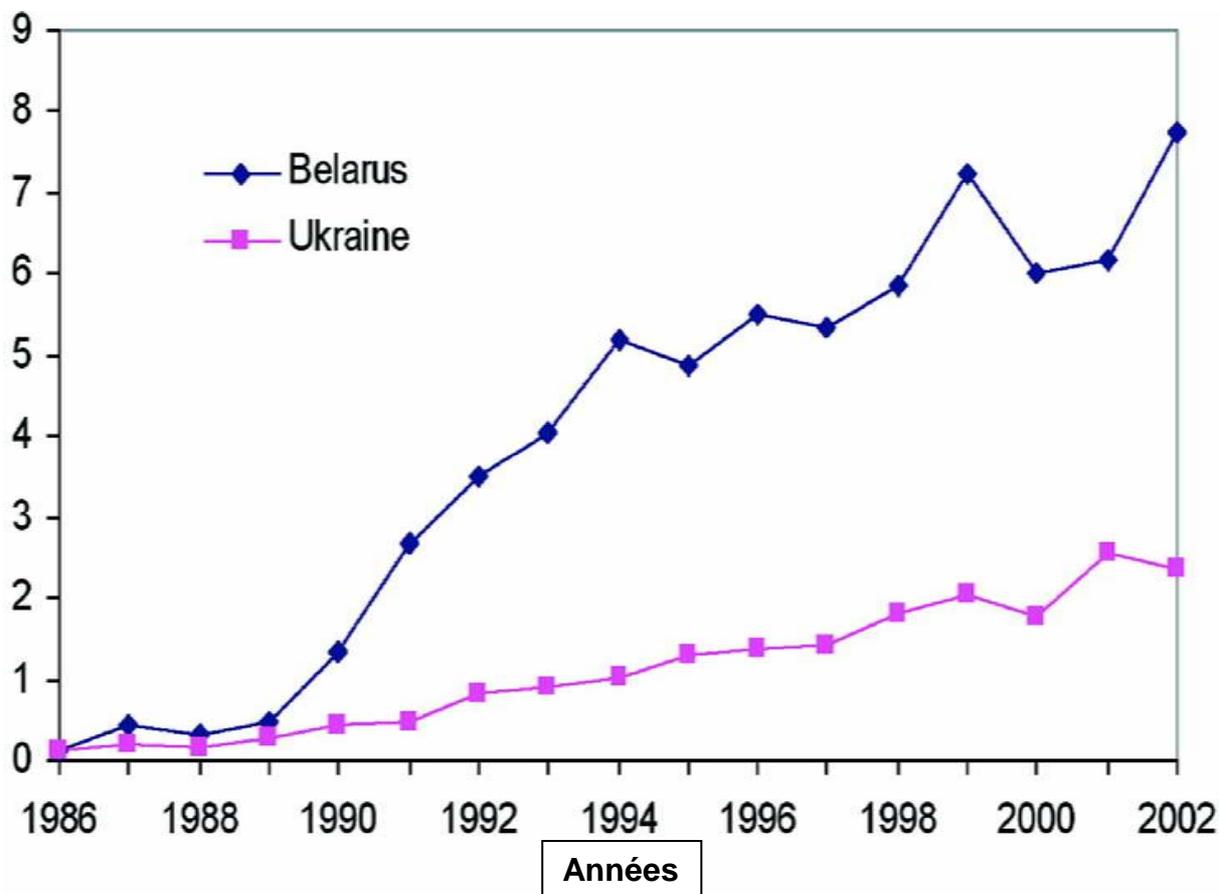


Figure 2.1.1. Taux d'incidence annuel du cancer de la thyroïde sur une population de 100 000 individus, composée d'adolescents ou enfants en 1986 (Fairlie and Sumner, 2006)

Bélarus

Au Bélarus, l'occurrence des cancers thyroïdiens est multipliée par 43 chez les enfants de 1989 à 1994, passant de 0,003 à 0,13 cas pour 1000 (Lomot *et al.* 1996). Une étude ultérieure indique une multiplication par 88,5 des cas de cancer de la thyroïde chez les enfants, par 12,9 chez les adolescents et par 4,6 chez les adultes, par rapport à la période d'avant la catastrophe (Belookaya *et al.* 2002). Des cas d'enfants nés avec un cancer de la thyroïde sont signalés (Busby, 1995). Sur mille personnes observées, 100 cas de nodules sont découverts, dont 2-3 cancers malins (Krisenko 2002). L'excès de risque relatif (ERR) de ces cancers radio-induits dépasse de plus de dix fois le risque établi pour Hiroshima et Nagasaki (Malko 2004).

Les rapports sur l'incidence du cancer de la thyroïde au Bélarus dénombrent:

- 3 748 cas radio-induits entre 1987 et 1998, selon les données du Registre national concernant les six zones les plus contaminées (Ivanov & Tsyb 2002). Ce chiffre est obtenu par soustraction des 141 cas enregistrés par an parmi les adultes et les enfants avant la catastrophe, à un total de 5 470 cas signalés;
- 1 095 cas dans la période 1990-1998 chez les enfants de moins de 17 ans à l'époque de la catastrophe (UNSCEAR 2000);
- 4 401 cas radio-induits fin 2000, dont près de 700 enfants de moins de 15 ans, et 3709 cas de personnes adolescentes ou adultes au moment du diagnostic (Malko 2002);
- «environ 6 000» patients, dont 1 600 enfants, ont été opérés entre 1987 et 2000 (Drozd 2001);
- «plus de 8 000» cas dès 2001 (Belookaya *et al.* 2002);
- environ 5 700 cas radio-induits entre le 1er janvier 1987 et le 31 décembre 2002, sur un total de 9 650 cas (Malko 2004 & 2006). Cela comprend environ 700 cas parmi les enfants et les adolescents de moins de 15 ans (Malko 2006);
- 1 670 cas radio-induits sur un total de 8 602 cas en 2002 (Fedorov 2002);
- 1 055 nouveaux cas signalés dans la seule année 2002 (Postoyalko 2004);
- «environ 7 000» cas radio-induits entre 1986 et 2004 (Malko 2006).

Les prédictions pour l'avenir sont très variables, mais laissent envisager:

- jusqu'à 12 500 cas chez les personnes de moins de 18 ans au moment de la catastrophe (2002);
- 15 000 cas sur 50 ans (1986-2036) (Rapport national du Bélarus 2003);
- 20 000 cas de cancers de la thyroïde radio-induits sur la durée de vie des victimes (Malko 1999);
- 14 000 à 31 400 cancers de la thyroïde supplémentaires sur 70 ans (1986-2056) (Malko 2006);
- jusqu'à 50 000 cas auprès des adolescents et des jeunes d'aujourd'hui (Fedorov 2002).

Russie

Les liquidateurs russes souffrent de trois fois plus de cancers de la thyroïde que la moyenne nationale (Khrisanfov & Meskikh 2001). Dans la région hautement contaminée de Briansk entre 1988 et 1998, la morbidité du cancer thyroïdien est le double de celle de l'ensemble de la Russie en 1999, et le triple de ce même niveau en 2004 (Malashenko 2005). Elle est de 3,3 pour 100 000 habitants dans la population de la région en 1986, mais elle atteint 13,8 pour 100 000 dès 2000, alors que dans les zones contaminées de la région, elle passe de 5,7 en 1986 à 20,7 pour 100 000 en 1999 (Kukishev *et al.* 2001). La fréquence de l'occurrence est plus élevée dans les zones de la région les plus contaminées par les radiations (Kukishev *et al.* 2001; Proshin *et al.* 2005). Une autre analyse détaillée montre que le niveau réel de la pathologie peut être de 3 à 4 fois plus élevé (Pilyukova 2004).

A Lipetsk, le nombre de cancers de la thyroïde a été multiplié par 3,4 de 1989 à 1995 (Krapivin 1997), avec 139 personnes affectées en 1996.

Le pic d'incidence pour l'ensemble de la population (4,4 cas pour 100 000) a lieu en 1998, douze ans après la catastrophe (Kukishev *et al.* 2001). Dans la tranche d'âge de 0-30 ans, la morbidité du cancer de la thyroïde est multipliée par 1,5 entre 1991 et 1998 (Ivanov & Tsyb 2002, p. 312, figure 5.6.). Chez les enfants, le taux passe de 0,07 cas pour 100 000 enfants en 1991 à 0,19 en 1999, soit une multiplication par 2,7 (Kukishev *et al.* 2001).

Les rapports d'incidence dénombrent:

- 2 801 cas radio-induits entre 1987 et 2000, sur la base des données du Registre national concernant quatre des zones les plus polluées de la Russie: soit 4 173 cas au total, déduction faite des 98 cas enregistrés par an chez les adultes et enfants avant Tchernobyl (Ivanov & Tsyb 2002);
- 207 cas entre 1990 et 1998, chez les enfants âgés de 0 à 17 ans au moment de la catastrophe (UNSCEAR 2000);
- 1 591 cas entre 1986 et 2000, dans la région de Briansk, comparés à 308 cas entre 1975 et 1985 (Kukishev *et al.* 2001);
- 2 638 cas entre 1986 à 2005, dans la région de Briansk, (Malashenko 2005).

Ukraine

C'est un fait actuellement reconnu que l'augmentation du nombre de cancers de la thyroïde chez les enfants et les adolescents est due à l'exposition à l'iode radioactif (Tronko & Bogdanova 1997). Et on s'attend, pour l'ensemble de l'Ukraine, à quelque 24 000 cancers de la thyroïde, dont 2 400 devraient être fatals (Malko 1999).

Depuis 1989-1990, on observe une augmentation de l'incidence des cancers papillaires de la glande thyroïde chez les enfants et les adolescents ukrainiens, soit un total d'environ 4 000 cas enregistrés à ce jour. Avant la catastrophe, l'occurrence du cancers thyroïdien chez les enfants et les adolescents était en moyenne de 0,09 cas pour 100 000. Après 1990, la fréquence d'apparition est passée à 0,57-0,63 pour 100 000. La plus forte augmentation de morbidité est enregistrée chez les jeunes vivant dans les zones les plus contaminées de l'Ukraine (régions de Kiev, de Tchernigov, de Zhytomir, de Tcherkassy et de Rovno) (Komissarenko *et al.* 1992, 1993 & 1995). Dans ces zones, la morbidité du cancer de la thyroïde atteint 1,32 pour 100 000 personnes et reste 5 fois plus élevée que dans d'autres régions.

Selon la Clinique Chirurgicale ukrainienne de l'Institut d'Endocrinologie, le nombre total de personnes souffrant de cancers de la thyroïde au cours des 20 dernières années est multiplié par 14 par rapport à la période précédant la catastrophe (Rybakov *et al.* 2000, Komissarenko *et al.* 2001). La période de latence minimum est de 3-3,5 ans après la catastrophe. Il est prévu que le pic de morbidité du cancer de la thyroïde chez ceux qui étaient enfants ou adolescents au moment de l'incident se produira entre 2001 et 2006.

L'analyse de la structure par âge des patients avec un diagnostic primaire de cancer thyroïdien indique les taux de maladie les plus élevés chez les enfants et les adolescents (62,5%) (Vtyurin *et al.* 2001). La majorité des malades (60%) étaient âgés de 0-4 ans à l'époque de l'accident de Tchernobyl (Komissarenko *et al.* 2002, Vtyurin *et al.* 2001). Toutefois, très peu d'enfants nés après la dissémination des substances radioactives étant affectés par le cancer de la thyroïde, la hausse de l'âge moyen des patients reste graduelle à mesure que le temps passe. La prévalence de formes invasives de carcinome (87,5%) indique un processus de développement très agressif des tumeurs (Vtyurin *et al.* 2001).

L'analyse épidémiologique des données provenant du Registre d'État ukrainien sur la période 1982-2003 établit qu'après 1991, la fréquence des cancers de la thyroïde augmente significativement dans les trois cohortes étudiées: les liquidateurs de la catastrophe de Tchernobyl ayant travaillé en 1986-1987, les évacués de la population de la ville de Pripyat et de la zone d'exclusion des 30 km, et la population résidant dans les zones contaminées par la radioactivité (Prysyazhnyuk *et al.* 1995, Prysyazhnyuk *et al.* 2002a & b, Dedov *et al.* 1993, Zubovskij & Tararuhina 1991, Prysyazhnyuk *et al.* 1991, Prysyazhnyuk, 1993).

Les rapports d'incidence dénombrent:

- 3 914 cas pendant la période 1986-1996, comprenant 422 cas chez les enfants et 3 492 cas chez les adolescents et les adultes (Drobyshevskaya *et al.* 1996);
- 553 cas pendant la période 1990-1998 chez les enfants âgés de 0 à 17 ans au moment de la catastrophe (UNSCEAR 2000);

- 2 371 opérations de cancer de la thyroïde réalisées entre 1986 et 2002 chez des personnes âgées de moins de 18 ans au moment de la catastrophe (Scheglova 2004);
- 2 674 opérations du cancer de la thyroïde réalisées entre 1988 et 2004 chez des enfants (Anon 2005);
- 3400 opérations du cancer de la thyroïde réalisées chez des personnes qui étaient enfants au moment de l'accident, dont 11 sont mortes par la suite (Rapport National de l'Ukraine 2006).

L'analyse des données provenant du Registre ukrainien du Cancer (Figure 2.1.2. Ci-dessous) montre une augmentation dramatique de l'incidence du cancer de la thyroïde, incontestablement dû aux rayonnements ionisants. Dans l'ensemble de l'Ukraine, cette augmentation est le double du niveau attendu chez les hommes, et le triple de celui attendu chez les femmes. La Figure 2.1.3. montre le niveau de cette pathologie multiplié par 5 dans la ville de Kiev, et par 6 dans la région de Kiev, où une partie significative de la population de la ville de Pripyat et de la zone des 30 Km a été réinstallée (Prysyazhnyuk *et al.* 2002b).

Les coefficients de régression qui reflètent les tendances temporelles sont: Ukraine $0,12 \pm 0,01$ (pour 10^5 par année); région de Kiev $0,41 \pm 0,07$; ville de Kiev $0,52 \pm 0,05$; région de Zhytomir $0,22 \pm 0,03$; territoires contaminés $0,41 \pm 0,06$. Les premier cas de cancers de la thyroïde chez les enfants jusqu'à 14 ans vivant dans les territoires contaminés sont enregistrées en 1990 (Prysyazhnyuk *et al.* 1991). Cette pathologie n'a pas été enregistrée avant cette année (et depuis 1980) sur le territoire étudié.

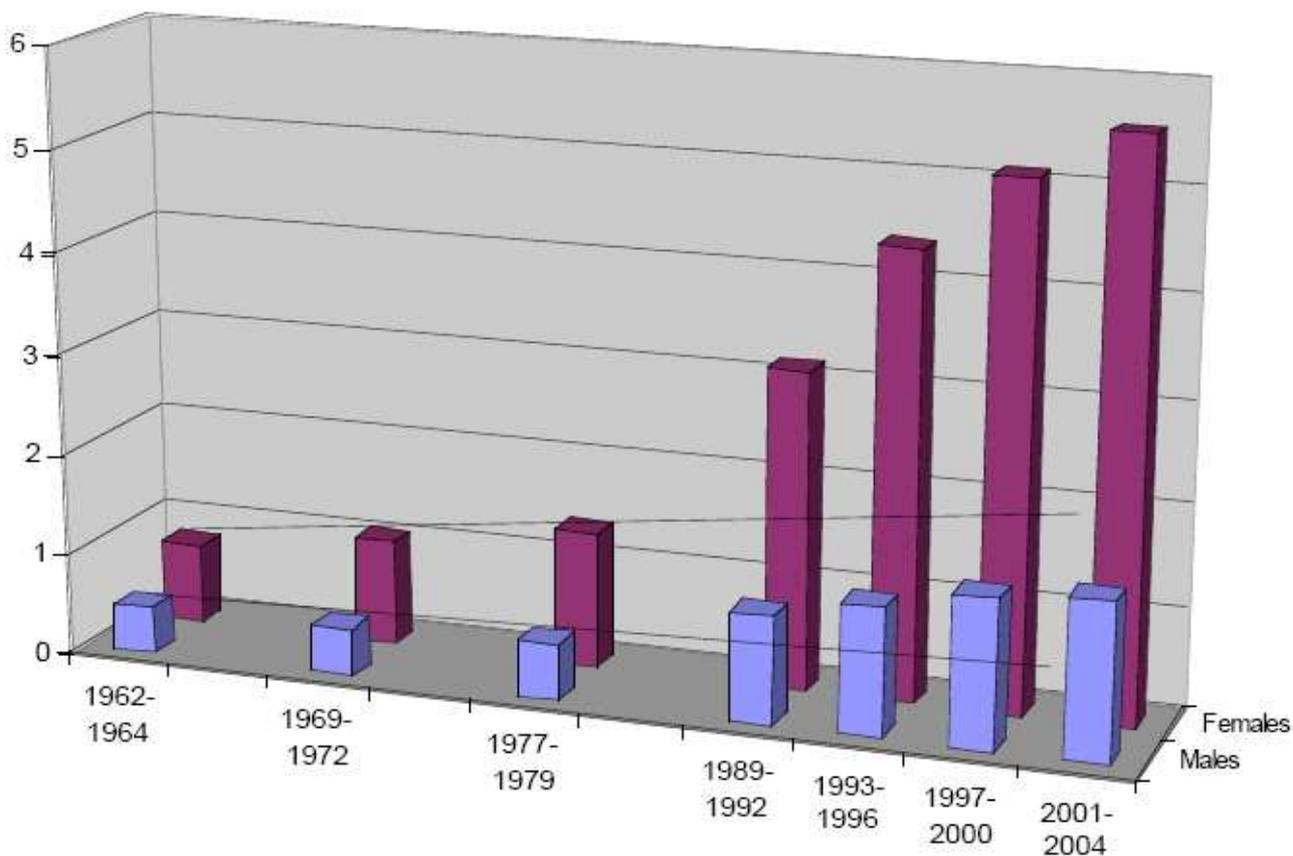


Figure 2.1.2. Taux d'incidence moyen annuel standardisés par âge, du cancer de la thyroïde en Ukraine sur les différentes périodes (hommes et femmes)

Une autre étude – réalisée de 1990 à 1999 dans les régions de Tchernigov, de Kiev et de Zhytomir, où les retombées d'iode radioactif sont enregistrés (Romanenko *et al.* 2004, Prysyazhnyuk *et al.* 2005) – montre pour la première fois que l'incidence du cancer de la thyroïde dépend du niveau des retombées d'iode radioactif. Les taux d'incidence standardisés par âge tronqué dans les territoires dont le taux de contamination est inférieure à 100 kBq/m², ne dépasse pas 2 cas pour 100 000 chez les hommes et 5 cas pour 100 000 chez les femmes. Toutefois, dans les territoires à taux de contamination moyens ou élevés (de

respectivement 100-200 kBq/m² et >200 kBq/m²), on constate une hausse significative de l'incidence des cancers thyroïdiens. Cet excédent est de 4 cas pour 100 000 chez les hommes et de 16 cas pour 100 000 chez les femmes en 1998-1999. Il est démontré que les cancers de la thyroïde dus à l'exposition à l'iode radioactif ont tendance à augmenter au fil du temps (Romanenko *et al.* 2004, Prisyazhnyuk *et al.* 2005).

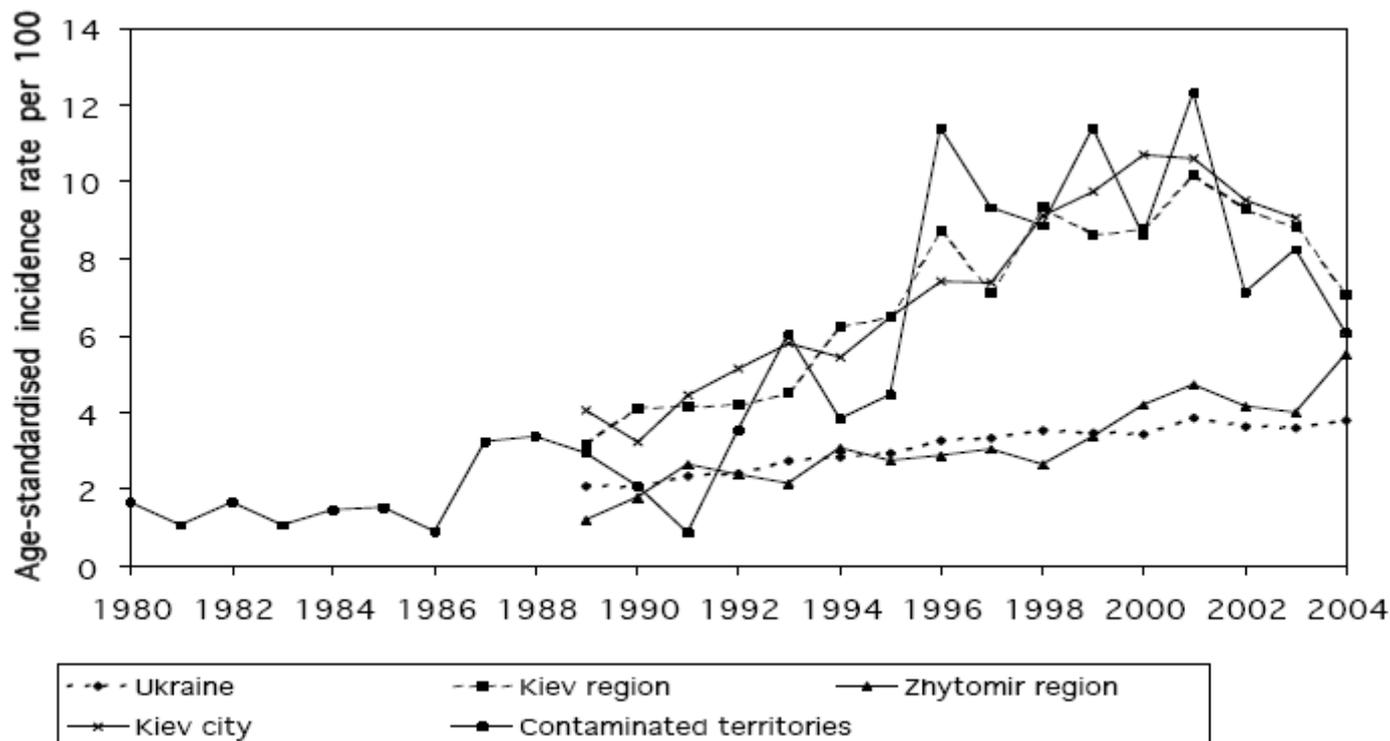


Figure 2.1.3. Taux d'incidence du cancer de la thyroïde en Ukraine, dans les régions de Kiev et de Zhytomir, et de la ville de Kiev ainsi que dans les territoires les plus contaminés par les radionucléides en 1980-2004. Coefficients de régression: Ukraine 0.12 ± 0.01 ; région de Kiev -0.41 ± 0.07 ; Ville de Kiev -0.52 ± 0.05 ; région de Zhytomir -0.22 ± 0.03 ; territoires contaminés -0.41 ± 0.06 (données du Registre de l'Etat ukrainien et du Registre local du cancer)

Une analyse comparative de l'incidence du cancer de la thyroïde dans les différents sous-groupes de la population affectée (Tableau 2.1.1.) suggère que l'augmentation la plus importante de l'incidence au niveau national pendant la période 1990-2004 est marquante en premier lieu chez les liquidateurs, dont les taux sont 8,0 fois plus élevés que la moyenne nationale, et en second lieu chez les évacués, dont les taux sont 5,1 fois plus élevés. Entre 1998 et 2004, ils sont respectivement 9,1 et 6,0 fois plus élevés.

Groupe d'observation et période	Nombre d'années-personnes d'observation	Nombre de cas actuels	Nombre de cas prévus	SIR (%)	Intervalle de confiance 95%
Résidents des territoires contaminés par les radionucléides (hommes et femmes)					
1990-2004	3 413 232	247	151.4	163.1	142.7-183.4
Liquidateurs masculins ayant travaillé de 1986-1987					
1990-2004	1 228 422	164	20.5	800.7	678.2-923.3
Evacués de Pripyat et de la zone des 30 km (hommes et femmes)					
1990-2004	796 653	174	34.0	511.3	435.3-587.2

Tableau 2.1.1. Taux d'incidence standardisés (SIRs) pour le cancer de la thyroïde (Code ICD-9 193) dans différents groupes de la population ukrainienne affectée par la catastrophe de Tchernobyl (données du Registre d'Etat ukrainien et registres locaux du cancer 1990-2004)

Un excès statistiquement significatif de cancers de la thyroïde (1,6 fois la normale) est enregistré pendant la période 1990-2004 chez les résidents des territoires les plus contaminés par les radionucléides (Prysyazhnyuk *et al.* 2002b).

Dans tous les groupes à l'étude, on enregistre des augmentations significatives de l'incidence du cancer de la thyroïde. Cette augmentation peut être associée à des retombées d'iode radioactif. On la détecte non seulement chez les enfants, mais aussi chez les adolescents et les adultes. L'occurrence de cas supplémentaires de cancers thyroïdiens, comme conséquence de l'exposition à l'iode radioactif, tend à augmenter au fil du temps.

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) soutient que le cancer radio-induit de la thyroïde dans la population ukrainienne n'est pas une entité clinique spécifique, mais la conséquence médicale enregistrée de la catastrophe nucléaire à la centrale de Tchernobyl, établie par l'agrégation de facteurs cliniques, épidémiologiques et morphologiques.

La clinique chirurgicale de l'Institut d'Endocrinologie et du Métabolisme de l'Académie des Sciences Médicales de l'Ukraine a soigné plus de 3 000 patients souffrant de cancer de la thyroïde, dont 509 étaient des enfants ou des adolescents (Komissarenko *et al.* 2003).

Les tumeurs malignes de la thyroïde observés chez les enfants et les adolescents malades varient dans leurs caractéristiques, mais elles sont généralement très agressives. Ceci se traduit cliniquement par une courte période de latence, une absence de signes de changement de l'état somatique général et une invasion organique et lymphatique élevée : 46,9% des patients souffrent d'une extension extrathyroïdienne de la tumeur, 55,0% des patients présentent des métastases régionales dans les ganglions lymphatiques du cou. Et les chirurgiens doivent procéder à des opérations répétées pour retirer les métastases résiduelles qui apparaissent peu après la première opération. De plus, 11,6% des patients souffrent de métastases distantes dans les poumons. Jusqu'à présent, 6 enfants traités dans cette clinique sont morts du cancer de la thyroïde (Rybakov *et al.* 2000, Komissarenko *et al.* 2002).

L'étude morphologique de ces tumeurs révèle que plus de 90% de carcinomes papillaires. Toutefois, des carcinomes papillaires typiques ne sont mentionnés que dans un petit nombre de patients enfants ou adolescents. Les carcinomes papillaires de structure solide, folliculaire ou mixtes (mi-solides, mi-folliculaires) sont plus fréquents. De tels carcinomes sont classés comme une seule variante folliculaire solide qui se caractérise par une large diffusion à travers la glande, une croissance au-delà de la capsule anatomique de la glande, une invasion de la circulation sanguine et lymphatique, et une invasion fréquente des ganglions lymphatiques du cou.

Compte tenu de la nature agressive des cancers radio-induits, la clinique a été amenée à reconsidérer ses méthodes chirurgicales afin d'éviter les opérations visant à préserver la thyroïde (Komissarenko *et al.* 1993, 1995 & 2001). Les formes différenciées et toutes les autres formes de cancer de la thyroïde sont désormais traitées par thyroïdectomie extrafaciale avec contrôle des collecteurs régionaux de reflux lymphatique, traitement par l'iode radioactif et thérapie suppressive à l'aide d'hormones thyroïdiennes. La cytologie pré-opératoire et des diagnostics histologiques rapides sont obligatoires.

L'exécution de thyroïdectomies préalables conduit à une division par 3,2 des recrudescences localisées de la maladie, de 2,3% à 0,7%, par comparaison avec les opérations visant à préserver l'organe (Komissarenko *et al.* 1995).

Ces améliorations dans les méthodes opératoires de traitement du cancer thyroïdien ont réduit les complications post-opératoires spécifiques à 4,3% (la parésie laryngée persistante à 3,2%, l'hypoparathyroïdie persistante à 1,1%) et la nécessité de répéter les opérations liées aux récurrences et métastases à 1,8%. Les résultats à long terme du traitement sont également favorables. Une enquête réalisée

auprès de 1 253 patients pendant les 5 ans qui suivent le traitement montre un taux de survie de 97,3% (Komissarenko *et al.* 2001 & 2002).

Même si les nouvelles méthodes de traitement offrent des perspectives meilleures pour les patients chez lesquels un cancer de la thyroïde est diagnostiqué, il faut souligner qu'il subsiste un risque élevé de développement de carcinomes papillaires de la thyroïde parmi ceux qui, en 1986, étaient enfants ou adolescents dans les régions de l'Ukraine touchées par l'irradiation de Tchernobyl. Le risque subsistera 40 ou 50 ans. Une surveillance constante de ce groupe de la population est donc impérative pour augmenter le diagnostic précoce de la maladie et offrir l'opportunité des traitements chirurgicaux radicaux nécessaires et réhabiliter les patients efficacement.

2.2. LEUCEMIE

La leucémie est considérée comme l'une des premières expressions des maladies radio-induites. Selon Sinclair (1996), la leucémie a une période de latence de deux ans et une période de pic d'incidence entre six et huit ans après l'exposition. Selon Yablokov (2006), en raison du secret statistique sur les rares données et de la falsification des données médicales en provenance des territoires contaminés de l'ex-Union soviétique, un grand nombre de cas diagnostiqués dans les trois premières années après l'incident n'ont pas encore été formellement enregistrés. Néanmoins, les statistiques disponibles révèlent la gravité du problème.

Bélarus

Un excès de leucémie aiguë est constaté en 1990-1991 parmi les Biélorussiens ayant travaillé comme liquidateurs en 1986-1987. À partir de 1992, un accroissement significatif de l'incidence de toutes les formes de leucémie est identifié dans la population adulte du Bélarus. La plus forte augmentation par rapport à la période pré-Tchernobyl est observée en 1992-1994. Certaines données sont présentées dans le Tableau 2.2.1. À partir de 1996, l'incidence d'états pré-leucémiques a tendance à augmenter (Ivanov *et al.* 1997). Il est estimé que la population de Bélarus pourrait souffrir de près de 2 800 cas de leucémie supplémentaires entre 1986 et 2056, dont 1 880 mortels (Malko 2006).

Maladies du sang	1979-1985	1986-1992	1993-1997
Leucémie aiguë	2,82 ± 0,10	3,17 ± 0,11*	2,92 ± 0,10
Leucémie chronique	6,09 ± 0,18	8,14 ± 0,31*	8,11 ± 0,26*
Erytrémie	0,61 ± 0,05	0,81 ± 0,05*	0,98 ± 0,05*
Myélome multiple	1,45 ± 0,06	1,86 ± 0,06*	2,19 ± 0,14*
Maladie de Hodgkin	3,13 ± 0,10	3,48 ± 0,12*	3,18 ± 0,06
Lymphoma non hodgkinien	2,85 ± 0,08	4,09 ± 0,16*	4,87 ± 0,15*
Syndrome myéloдисplastique	0,03 ± 0,01	0,12 ± 0,05*	0,82 ± 0,16*

* - $P < 0.05$

Tableau 2.2.1. Morbidité de la leucémie, des lymphomes et autres maladies du sang (pour 100 000 personnes) dans la population de Bélarus 1979 – 1997 (Gapanovich *et al.* 2001).

Russie

La comparaison de la morbidité avant et après la catastrophe (1979-1985 et 1986-1993) affectant la population des régions les plus sévèrement touchées de Briansk montre une augmentation considérable des cas de leucémie sous toutes ses formes, ainsi que de lymphomes non hodgkiniens (UNSCEAR 2000). Il y a une augmentation notable des cas de leucémie lymphatique aiguë dans les six zones les plus contaminées de la région de Briansk entre 1986 et 1993 (Ivanov & Tsyb 2002). La leucémie infantile dans la région de Tula pendant la période post-Tchernobyl dépasse significativement en proportion la moyenne russe, les cancers du sang aigus étant particulièrement répandus chez les enfants de 10-14 ans. La morbidité de la leucémie

lymphatique aiguë est plus élevée dans les zones contaminées (Ouchakov *et al.* 2001). De 1989 à 1995 à Lipetsk, les cas de leucémie se multiplient par 4,5 (Krapivin 1997, Ivanov & Tsyb 2002, Ivanov *et al.* 2004).

Ukraine

Dans la population des districts contaminés de Kiev et de Zhytomir sont observées des fluctuations annuelles prononcées de l'incidence de la leucémie et du lymphome. Les chiffres annuels reportés sur la Figure 2.2.1 montrent l'augmentation pendant les périodes 1987-1991 et 1999-2000.

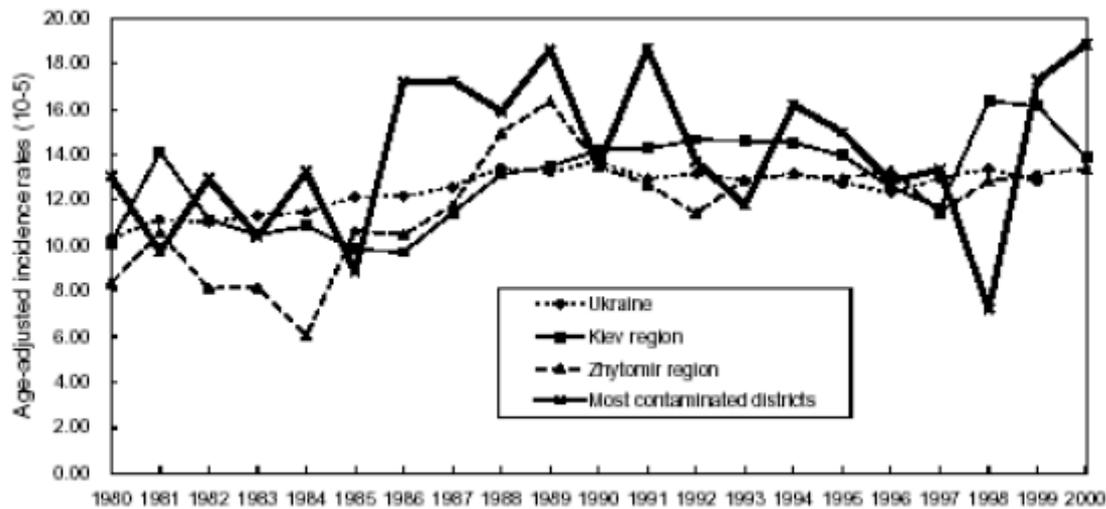


Figure 2.2.1. Taux d'incidence de la leucémie et du lymphome chez les hommes et les femmes en Ukraine (Prysyazhnyuk *et al.* 2002)

Après 1990, une augmentation considérable de la fréquence des lymphomes et leucémies est constatée chez les liquidateurs ukrainiens ayant travaillé entre 1986 et 1987 (Tableau 2.2.2. ci-dessous). On assiste également à une augmentation des cancers du sang chez les personnes évacuées de 1990 à 1993, c'est-à-dire quatre à sept ans après la catastrophe. En outre, la leucémie chez les enfants dans les zones contaminées des régions de Kiev et Zhytomir est significativement élevée entre 1986 et 1991 (Prysyazhnyuk *et al.* 2002).

Années	Nombre d'années-personnes d'observation	Nombre de cas observés	Nombre de cas prévus	SIR
Leucémie et lymphome : liquidateurs (hommes)				
1990-1997	577 536	183	81.6	224.2
1990-1993	263 084	81	31.8	255.0
1994-1997	314 452	102	49.9	204.6
Leucémie et lymphome : évacué-e-s de la zone des 30km (hommes et femmes)				
1990-1997	408 882	74	59.6	124.2
1990-1993	208 805	43	30.0	143.4
1994-1997	200 077	31	29.6	104.7
Leucémie: enfants, zones contaminées des districts de Kiev et de Zhytomir				
1980-1985	337 076	19	10.88	174.68
1986-1991	209 337	22	6.78	324.35
1992-1997	150 170	7	4.87	143.70
1998-2000	80 656	0	2.59	0.00

Tableau 2.2.2. Taux standardisés d'incidence de la leucémie dans quelques populations ukrainiennes (Prysyazhnyuk *et al.* 2002)

Une étude portant sur douze régions de l'Ukraine, dont quatre gravement contaminées par l'accident de Tchernobyl, révèle une augmentation du taux d'incidence de la leucémie infantile aigüe dans la plupart de celles-ci, à l'exception de la ville de Kiev. Le taux d'incidence de la leucémie aigüe chez les enfants de 10-14 ans augmente, principalement dans les régions contaminées (Moro 1998, Moro 2000 & Dodoma 2000, Moro *et al.* 1999).

Une étude des enfants dans la région de Zhytomir, irradiés *in utero* du fait de la catastrophe de Tchernobyl, et des enfants issus de populations exposées et non exposées dans la région de Poltava, révèle une augmentation significative de l'incidence de tous les types de leucémie chez les enfants exposés. Le taux de leucémie lymphoblastique aigüe est plus du triple dans la région exposée (Noshchenko *et al.* 2001).

L'analyse des taux d'incidence de la leucémie et du lymphome par périodes agrégées indique des niveaux plus élevés des taux d'incidence en 1986-1991, 1992-1997 et 1998-2000, par rapport à la période antérieure à la catastrophe (1980-1985), comme illustré dans le Tableau 2.2.3. En évaluant les sous-types de ces maladies, on constate une augmentation comparable de la leucémie lymphoïde, sur les périodes 1986-1991, 1992-1997 (de façon non significative), et 1998-2000. La leucémie myéloïde est elle-même en augmentation, sur les périodes 1986-1991 et 1998-2000. On peut supposer un effet écran des premières hausses après la période de la catastrophe. Les coefficients de régression globale pour toute cette période ne suggèrent pas de différence significative entre les différents territoires.

Taux d'incidence annuel moyen ajusté sur l'âge (10-5)				
Pathologies	1980-1985	1986-1991	1992-1997	1998-2000
Leucémie et lymphome	10.12 ± 0.75	15.63 ± 1.06	13.41 ± 1.10	13.82 ± 1.52
Lympho/réticulosarcome	1.84 ± 0.33	2.70 ± 0.41	3.70 ± 0.58	3.36 ± 0.90
Maladie de Hodgkin	1.82 ± 0.34	2.47 ± 0.48	2.10 ± 0.48	1.23 ± 0.50
Myélome multiple	0.54 ± 0.16	1.03 ± 0.25	0.78 ± 0.22	1.38 ± 0.40
Leucémie lymphoïde	3.08 ± 0.40	4.93 ± 0.59	2.97 ± 0.49	4.11 ± 0.75
Leucémie myéloïde	0.49 ± 0.17	1.99 ± 0.41	1.06 ± 0.30	2.32 ± 0.62
Autres leucémies	2.35 ± 0.36	2.51 ± 0.41	2.81 ± 0.53	1.41 ± 0.53

Tableau 2.2.3. Taux d'incidence de la leucémie et du lymphome parmi la population des 5 districts les plus contaminés dans les régions de Zhytomir et de Kiev, en Ukraine (Prysyazhnyuk *et al.* 2003)

2.3. AUTRES CANCERS

Bélarus

Entre 1987 et 1990, le Centre de Microchirurgie Ophtalmique à Minsk enregistre deux fois d'admissions pour rétinoblastome (cancer de la rétine) (Birich *et al.* 1994). Parmi les 32 000 hommes évacués de la zone des 30 km, le niveau de morbidité du cancer du poumon est quatre fois supérieur à la moyenne de l'ensemble du pays (Marple 1996). Dans la région de Gomel, on constate une hausse marquée de la morbidité du cancer de l'intestin, du rectum, du sein, de la vessie, du rein et du poumon. L'incidence de ces cancers est corrélée au niveau de contamination des sols causée par la catastrophe de Tchernobyl (Okeanov *et al.* 1996, Goncharova 2000). De 1987 à 1999, environ 26 000 cas de tumeurs malignes radio-induites (y compris la leucémie) sont enregistrés dans le pays, dont 18,7% de cas de cancer de la peau, 10,5% de cancer du poumon et 9,5% de cancer de l'estomac. Environ 11 000 personnes en sont mortes, dont 20,3% du cancer du poumon et 18,4% du cancer de l'estomac

Russie

La recherche sur la morbidité et la mortalité chez les liquidateurs russes indique que les tumeurs malignes (6,8%) comptent pour la troisième catégorie de maladie la plus fréquente. Toutefois, c'est la deuxième cause

de mortalité (26,3%). Les cancers les plus répandus sont les tumeurs malignes de la vessie et des reins, qui représentent ensemble 17,6% de tous les cancers. Ceci est deux fois plus élevé que la moyenne russe qui est de 7,5% (Khrisanfov & Meskikh 2001).

Le cas les plus fréquemment signalés après ceux-ci sont les tumeurs malignes localisés dans ces trois endroits: les organes respiratoires, l'estomac et l'hémoblaste (9%). Par rapport à la moyenne russe, le diagnostic de tumeurs malignes dans la glande thyroïde est 3 fois plus fréquent chez les liquidateurs, et le diagnostic de tumeurs dans les tissus lymphatiques et hématogéniques 2 fois plus élevé (Khrisanfov & Meskikh 2001).

On trouve 1,5 fois moins souvent de cancer du poumon que dans le reste de la Russie ; les tumeurs de l'estomac et du gros intestin sont également moins fréquentes (Khrisanfov & Meskikh 2001).

L'analyse de la distribution des maladies cancéreuses chez les liquidateurs décédés montre que le cancer du poumon est le plus répandu, suivi par le cancer de l'estomac. Ceci s'accorde avec les données du reste de la Russie. En troisième position vient l'hémoblastose, dépassant le niveau général russe par un facteur supérieur à 2. Parmi les tumeurs en d'autres parties du corps, les plus répandues sont les tumeurs cérébrales (48), les tumeurs de la glande thyroïde, des reins, de la vessie et du larynx (Khrisanfov & Meskikh 2001).

Le cancer des voies respiratoires est en augmentation chez les femmes dans les zones les plus contaminées de la région de Kalouga (Ivanov *et al.* 1997). A partir de 1995, la morbidité du cancer de l'estomac, des poumons, du sein, du rectum, du côlon, de la glande thyroïde, des tissus lymphatiques et hématopoïétiques, dans le sud-ouest de la région (contaminé à plus de 5 Ci/km²) est supérieure à la moyenne de l'ensemble de la région (Kukishev *et al.* 2001). En 1997, la morbidité infantile des tumeurs malignes dans les zones touchées par les retombées de Tchernobyl (régions de Briansk, Orel, Tula, Lipetsk et Smolensk) dépasse nettement la valeur moyenne de toute la Russie (Ouchakov *et al.* 2001). Selon certains indicateurs, l'incidence de certains cancers en 1986-1997 dans la population infantile de la région de Toulou est en hausse, comparée à celle de 1979-1985 (Tableau 2.3.1.).

Cancer	Indice de morbidité	Intervalle de confiance 95%
Cavité bucale, pharynx	0.08* 0.18**	0.01 – 0.29 0.02 0.07 – 0.37
Glande thyroïde	0.00* 0.24**	0.0 – 0.29 1.0 0.12 – 0.46
Glande surrénale	0.08* 0.18**	0.01 – 0.29 0.02 0.07 – 0.37
Tous cancers	10.3* 11.6**	9.05 – 11.7 10.5 – 12.7

Tableau 2.3.1. Incidence du cancer chez les enfants de la région de Tula pendant les périodes 1979-1985 et 1986-1997 (Ushakov *et al.* 2001). *1979-1985; **1986-1997

De 1990 à 1994, les enfants de la région de Tula commencent à être affectés significativement plus souvent de tumeurs des os, des tissus mous et du système nerveux central (Ouchakov *et al.* 2001). Dans les zones contaminées de la région (plus de 3 Ci/km²) de 1995 à 1997, la morbidité infantile de l'ensemble des cancers a été multipliée par 1,7 et la leucémie aiguë par 2,7. Selon certains indicateurs, la morbidité infantile des tumeurs malignes dans les zones non contaminées de la région de Tula en 1995-1997 est nettement plus basse que dans les zones contaminées.

Ukraine

Dans la plupart des territoires contaminés par la radioactivité, on enregistre un taux d'incidence du cancer du sein à peu près stable de 1980 à 1992 et plus faible que dans les zones de comparaison plus vastes

(régions d'Ukraine, Kiev et Zhytomir). Puis, à partir de 1992-2004, le taux d'incidence augmente dans les territoires contaminés (Prysyazhnyuk *et al.* 2004). De 1993 à 1997, la morbidité du cancer du sein chez les femmes vivant dans les territoires contaminés et parmi les évacuées est multipliée par 1,5 (Moskalenko 2003, Prysyazhnyuk *et al.* 2002). Parmi les sous-groupes de la population étudiés, les cancers du sein dépasse le niveau national chez les liquidateurs. De 1990 à 2004, le SIR est de 190,6% (95%, intervalle de confiance 163.6-217%). Une analyse du SIR pour les deux autres groupes (les personnes évacuées et les résidents des territoires contaminés) donne des résultats controversés. Par rapport au standard local, le SIR montre un excès statistiquement significatif du nombre réel de cas par rapport au nombre prévu, mais par rapport au standard national, aucun excès n'est visible.

Dans le même temps, l'augmentation du taux d'incidence du cancer du sein chez les femmes est flagrante dans chacun des trois groupes de victimes durant la période d'observation. Un suivi approfondi des cas de tumeurs malignes permettra d'évaluer l'éventuelle influence de l'effet écran et d'améliorer la qualité des statistiques sur le cancer en Ukraine.

Le cancer de la vessie est en augmentation significative dans les territoires contaminés de l'Ukraine (Romanenko *et al.* 1999). Pendant la période 1987-1994, on constate une augmentation du nombre d'enfants souffrant de tumeurs du système nerveux (Orlov 1995). La mortalité masculine par cancer de la prostate est multipliée par 1,5 à 2,2 dans les territoires contaminés, contre 1,3 dans l'ensemble de l'Ukraine (Omelyanets *et al.* 2001).

CONCLUSIONS SUR LES CANCERS

Les taux des différents types de cancer sont en augmentation significative en Russie, au Bélarus et en Ukraine depuis la catastrophe de Tchernobyl. Les impacts sont principalement perçus parmi les liquidateurs, les enfants et les populations des zones contaminées.

Des augmentations importantes de cancers solides sur tous les sites sont enregistrées parmi les liquidateurs du Bélarus et d'Ukraine, et les habitants des régions contaminées de Russie.

La leucémie est significativement plus élevée chez les liquidateurs en Russie et en Ukraine, chez les adultes au Bélarus et chez les enfants dans les zones contaminées de Russie et d'Ukraine.

Les cancers de la thyroïde augmentent de façon spectaculaire dans les trois pays, comme prévu du fait de la libération de grandes quantités d'iode radioactif lors de la catastrophe de Tchernobyl. Les enfants âgés de 0 à 4 ans au moment de l'exposition ont été particulièrement vulnérables à ce cancer. Pour l'ensemble des populations des trois pays, l'estimation suivante communément utilisée de la dose collective de thyroïde est: $5,53 \times 10^5$ personnes-Gy pour le Belarus; $7,4 \times 10^5$ Gy-personne pour l'Ukraine et $2-3 \times 10^5$ personnes-Gy pour la Russie. En utilisant la dose collective totale de la thyroïde, soit $1,6 \times 10^6$ personnes-Gy pour les trois pays et un facteur de risque de cancer de la thyroïde lié au rayonnement de 8×10^{-2} Gy⁻¹ (CIPR, 1991), ce sont environ 13 000 cas de cancers de la thyroïde qui sont attendus dans ces pays, comme conséquences de la catastrophe de Tchernobyl. Parmi ceux-ci, 10% seront fatals, soit 1 300 cas (Imanaka 2002). Cette estimation de la mortalité, bien sûr, exclut les décès dans les autres pays. La période de latence pour les cancers radio-induits de la thyroïde n'est pas encore établie, mais pourrait durer jusqu'à 50 ans (Komissarenko *et al.* 1995). Par conséquent, de nouveaux cas devraient apparaître durant les trente prochaines années. Des techniques chirurgicales radicales peuvent améliorer le pronostic des personnes atteintes de cancer de la thyroïde. Le suivi à long terme des populations à risque sera nécessaire pour permettre une intervention médicale opportune et efficace. Il est suggéré (Cardis *et al.*, 1999) que le nombre total de cancers de la thyroïde chez ceux âgés de moins de 5 ans au moment de l'accident pourrait atteindre entre 18 000 et 66 000 cas en seule Bélarus.

Outre les groupes critiques mentionnés ci-dessus, d'autres populations, telles que les personnes évacuées et celles vivant dans les vastes étendues de terres contaminées à des niveaux inférieurs, peuvent être également touchées, mais ne font pas l'objet d'une étude aussi rigoureuse. De ce fait, les données ne sont pas toujours valables. Toutefois, les estimations des taux de morbidité et de mortalité basées sur les doses collectives donnent des chiffres plus élevés que ceux effectivement enregistrés, ce qui indique que de nombreux cancers radio-induits peuvent ne pas avoir été encore effectivement enregistrés comme tels.

Des données fournies par Malko (2006) estiment à 93 080 le nombre de cancers mortels dans le monde entier, à partir d'une estimation maximale de 270 000 cancers supplémentaires dans le monde entier à la suite de la catastrophe de Tchernobyl (voir Tableau 2.3.2.).

Type de cancer	Nombre global de cas	Mortalité en %	Nombre global de décès
Cancer thyroïdien	137 000	10%	13 700
Autres cancers solides	123 000	58%	71 340
Leucémies	12 000	67%	8 040
Total	270 000		93 080

Tableau 2.3.2. Mortalité globale estimée du cancer résultant de la catastrophe de Tchernobyl.

Goffman (1990) fait une prédiction encore plus alarmante de 475 000 cancers solides mortels, 19 500 leucémies et 475 000 cancers solides non mortels agrégés pour l'ensemble des pays de l'hémisphère Nord touchés par les radiations de l'accident de Tchernobyl.

Des exemples de l'occurrence de divers cas de cancers solides résultant de l'accident de Tchernobyl selon Yablokov (2006) sont présentés dans le Tableau 2.3.3.

Localisation	Région et caractéristiques	Référence
Rétinoblastome	Multipliés par 2 entre 1987 et 1990 au Centre de Microchirurgie Ophtalmique à Minsk (Biélarus)	Birich <i>et al.</i> , 1994
Poumon	En augmentation multipliée par 4 chez 32 000 évacués, par rapport à la moyenne du Biélarus	Marples, 1996
Intestins, Côlon, Reins, Poumons, Glandes Mammaires, Vessie	En augmentation dans la zone de Gomel (Biélarus), corrélée au niveau de la pollution radioactive de Tchernobyl	Okeanov, Yakimovich, 1999
Organes respiratoires	En augmentation dans la zone de Kaluga (Russie), corrélée au niveau de la pollution radioactive de Tchernobyl	Ivanov <i>et al.</i> , 1997
Vessie	En augmentation chez les hommes des territoires ukrainiens pollués par Tchernobyl	Romanenko <i>et al.</i> , 1999
Bladder	En augmentation chez les liquidateurs au Belarus	Okeanov <i>et al.</i> , 1996
Système nerveux	En augmentation de 76,9% entre 1986 et 1989	Orlov <i>et al.</i> , 2001
Tous cancers	En augmentation (de 1,34% en 1986 à 3,91% en 1994) parmi les adultes des territoires pollués de la zone de Zhytomir (Ukraine)	Nagornaya, 1995
Pancréas	En augmentation multipliée par 10 dans les zones les plus polluées d'Ukraine, du Biélarus et de Russie, de 1986 à 1994	UNSCEAR, 2000
Sein	En augmentation multipliée par 1,5 dans les territoires pollués d'Ukraine, de 1993 à 1997	Moscalenko, 2003
Tous cancers chez les enfants	Taux remarquablement élevés (13,1-17,1 pour 100 000) dans les quatre zones les plus polluées de Russie, comparés à la moyenne russe (10,5) 11 ans après la catastrophe	Ushakova, <i>et al.</i> , 2000
	Partout en augmentation au Biélarus chez les enfants évacués ou vivant dans les régions polluées	Belookaya <i>et al.</i> , 2002
	Excédent de 20 fois supérieur en 1994 dans la zone de Gomel (fortement polluée), comparé à la zone moins polluée de Vitebsk (Biélarus)	Bogdanovich, 1997
	Le nombre de cas enregistrés en 1995-1996 dépasse de 15 fois ceux enregistrés en 1968-1987 dans la ville de Lipetsk (Russie)	Krapivin, 1997

Tableau 2.3.3. Exemples de l'occurrence de divers cas de cancers solides résultant de l'accident de Tchernobyl

REFERENCES

- Anon (1996). Chernobyl, cancer and creeping paranoia. *Economist*, March 9 1996, pp. 91—92.
- Anon (2005). Even today they try to shade the truth about Chernobyl. www.chernobyl-portal.org.ua. Accessed 26 November 2005. (in Russian)
- Barylyak I.R., Diomina E.A. (2003). Morbidity analysis among the participants of Chernobyl NPP accident liquidation// *Bulletin of Ukrainian Society of Geneticists and Breeders*. – 2003.- N°1.- P.107-120.
- Bebeshko V.G. (2001). Influence of the radiation and other factors of Chernobyl accident on health of children: the present and the future // *Journal of AMS of Ukraine*. v. 7, N° 3. pp. 450-458
- Belookaya T.V., Koryt'ko S.S., Mel'nov S.B. (2002). Medical effects of the low doses of ionizing radiation. *Mater. 4th Int. Congress on Integrative Anthropology, Saint-Peterburg*, pp.24-25 (in Russian).
- Birich V., Birich A., Pesaerenko D. (1994). Diagnostics, clinical characters and prophylactics of the cancer' setback at adults and children. Conf.: "The Chernobyl catastrophe: prognosis, prophylactics, treatment and medical-psychological rehabilitation of the suffers. *Collect. of Materials, Minsk*, pp. 32 – 34 (in Russian).
- Bogdanovich I.P. (1997). Comparative analysis of children (0-5 years) mortality in 1994 in the radioactive polluted and clean areas of Belarus. *Medical.-biolog. Effects and ways to overcome the consequences of the Chernobyl accident. Collection of sci. papers devoted by 10th anniversary of Chernobyl accident, Minsk–Vitebsk*, p. 4 (in Russian).
- Busby C. (1995). *The Wing of Death. Nuclear Pollution and Human Health*. Green Audit Book Ltd., Aberystwyth, IX+ 340 p.
- Cardis E., Amoros E., Klesminiene A. (1999). Observed and predicted thyroid cancer incidence following the Chernobyl accident: evidence for factors influencing susceptibility to radiation induced thyroid cancer. In: Thomas G., Karaoglou A, Williams E.D. (Eds.) *Radiation and Thyroid Cancer*. Syngapore, World Sci. Publ., pp. 395 – 404.
- CART (1989). *The guide for study of genetic effects in human populations. Hygienic criteria of the state of environment*. - Geneva: the CART, 1989. – N° 46. - 122 p.
- Dedov V.I., Dedov I.I., Stepanenko V.F. (1993) *Radiation endocrinology., "Medicine"* . 208 p Dedov I.I. & Dedov V.I. (1996). *Chernobyl: Radioactive Iodine and Thyroid Gland*. Moscow, 103 p. Demedchik E.P., Demedchik J.E., Rebeko V.Ya. (1994). Thyroid gland cancer in children. *Materials of the International Scientific Symposium "Medical aspects of radioactive influence on the population living in polluted territory after the Chernobyl nuclear power station accident"*. Gomel, pp. 43—44. (in Russian)
- Diomina E., Klyushin D., Petunin Yu. (2001). Ocena wplywu promieniowania na czestosc zachorowan na nowotwory zlosliwe u likwidatorow skutkow katastrofy w Czarnobylu // *Polski Przegl_d Radiologii*. - 2001.- T. 66, N° 2. - P.62-63.
- Diomina E.A. (2001). The role of the increase of cancer occurrence in liquidators of Chernobyl accident consequences // *Eur. Congr. Radiol.* – Vienna, 2001. – P. 448. 52
- Diomina E.A., Ganina K.P., Klyushin D.A., Petunin Yu.I. (2000). Statistical investigation of cytogenetic effects upon malignant neoplasms in liquidators of Chernobyl atomic power station accident//10th International congress on anticancer treatment. – Paris, 2000. – P.140.
- Diomina E.A. (2001). Influence of radiation exposure on emergence of cancerous new growths in the liquidators of Chernobyl NPP accident// *Problems of ecology and medical genetics and clinical immunology*. 1(33): 68-75.
- Drobyshevskaja I.M., Krysenko N.A., Okeanov A.E., Stezhko V. (1996). The State of health of the population of Belarus after Chernobyl accident. "Health Care of Belarus" Nr.5, pp 3-7 (in Russian)
- Drozd V.M. (2001). Continuing Scientific and Practical Workshop "Biological Effects of Low-Dose Ionizing Radiation", of the Byelorussian Committee "Children of Chernobyl". <http://library.by/shpargalka/belarus/ecology/001/ecl-005.htm>
- Dyachenko A.A., Grabovoy I.D., Illin L.N. (1996). *Chernobyl Accident. The feat. Lessons and conclusions: To the 10th anniversary of accident*. Moscow.: "Inter-Vesy", 784p. (in Russian)

- Fedorenko, Z.P., A.Ye.Prysyazhnyuk, V.G. Grystchenko, V.A.Zakordonets, M.M. Fuzik, L.O.Gulak et al. (2004). Leukaemia Incidence in the Zhytomir and Kiev Regions of Ukraine. 66 p. - www.chornobyl.net
- Fedorov L.A. (2002). Bulletin "Chemistry and Life". UCS-info. 864, April 25th, 2002.
- Fairlie I., Sumner D. (2006). The Other Report of Chernobyl (TORCH). Berlin, 91 pp. (http://www.greensefa.org/cms/topics/dokbin/118/118499.the_other_report_on_chernobyl_torch@en.pdf).
- Gpanovich V.; Shuvaeva L.P., Vinokurova G.G., Shapovalyuk N., Yaroshevich R.F., Melchakova N.M. (2001). Impact of the Chernobyl catastrophe to blood depressions at Belarusian children. 3rd Iner. Conf. "Medical consequences of the Chernobyl catastrophe: results of 15-years investigations. 4-8 June, 2001, Kiev, Ukraine", Abstracts, pp. 175 -176 (in Russian).
- Gofman J. (1990). Radiation-Induced Cancer from Low-Dose Exposure: an Independent Analysis. ISBN 0-932682-89-8
- Golubchikov M.V., Mikhnenko Yu.A., Babinets A.T. (2002). Alterations in the Health of the population of the Ukraine in the Post-Chernobyl Period: Report [5th Annual Scientific and Practical Conference "Into XXI century with safe nuclear technologies", Slavutich, September 12-14, 2001] . Scientific and technical aspects of Chernobyl, No 4, P. 579-581.
- Goncharova R.I. (2000). Remote consequences of the Chernobyl Disaster: Assesment After 13 Years. In: E.B. Burlakova (Ed.). Low Doses Radiation: Are they Dangerous? NOVA Sci. Publ., pp. 289 – 314.
- ICRP (1991) Publication 60: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP Volume 21(1-3). Publ: International Commission on Radiological Protection. ISBN: 0-08-041144-4, Year: 1991
- Imanaka T. (Ed.) (2002). Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia, Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-79), Kyoto, 297 p.
- International Commission on Radiological Protection (1966). The evaluation of risks from radiation. Health Phys. 12:239-302.
- Ivanov V., Matveenکو G., Byryukov A.P. (1996). Analysis of new registered illnesses at Kaluga area's liquidators. «Legacy of Chernobyl», Materials Sci.-Pract. Conf. "Medical-psychological, radio ecological and social-economical consequences of the Chernobyl accident in Kaluga area". Kaluga, Obninsk, # 2, pp. 233-234 (in Russian).
- Ivanov V.K., Tsyb A.F., Nilova E.V. (1997). Cancer risks in the Kaluga county of the Russian Federation 10 years after the Chernobyl accident. Radiat. Environ. Biophys. Vol. 36, pp. 161-167.
- Ivanov V.K. & Tsyb, A.F. (2002). Medical radiological aftermaths of the Chernobyl accident for the population of Russia; assessment of radiation-related risks. Moscow, "Meditsina" Publishing House, p. 389. ISBN 5-225-04339-9.
- Ivanov V., Tsyb A., Ivanov S., Pokrovsky V. (2004). "Medical Radiological Consequences of the Chernobyl Catastrophe in Russia. Estimation of Radiation Risks." St. Petersburg, Nauka, 388 p.
- Kindzels'ky L.P., Diomina E.A., Ganina K.P., Klyushkin D.A., Petunin Y.I. (1999). Influence of radiation factor on frequency of cancerous new growths in the liquidators of Chornobyl accident // Ukrainian Radiological Journal. 1: 35-36
- Klyushin D.A., Petunin Yu.I., Savkina M.Yu., Andrushkiv R.I., Diomina E.A. (2002). Statistical tests for comparing two probabilities and their application to cancer risk analysis /. // Proc. Int. Conf. of Mathematics and Engineering Techniques in Medicine and Biological Sciences, Las Vegas, Nevada (USA): 2002, v.1, p.165-169.
- Klyushin D.A., Diomina E.A., Petunin Y.I., Ganina K.P. (2001). Low doses of ionizing radiation as a risk factor of appearing cancer new growths in the liquidators Chernobyl NPP accident consequences //Radial diagnosis, radial therapy: Collection of scientific papers of Association of Radiologists of Ukraine. - Kiev, 2001.- Issue 9. - P.94-100.
- Komissarenko I.V., Rybakov S.I, Kovalenko A.E., Omelchuk A.V. (2002). Results of surgical treatment of the radiation-induced cancer of thyroid gland during the period after accident at the Chernobyl atomic power station // Chirurgiya Ukrainy 2: 62-64.
- Komissarenko I.V., Rybakov S.I., Kovalenko A.E. (1993). Surgical treatment of cancer of thyroid gland //Clinical surgery 12: 40-43.

- Komissarenko I.V., Rybakov S.I., Kovalenko A.E., Lysenko A.G., Demchenko N.P., Kvachenyuk A.N. (1995). Modern approaches and prospects of treatment of thyroid gland cancer // *Medical affairs.* _ 9-12: 23-26.
- Komissarenko I.V., Rybakov S.I., Kovalenko A.Ye., Larin A.S. (1992). Diagnostics and treatment of thyroid cancer in children. In: *Treatment of Thyroid Cancer in Childhood.* [Ed] J.Robbins. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA. pp. 97-102.
- Komissarenko I.V., Rybakov S.Y., Kovalenko A.Y., Omelchuk A.V. (2003). Experience of surgical service for radiation caused thyroid carcinoma // *Clinical endocrinology and endocrine surgery.* 2(1): 43-48.
- Komissarenko V., Rybakov S.Y., Kovalenko A.Y. (2001). Surgical service for thyroid carcinoma after Chernobyl NPP accident // *Bulletin of scientific research.* 4: 51-53.
- Konoplya E.F., Rolevich I.V. (eds). (1996). *The Chernobyl Accident Consequences in the Republic of Belarus.* National Report, Minsk, pp.45-46.
- Korol N., Shibata J. & Nakane Yo. (1999). Psychosomatic health status of children exposed to the Chernobyl accident: Abstr. 42nd Annual Meeting of the Japan Radiation Research Society, Hiroshima, Sept. 1-3, 1999. *J. Radiat. Res.* 40(4): 370-372.
- Krapivin N.N. (1997). *Chernobyl in Lipetsk: yesterday, today and tomorrow ...* Lipetsk, 36 p. (in Russian).
- Khrisanfov S.A. & Meskikh N.E. (2001). Analysis of Morbidity and Mortality Rates of Liquidators, According to the Findings of the Russian Interdepartmental Expert Panel. *Deferred Medical Effects of the Chernobyl Accident.* Works of 2nd Scientific Regional Conference. Moscow, 2001. P.85-92.
- Krysenko N. (2002). In review: Problems of chemical safety. *Chemistry and Life.* UCS-INFO, No864, April 25th.
- Kukishev V.P., Proshin A.D., Doroshenko V.N. (2001). Rendering referral medical care to the Bryansk Region population exposed to radiation following the Chernobyl accident. *Proceedings of the 2nd scientific and practical conference "Long-term medical aftermaths of the Chernobyl accident"*, Moscow, pp. 46 - 49.
- Lomat' L.N., Antipova S.I., Metel'skaya M.A. (1996). Illnesses of children suffering from the Chernobyl catastrophe, 1994. *Medical-biological consequences of the Chernobyl accident;* 1. pp. 38-47 (in Russian).
- Malashenko V.A. (2005). Medical-social problems of the territories affected by the Chernobyl nuclear power station accident. *Materials of the International Scientific-Practical Conference "Chernobyl – 20 years later. Social and economic problems and prospects of development of the affected territories"*, Bryansk, pp.142-144. (in Russian).
- Malko M.V. (1999). Assessment of the Chernobyl Radiological Consequences. In: Imanaka T. (Ed.). *Recent activities about the Radiological Consequences of the Chernobyl NPS Accident and Social Activities the Suffers by the Accident.* Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-21), Kyoto, pp. 65 – 89.
- Malko M.V. (2002). Chernobyl Radiation-induced Thyroid Cancers in Belarus. In: Imanaka T. (Ed.). *Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia.* Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-79), Kyoto, pp. 240- 256.
- Malko M.V. (2004). Radiogenic thyroid cancer in Belarus as consequences of the Chernobyl accident. In: *Med.-biol. Problems radio- and chemical protection.* Collect. of Papers Russ. Sci. conf., Sank-Petersburg, 20 – 21 May, 2004. pp. 113-114 (in Russian).
- Malko M.V. (2006). *Estimations of the Consequences of the Chernobyl Catastrophe,* under the title Publ: Centre of the Independent Environment Assessment of the Russian Academy of Sciences, ISBN 5-94442-011-1.
- Marples D.R. (1996). The decade of despair. *Bull. Atomic Sci.,* May/June, pp.22—31.
- Matsko V.P. (1999). Current State of Epidemiological Studies in Belarus about Chernobyl Sufferers. In: Imanaka T. (Ed.). *Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia.* Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-79), Kyoto, pp. 127-138.
- Moroz G. & Drozdova V. (2000). Risk of acute childhood leukaemia in Ukraine after the Chernobyl reactor accident. *The Hematology Journal,* Vol.1, Suppl. 1, p.3.
- Moroz G. (1998). Childhood leukaemia in Kiev city and Kiev region after Chernobyl -17 year follow p//*British Journal of Haematology.* Vol.102, 1, p.19.
- Moroz G., Drozdova V., Kireyeva S. (1999). Analysis of prognostic factors of acute leukaemia after Chernobyl in children of Kiev//*Annals of Hematology,* Suppl. II to Vol. 78, P.40.

- Moskalenko B. (2003). Estimation of the Chernobyl accident consequences for the Ukrainian population. *The World Ecological Bulletin*, Vol. XIV, No 3-4, pp. 4-7 (in Russian).
- Nagornaya A.M. (1995). Adult population health of Zhytomir area, which suffer from radioactive impact after the Chernobyl accident and living in the strict control radiation zone (by National register data). «Public health problems and perspectives of Zhytomir area», *Materials Sci.- Pract. Conf. devoted 100-years anniversary O.F. Gerbachevsky' hospital, Zhytomir, 14 September, 1995*”, Zhytomir, pp. 58–60 (in Ukrainian).
- National Report of Belarus (2003) "Committee on the Problems of the Consequences of the Catastrophe at the Chernobyl NPP under the Council of Ministers of the Republic of Belarus", Minsk, 2003, publ: ZAO Propilei, ISBN 985-6329-42-6.
- National Report of Ukraine 20 years of Chernobyl Catastrophe. A sight of Future. (2006). Kiev; http://mns.gov.ua/news_show.php?
- Noshchenko A.G., Moysich K.B., Bondar A., Zamostyan P.V., Drosdova V.D., Michalek A.M. (2001). Patterns of acute leukaemia occurrence among children in the Chernobyl region. *International Journal of Epidemiology*, 30, pp.125-129.
- Okeanov A.E., Sosnovskaya E.Y., Priatkina O.P. (2004). A national center registry to assess trends after the Chernobyl accident. *Swiss Med. Weekly*, # 134, pp. 645 – 649.
- Okeanov A. E., Yakimovich G. V., Zolotko N. I., Kulinkina V. V. (1996). Dynamics of malignant neoplasms incidence in Belarus, 1974-1995. *Biomedical aspects of Chernobyl NPP accident*. N°. 1, pp. 4 - 14 (in Russian).
- Okeanov N.N., Yakimovich A.V. (1999). Incidence of malignant neoplasms in population of Gomel Region following the Chernobyl accident. *Int. J. of Radiat. Medicine*, vol. 1, No 1, pp. 49 –54 (cit. by R.I.Goncharova, 2000).
- Omelyanets N.I., Kartashova S.S., Dubovaya N.F., Savchenko A.B. (2001). Cancer mortality and its impact on life expectancy in the radioactive polluted territories of Ukraine. 3rd Inter. Conf. “Medical consequences of the Chernobyl catastrophe: results of the 15-years investigations. 4-8 June 2001, Kiev, Ukraine”. Abstracts, Kiev, pp. 254 – 255 (in Russian).
- Omelyanets N.I., Klementev A.A. (2001). Mortality and longevity analysis of Ukrainian population after the Chernobyl catastrophe. 3rd Inter. Conf. “Medical consequences of the Chernobyl catastrophe: results of the 15-years investigations. 4 - 8 June 2001, Kiev, Ukraine”. Abstracts, Kiev, pp. 255 – 256 (in Russian).
- Orlov Y. A. (1995). Neuro-surgery pathologies' structure at children in post-Chernobyl period. *Materials Inter, Sci. Conf. “Actual and prognostic infringements of psychic health after the nuclear catastrophe in Chernobyl, 24 -28 May, 1995. Kiev, Ukraine*”, Kiev, "Chernobyl Doctors" Assoc., p. 298 (in Russian).
- Orlov Y. A., Verchogliadova T.L., Plavsky N.V., Malysheva A., Shaversky A.V., Guslitzer L.N. (2001). CNS tumors at children (Ukrainian morbidity for 25 years). 3rd Inter. Conf. “Medical consequences of the Chernobyl catastrophe: results of the 15-years investigations. 4-8 June 2001, Kiev, Ukraine”. Abstracts, Kiev, pp. 258 (in Russian).
- Pilyukova R.I. (2004). Effectiveness of screening of nodal formations among the population, which was subjected to radioactive action as a result of catastrophe on Chernobyl NPP. In: *Current problems of radiation hygiene. Abstracts of the Scientific - Practical. conference, 21-25 June 2004, St. Petersburg*, pp. 187-188. (in Russian).
- Pitkevich V. A., Ivanov V.K., Tsyb A.F. (1995). Dosimetric Data of the Russian State Medical-Dosimetric Registry for the Liquidators.// *Radiation and risk, 1995, special issue 2*. – p. 3-44.
- Postoyalko L.A. (2004). Medical consequences of the Chernobyl accident in Belarus: problems and prospects. *Medical News*, No 11, pp. 3– 6.
- Proshin A.D., Doroshchenko V.N., Gavrilenko S.V., Pochtennaya G.T. (2005). The incidence of a thyroid gland cancer among inhabitants of Bryansk area after accident on the Chernobyl nuclear power station. *Materials of the International Scientific-Practical Conference “Chernobyl – 20 years later. Social and economic problems and prospects of development of the affected territories »*, Bryansk, pp.186-189. (in Russian).

- Prysyazhnyuk A. *et al.* (1995). The time trends of cancer incidence in the most contaminated regions of the Ukraine before and after the Chernobyl accident. *Radiat, Environ. Biophys.* 34: 3-6.
- Prysyazhnyuk A., Gulak L., Gristchenko V., Fedorenko Z. (2002b). Cancer incidence in Ukraine after the Chernobyl accident./ *Chernobyl: Message for the 21th Century. Esceptra Medica, International Congress Series 1234.* Edited by S.Yamashita *et. al.*, PP. 281-291.
- Prysyazhnyuk A., Romanenko A., Kayro I., Shpak V., Gristchenko V., Fuzik M., Fedorenko Z., Gulak L., Goroh Ye., Tirmarche M., Valenty M. (2005). Risk of development of thyroid cancer in adolescents and adults resideng in the territories of Ukraine with the highest integral fallouts radioiodine due to the Chernobyl accident. In: *Social risks, Book 2, Kiev. 2005, P.207-219* (in Ukrainian).
- Prysyazhnyuk A., Gristchenko V., Fedorenko Z., Fuzik M, Gulak L., Slipeniuk K., Bormosheva I. (2002a). Review of epidemiological finding in study of medical consequences of the Chernobyl accident in Ukrainian population. In: *Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia.- Edit.: T. Imanaka.- Kyoto., - P.188-201.*
- Prysyazhnyuk A., Gristchenko V., Zakordonets V., Fuzik M., Slipeniuk K., Ryzhak I. (1995). The time trends of cancer incidence in the most contaminated regions of the Ukraine before and after the Chernobyl accident/*Radiat. Environ. Biophys.*Vol.34.- P.3-6.
- Prysyazhnyuk A., Pjatak O., Buzunov V. & Beral V. (1991). Cancer in the Ukraine, post-Chernobyl. *Lancet*, 338: 1334-5.
- Prysyazhnyuk A.Ye., Grishtshenko V.G., Fedorenko Z.P., Gulak L.O. & Fuzik M.M. (2002). Review of Epidemiological Finding in Study of Medical Consequences of the Chernobyl Accident in Ukrainian Population In: Imanaka T. (Ed.). *Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia.* Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-79), Kyoto, pp. 188 – 287.
- Prysyazhnyuk A.Ye., Grystchenko V. G., Zakordonets V. A. *et al.* (2004). Solid Cancer Incidence in the Most Highly Contaminated Regions of the Ukraine. 40 p. - www.chornobyl.net
- Pysyazhnyuk A. (1993). Spatio-temporal models for incidence of malignant neoplasms in the area subjected to radioactive contamination after the Chernobyl accident // *The Chernobyl papers. Vol. 1. Research Enterprises. Publishing Segment.- pp. 399-423.*
- Romanenko A., Lee C., Yamamoto S. *et al.* (1999). Urinary bladder lesions after the Chernobyl accident: immune-histochemical assessment of proliferating cell nuclear antigen, cyclin D1 and P 21 waf1/Cip. *Japan J. Cancer Res.*, vol. 90, pp. 144 - 153.
- Romanenko A.Ye., Prysyazhnyuk A.Ye., Grystchenko V.G., Kayro I.A., Shpak V.M., Fuzik M.M, Gulak L.O., *et al.* (2004). Thyroid cancer in adolescents and adults in the most affected territories of Ukraine after the Chernobyl accident .58 p. - www.chornobyl.net.
- Rybakov S.J., Komissarenko I.V., Tronko N.D., Kvachenyuk A.N., Bogdanova T.I., Kovalenko A.E., Bolgov M.Y. (2000). Thyroid cancer in children of Ukraine after the Chernobyl accident // *World J. Surg.* 24(11): 1446-1449.
- Shcheglova E. (2004). Chernobyl accident rescuers and their children. *TRUD (Labour)*, June 19th, p. 3.
- Sinclair, W.K. (1996). The international role of RERF. In: *RERF Update* 8(1): 6-8.
- The State Committee of Statistics of Ukraine (2005). Distribution of the resident population of Ukraine by gender and age as for January 1, 2005 // *Statistical collection. Kiev.*, 412 p.
- Tronko N.D. & Bogdanova T.I. (1997). Cancer of thyroid gland in children of Ukraine (a consequence of Chernobyl accident): *K.Chernobylinterinform*, 200p.
- Tsyb A.F. (1996). A Chernobyl trace in Russia. « *Tverskaya, 13* », N° 17. p. 5 (in Russian).
- UNDR, UNICEF, UN-OCHA & WHO (2002). *The Human Consequences of the Chornobyl Nuclear Accident. A strategy for Recovery. A Report Commissioned by UNDR and UNICEF with the support of UN-OCHA and WHO.* 25 January 2002. 75 p.
- UNSCEAR (2000). *Report to the General Assembly. United Nations, New York*, 130 pp.
- Ushakov I.B., Arlashchenko N.I., Dolzhanov A.J., Popov V.I. (1997). *Chernobyl: radiating psychophysiology and ecology of the person.* Publishing house of SSRI of aviation and space medicine, Moscow, 247 p.
- Ushakov T.I., Axel E.M., Bugaeva A.R., Maykova S.A., Durnoe L.A., Polyakov V.G., Smirnov A.F. (2001). Peculiarities of morbidity with malignant neoplasms in children of the Tula Region after the

- Chernobyl accident. Collected papers "Chernobyl: duty and courage", Vol. 1, pp. 26-30. (www.iss.niit.ru/book-4/glav-2-26.htm).
- Ushakova N., Aksel' E.M., Bugaeva A.R., Maikova S.A., Durnoe L.A., Poliakov V.G., Symonov A.F. (2000). Peculiarities of the cancer tumors illnesses at children of Tula area after the Chernobyl catastrophe. In: «Chernobyl: Duty and courage», vol. I (<http://www.iss.niit.ru/book-4/glav-2-26.htm>) (in Russian).
- Vtyurin B.M., Tsyb A.F. Rummyantsev P.O. *et al.* (2001). Diagnostics and treatment of cancer of thyroid gland of the people living on territories of Russia polluted as a result of the Chernobyl atomic power station accident. The Russian Oncologic Journal. N° 2. pp. 4-8.
- WHO (1996) WHO program on the investigation of the Chernobyl problems. Nature Nr. 1, pp.115-116 (in Russian).
- Zborovsky E., Grakovich A.A, Kozlov I.D. (1995). Dynamics of mortality in populations of Narovlya area Minsk. Materials of International Scientific Conference for the event of the 5th anniversary of Gomel National Medical Institute, 9-10 November 1995, Gomel, pp. 14-15. (in Russian).
- Zubovskij G.A., Tararuhina O.B. (1991). The state of a hypophysis-thyroid system during treatment I-131. The Medical Radiology. N 3. p.32-35.
- Yablokov A. (2006). The Chernobyl catastrophe – 20 years after (a matter review). In: Busby C.C., Yablokov A.V. (Eds.). ECCR Chernobyl: 20 Years On. Health Effects of the Chernobyl Accident. Documents of the ECCR, N 1, Green Audit, Aberystwyth, pp. 5 – 48.

3. LES MALADIES NON CANCEREUSES

La tendance de nombreux chercheurs à se focaliser sur la maladie et la mort résultant des divers tient peut-être au fait que les effets sanitaires et la morbidité non cancéreuses sont en grande partie négligés. La section qui suit tente d'apporter quelque éclaircissement sur les différents syndromes morbides étudiés dans le contre-coup de l'accident.

Comme les études sur les cancers, les études sur les maladies non cancéreuses tendent à se concentrer sur les groupes critiques de la population exposée aux radiations, y compris les liquidateurs, les résidents des zones contaminées, les évacués de ces zones contaminées et les enfants. En outre, certaines études sur des sujets animaux dans les zones contaminées contribuent à illustrer les impacts potentiels généralisés sur la santé des organismes irradiés.

Les chercheurs de l'Institut de Pathologie expérimentale, d'Oncologie et de Radiobiologie à Kiev ont mené des études sur les rats et les souris exposées aux radiations dans la zone d'exclusion de Tchernobyl.

Diverses modifications nocives sont identifiées dans le système respiratoire, le système sanguin et vasculaire, la moelle osseuse et le système reproducteur dans ces populations animales. De plus, des dommages au métabolisme et au système immunitaire sont constatés, de même qu'une augmentation des maladies, y compris le cancer. L'espérance de vie est réduite et la mortalité augmente dès le premier âge de la vie (Serkiz *et al.* 1994 & 1997, Yurchenko *et al.* 2001, Serkiz *et al.* 2003, Druzhina *et al.* 2001, Pinchuk *et al.* 1996).

On observe une perturbation de la fonction du système immunitaire dans les deux générations F_0 , nées de parents non exposés, relogées dans la zone d'exclusion, ainsi que chez leurs descendants exposés en permanence (Serkiz *et al.* 2003). En outre, tandis que la fonction immunitaire de la génération F_1 chez les animaux de trois mois ne diffèrent pas de celle des témoins, la génération suivante présente des symptômes de dysfonctionnement immunitaire aigu au même âge.

Pris dans leur ensemble, les résultats de ces études sur les animaux indiquent une disruption étendue des systèmes physiologiques, avec son potentiel d'effets nocifs causés par les maladies cancéreuses et non cancéreuses. De plus, la compromission du système immunitaire implique de possibles modifications de la fonction endocrinienne, et suggère de surcroît la possibilité accrue de contracter une maladie infectieuse (Serkiz *et al.* 2003). Les impacts chez les animaux sont observés parallèlement avec les perturbations de la santé des êtres humains irradiés par l'accident, quoique dans de nombreux cas, la preuve de l'impact sur la santé humaine soit apparue plus lentement. Les sections suivantes de ce rapport explorent les conséquences liées aux maladies non cancéreuses chez les populations exposées aux radiations de Tchernobyl.

3.1. MALADIES NON CANCEREUSES GENERALISEES

(i) les liquidateurs

Une étude portant sur une cohorte de 68 145 liquidateurs masculins ayant travaillé en 1986-1987 a été conduite pour confirmer l'étendue de la mortalité et de la morbidité non cancéreuses. Ces hommes figurent sur la liste du Registre d'Etat de l'Ukraine (SRU) des personnes affectées par l'accident de Tchernobyl, et ils ont suivi des examens médicaux annuels de 1988 à 2003. La dose individuelle moyenne de l'irradiation externe corporelle totale pour cette cohorte est estimée à 0,146 Gy. Parmi ceux-ci, 11,4% ayant reçu des doses d'irradiation corporelle totale de moins de 0,05 Gy sont retenus pour constituer le groupe de contrôle dans cette étude. Quant au reste de la cohorte, 77,8% ont reçu des doses variant de 0,05 à 0,249 Gy et 10,8% des doses variant de 0,25 à 0,7 Gy.

L'analyse, utilisant les programmes d'analyse statistique SYSTAT, EPICURE et EGRET, révèle des changements nocifs importants dans l'état de santé de ces liquidateurs. Sur la période de 17 ans après l'accident de Tchernobyl, la proportion de personnes apparemment en bonne santé dans cette cohorte diminue de 9,4 fois, passant ainsi de 67,6% à 7,2%. Cette dégradation de la santé est attribuée aux maladies somatiques générales. La Figure 3.1.1 montre la dynamique de la morbidité non tumorale, l'invalidité et la mortalité subséquente aux maladies non tumorales chez les liquidateurs ayant travaillé entre 1986 et 1987, sur la période de 1988 à 2003 (donnée SRU).

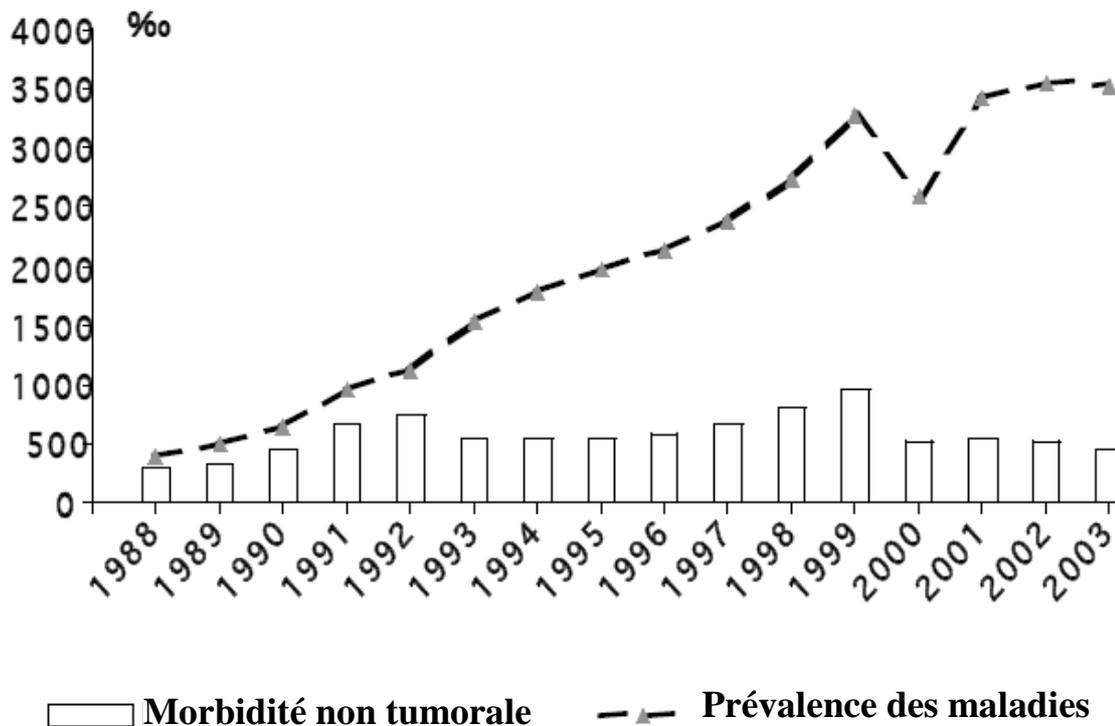


Figure 3.1.1. Dynamique de la morbidité non tumorale et prévalence des maladies chez les liquidateurs ukrainiens de 1986-1987, durant la période 1988-2003 (basées sur les données du Registre national de l'Ukraine)

L'étude montre que, durant la période de 1988 à 2003, il y a une augmentation multipliée par 9,3 des maladies non tumorales (Tereshchenko et coll. 2003), principalement imputable aux maladies cardiovasculaires, aux maladies d'origine alimentaire, aux maladies du système nerveux et des organes sensoriels, ainsi qu'aux maladies des systèmes respiratoire, du squelettique, musculaire et endocrinien. A leur tour, ces maladies sont les principales causes d'invalidité et de mortalité (Tereshchenko et coll. 2002). Un niveau élevé d'invalidité et d'incapacité est décrit dans la population d'étude: il passe de 2,7‰ en 1988 à 208,5‰ en 2003 (Figure 3.1.2). La mortalité dans ce groupe augmente entre 1988 et 1998, et après une courte phase de déclin, remonte une fois de plus à environ 10‰ en 2002-2003 (Figure 3.1.3).

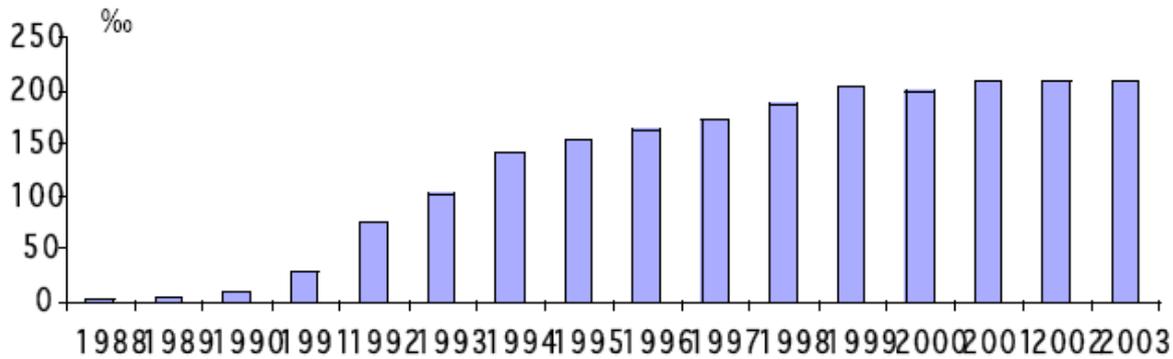


Figure 3.1.2. Dynamique de l'invalidité/incapacité, en relation avec la morbidité non tumorale chez les liquidateurs ukrainiens de 1986-1987, pendant la période 1988-2003 (basée sur les données du Registre d'Etat de l'Ukraine)

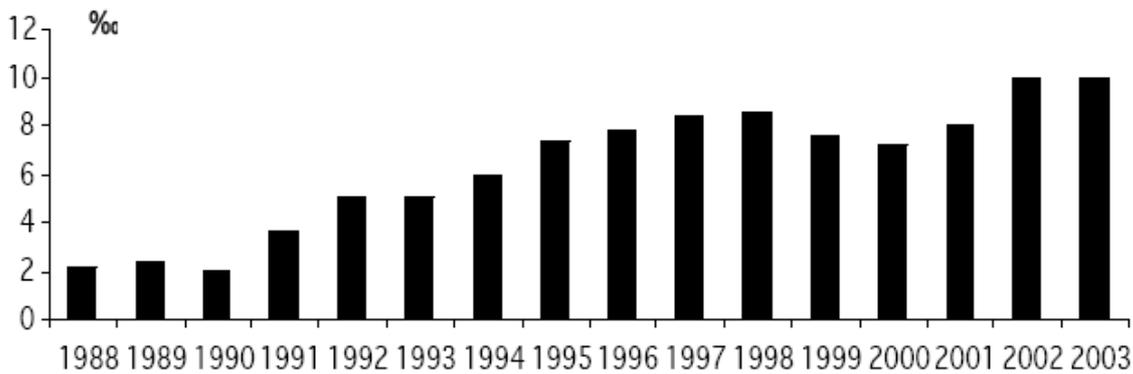


Figure 3.1.3. Dynamique de la létalité de la morbidité non tumorale entre 1988 et 2003, chez les liquidateurs Ukrainiens de 1986-1987 (établie à partir des données du Registre d'Etat de l'Ukraine)

Le groupe de liquidateurs présentant une dose d'irradiation corporelle totale de 0,25 - 0,7 Gy présente un niveau de la morbidité non cancéreuse significativement plus élevé ($p < 0,05$) que le groupe de liquidateurs dont les doses se situent entre 0,05 et 0,249 Gy (Buzunov *et al.* 2004a).

La dose-dépendance de la morbidité et de la mortalité imputable aux maladies autres que le cancer est étudiée avec les méthodes de l'analyse multivariée (régression logistique multiple). L'influence de l'âge, de la dose d'irradiation externe et de la période d'exposition sont prises en compte. L'analyse (Buzunov *et al.* 2004b, Tereshchenko *et al.* 2005) démontre un excès du risque relatif dépendant de la dose (ERR- 1/Gy) pour: la thyroïdite ERR = 0,67 (intervalle de confiance IC à 95% = 0,18 ; 1,15); l'hypothyroïdisme ERR = 0,4 (IC à 95% = 0,21 ; 0,57); la mapathologie cérébrovasculaire ERR = 1,33 (IC à 95% = 0,58 ; 2,34); les maladies du système nerveux et des organes sensoriels ERR = 0,57 (IC à 95% = 0,32 ; 0,92) et la dystonie neurocirculatoire ERR = 1,03 (IC à 95% = 0,30 ; 1,92). Ces résultats sont confirmés par d'autres études (Ivanov *et al.* 1999).

L'excès de risque relatif (ERR) de la mortalité générale pour les liquidateurs âgés de plus de 40 ans est de 0,64 (IC à 95% = 0,42 ; 0,88). L'ERR de létalité cardiovasculaire est de 1,1 (IC à 95% = 0,83 ; 1,41) pour ceux de moins de 40 ans, et de 0,64 (IC à 95% = 0,5 ; 0,8) pour ceux de plus de 40 ans.

La Commission d'Experts Interdépartementale russe, rassemblée sous les auspices du Centre russe de Radiologie Scientifique du Ministère de la Santé de la Fédération de Russie a examiné 1 000 rapports médicaux de liquidateurs (la plupart masculins) pour certifier les principales maladies causant l'invalidité ou la mortalité. Dans les cas où il était nécessaire de clarifier le diagnostic, la Commission a transféré les patients à l'établissement médical le plus qualifié. Les documents médicaux primaires fournis étaient

complets, et la Commission (composée d'éminents spécialistes de divers domaines médicaux) d'un niveau de compétence médical élevé. La sûreté des diagnostics s'en est trouvée significativement accrue (Zubovsky & Smirnov 1999).

A considérer la morbidité générale dans la population de la Russie pendant les années 2000-2002 (indices de base de santé et de protection sanitaire pour la Fédération de Russie, selon les données du Ministère russe de la Santé, M. 2003.), la proportion chez les liquidateurs dépasse de plusieurs fois les proportions moyennes russes (Oradovskaya *et al.* 2001, 2005, Oradovskaya 2004).

Une forte proportion (64,7%) de liquidateurs en âge de travailler souffre d'invalidité ou d'incapacité de travail. Dans de nombreux cas (63%), les liquidateurs sont affectés de maladies circulatoires, neurologiques et psychiatriques. Il est à noter que la maladie cardiaque ischémique se développe plus précocement, tout particulièrement parmi les liquidateurs ayant travaillé en 1986. Ces résultats suggèrent un développement précoce des lésions athérosclérotiques des vaisseaux coronaires et cérébraux chez les personnes exposées aux radiations. Ces dernières années, la proportion du groupe affectée par ces maladies graves (maladie cardiaque ischémique, choc cérébrovasculaire et encéphalopathie) apparaît être en augmentation (Khrisanfov & Meskikh 2001).

Les causes de mortalité les plus courantes parmi les liquidateurs comprennent les maladies circulatoires (63%) aussi bien que les tumeurs malignes (26.3%). Cependant, il y a remarquablement peu de morts parmi les liquidateurs causées par les maladies gastro-intestinales (7%), les maladies pulmonaires (5%), les blessures et l'empoisonnement (5%), ou la tuberculose (3%) (Khrisanfov & Meskikh 2001).

(ii) Les enfants

Selon les données du Ministère de la Protection Sociale de l'Ukraine, début 2005, le nombre total d'enfants résidant dans les zones contaminées, qui y sont nés, y ont vécu et continuent d'y vivre dans des conditions d'exposition chronique aux rayonnements de faibles doses, est en excès d'un demi million. Les chercheurs ukrainiens, russes et biélorussiens poursuivent la publication de données sur l'excès de la morbidité non cancéreuse observée chez les enfants résidant dans les territoires contaminés par l'accident de Tchernobyl. La morbidité générale est au-dessus du niveau national pour l'ensemble de la population, comme le sont certaines pathologies spécifiques du système endocrinien, de la circulation sanguine, du sang et des tissus hématopoïétiques (Baleva *et al.* 2001, Stepanova *et al.* 2001, Tsyb & Ivanov 2001, Cheban 1999).

De plus, la morbidité excessive dans les pathologies du système nerveux et des organes sensoriels est établie. La littérature abonde en rapports sur les niveaux excessifs enregistrés concernant certains troubles psychiatriques (Romanenko *et al.* 2001), les maladies des systèmes respiratoire et digestif (Avchacheva *et al.* 2001, Korol *et al.* 2001, Metelskaya 2001, Naboka *et al.* 2001), les maladies du système squelette-musculaire (Lukianova *et al.* 2003) et uro-génital (Romanenko *et al.* 2001), ainsi que les anomalies congénitales (Lukianova *et al.* 2003, Stepanova *et al.* 2002).

«Le syndrome de l'enfant malade» est considéré anecdotiquement, comme une caractéristique de la population des enfants de Tchernobyl (Stepanova *et al.* 2003). Si par le passé, on a pu fonder une analyse sur de simples exemples de maladies cliniques ou sur les données de rapports statistiques officiels du Ministère ukrainien de la Santé Publique, la situation aujourd'hui n'est plus la même. Depuis ces cinq dernières années sont apparues des publications qui s'appuient sur l'analyse de données contenues dans les Registres Nationaux de l'Etat d'Ukraine (Tsyb & Ivanov 2001, Ivanov 2002) et le registre complémentaire concernant les enfants affectés par l'accident de Tchernobyl (Korol *et al.* 2001, Kurbanova 1998). Enfin, les résultats des études de cohortes sont publiés.

Ces études de cohortes montrent que l'excès de morbidité chez les enfants des zones contaminées d'Ukraine, du Bélarus et de la Fédération de Russie varie de 2 à 7% au-dessus de celui des groupes de contrôle (Baleva *et al.* 2001), jusqu'à 2 à 2,5 fois plus que dans les populations témoins (Lukianova *et al.* 2003, Romanenko

et al. 2001). La proportion des enfants en parfaite santé résidant en seconde zone s'élève à 5% (5-15 kBq/m²), comparée à 30% dans le groupe de contrôle (Lukianova *et al.* 2003).

3.2. MALADIES DU SYSTEME RESPIRATOIRE

L'une des caractéristiques de l'accident de Tchernobyl est le rejet dans l'environnement, non seulement des produits de fission, mais aussi des combustibles nucléaires (^{238}U et ^{235}U enrichi) et des radionucléides formés par les produits d'activation. La radioactivité a pénétré l'atmosphère sous une forme gazeuse, d'ions moléculaires, et comme un aérosol radioactif – contenant des «particules chaudes». Ces dernières se sont formées de deux manières: d'abord, comme résultant de l'explosion dans le réacteur et de la chaleur subséquentement provoquée («particules solides chaudes»); ensuite, comme résultant du lessivage des radionucléides libérées par les gouttelettes d'eau contenues dans l'atmosphère («particules liquides chaudes»). Les micro-particules, jusqu'à 5 microns de diamètre, se sont laissées facilement entraîner dans la partie inférieure des poumons, et celles de 20 à 40 microns de diamètre se sont déposées dans les voies respiratoires supérieures (Khrushch *et al.* 1988, Malachanko & Goluenko 1990, Ivanov *et al.* 1990, IAEA 1994). De là, on peut anticiper un impact radiologique variable, selon la nature et la taille des particules en question.

Ainsi, durant les dix premiers jours suivant l'accident, avec les émissions qui continuaient de tourner dans l'air ambiant, l'irradiation du système broncho-pulmonaire a été produite par inhalation des radiations véhiculées par l'air. La contribution des différents radionucléides à la dose reçue dans les poumons dépend de la forme chimique du radionucléide, de son activité et de sa demi-vie. Au cours de cette première période critique, les impacts majeurs sur les poumons des populations exposées sont dus à ^{131}I , au ^{106}Ru et au ^{144}Ce (Chuchalin *et al.* 1998, Tereshchenko *et al.* 2004, Kut'kov 1998, IAEA 1992).

Après quoi, le rejet du réacteur et les quantités de radioactivité libérées dans l'air ont fortement décliné. La re-suspension atmosphérique de particules radioactives par le vent ou résultant de l'activité industrielle a été considérée comme non significative. C'est pourquoi, l'irradiation pulmonaire qui s'est produite par la suite est davantage le fait de l'irradiation externe émanant des dépôts de radioactivité, que le fait de l'inhalation proprement dite (Khrushch *et al.* 1988, Malachanko & Goluenko 1990, Ivanov *et al.* 1990, IAEA 1994). Cette chronologie est importante pour comprendre les critères de pathologie qui se dégagent de l'étude des populations exposées.

Bélarus

Parmi les évacués de la zone des 30 km, la morbidité du système respiratoire en 1995 est de 2 566 cas pour 1 000, comparée à 1 666 pour la population générale (Matsko 1999).

Russie

Une étude plus complexe et à long terme, des effets de l'accident de Tchernobyl sur les poumons a été réalisée par l'Institut de Pulmonologie à Moscou (Russie). L'étude est axée sur la pathologie broncho-pulmonaire chez les liquidateurs de la centrale accidentée (Chuchalin A.G., *et al.* 1993-1998). Parmi ceux-ci, 440 présentant une maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) ont été suivis selon des méthodes de recherche clinique et de laboratoire contemporaines. Celles-ci impliquent la volumétrie du débit de pointe, la broncho-endoscopie, les examens morphologique, immunologique et microbiologique, ainsi que la spectrographie de masse au laser (Chuchalin *et al.* 1998).

L'étude établit que des métaux lourds radioactifs peuvent se trouver 6 à 10 ans après l'accident dans les poumons des liquidateurs en observation. La spectrométrie de masse au laser se révèle utile à l'étude simultanée des aspects quantitatif et qualitatif des métaux lourds dans les tissus et les tumeurs des sujets ayant été exposés aux radiations. Ces techniques permettent de mesurer la répartition des radionucléides au milieu des tissus pulmonaires et les modifications de la composition élémentaire de ces tissus au cours du développement des tumeurs.

La grande prévalence des problèmes respiratoires chroniques chez les liquidateurs et la persistance prolongée de particules radioactives inhalées dans leurs poumons suggèrent un lien concret entre l'exposition à la radioactivité et les maladies observées. Dans des conditions à la fois d'irradiation externe et d'absorption de mélange de particules radioactives, l'appareil broncho-pulmonaire est devenu l'un des principaux «organes-cibles», où les effets stochastiques et non-stochastiques se sont concrétisés sous forme de maladies pulmonaires obstructives chroniques (MPOC).

En outre, on a recherché des aberrations moléculaires liées au cancer sur des biopsies prélevées chez les anciens liquidateurs affectés au nettoyage à Tchernobyl, qu'on a comparées à celles de fumeurs et non-fumeurs non exposés aux radiations : il s'agit de la mutation K-RAS du codon 12, de l'hyperméthylation du promoteur p16 (INK4A) et d'altérations microsatellites en sept régions chromosomales.

Les résultats indiquent la persistance de particules radioactives inhalées associée à l'apparition de la perte de l'allèle en 3p12, 3p14.2 (FHIT), 3p21, 3p22-24 (hMLH1) et 9p21 (p16 INK4A) dans l'épithélium bronchial de ceux-ci, en comparaison avec le groupe de contrôle des fumeurs. La prévalence de la perte de l'allèle en 3p14.2 est associée à l'expression déficiente de la FHIT de l'ARN messager dans leur épithélium bronchial, en comparaison avec celui des fumeurs dans le groupe de contrôle. Pendant les nombreuses années du suivi, des échantillons d'épithélium sont prélevés dans la même zone de l'arborescence bronchiale. Dans l'épithélium exposé aux carcinogènes (fumée de tabac et/ou radioactivité) le nombre total d'aberrations moléculaires est significativement plus élevé – comme on l'observe dans la dysplasie et dans les foci morphologiquement normaux qui évoluent plus tard vers la dysplasie – que dans les échantillons n'ayant jamais présenté le moindre signe d'une telle évolution. Ces résultats indiquent que les aberrations moléculaires extensives liées au cancer sont apparues chez les anciens ouvriers affectés au nettoyage de Tchernobyl de manière séquentielle dans l'épithélium lésé par les radiations (Chuchalin 1997, 1999, 2002, Charpin 1997, Chizhikov 2002).

Une étude menée en Russie établit la corrélation entre l'asphyxie et les problèmes respiratoires chez le nouveau-né et le niveau de pollution radioactive enregistré dans la région (Kulakov *et al.* 2001).

Ukraine

En 1994, 35,6% des cas de morbidité parmi les évacués et parmi les adultes et adolescents résidant dans les territoires contaminés sont imputés aux maladies des organes respiratoires. Les enfants sont touchés à 61,6% (Grodzinsky 1999). Les données accumulées par le Ministère ukrainien de la Santé révèlent des augmentations de la morbidité du système respiratoire parmi les victimes adultes et adolescentes de l'accident de Tchernobyl. Dans les trois premiers groupes critiques suivis, les maladies du système pulmonaire augmentent de 6,5 fois (de 3,154 à 20,433 pour 1 000) en 2000, par comparaison avec les données de 1987.

En 1992 et 2000, la morbidité générale des maladies pulmonaires affecte la population ukrainienne sensiblement dans la même proportion, respectivement de 21,3% et 19,6% , et reste stabilisée à 21,3% et 19,8% dans la population des territoires contaminés. Cependant, le pourcentage de morbidité de ces pathologies augmente dans certains groupes, passant de 18,1% à 22,7% chez les décontamineurs, et de 20,6% à 30,1% chez les évacués.

Plus précisément, au cours de cette période, la morbidité imputable à la pneumonie augmente dans tous les groupes de la population exposée, mais de façon plus marquée chez les liquidateurs (de 474 à 835 pour 100 000) et chez les personnes évacuées (de 431 à 765 pour 100 000). Chez les habitants des territoires contaminés, cette proportion est légèrement moins élevée – de 498 à 584 pour 100 000, alors qu'on enregistre une augmentation de 410 à 436 pour 100 000 pour la population générale de l'Ukraine.

Quant à la morbidité due à l'asthme bronchial, elle augmente dans le même temps, respectivement de 47 à 57 pour 100 000 chez les liquidateurs et de 45 à 67 pour 100 000 chez les évacués. Le niveau de morbidité

de l'asthme bronchial est donc plus élevé dans ces catégories de personnes exposées que chez les résidents dans les territoires contaminés (respectivement de 25 et 26 pour 100 000) et dans la population générale de l'Ukraine (respectivement 23 et 23 pour 100 000).

Mais l'augmentation la plus remarquable de la morbidité du système respiratoire est due à la bronchite chronique et à la maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) chez les liquidateurs (de 884 à 1 005 pour 100 000). Celle-ci est en baisse, quoique restant forte, chez les évacués (718 et 602 pour 100 000), tandis qu'elle s'élève sensiblement chez les résidents des territoires contaminés (330 and 363 per 100,000). Le niveau moyen enregistré dans l'ensemble de l'Ukraine est de 209 et de 236 pour 100 000, respectivement pour ces deux années 1992 et 2000.

Plus récemment, de 1992 à 2001, on enregistre un accroissement notoire et constant de la morbidité du système pulmonaire parmi les évacués (de 29,2% à 47,4%) et parmi les liquidateurs (de 24,1 à 42,2%). Ceci contraste avec la stabilité relative de cette proportion pour les résidents dans les territoires contaminés (de 23,3% à 26,2%) et pour la population ukrainienne dans son ensemble (de 26,0% à 29,9%).

L'augmentation de morbidité de l'asthme bronchiale est plus prononcée parmi les liquidateurs (de 251 à 639 pour 100 000) et les évacués (de 467 à 790 pour 100 000). Ceci contraste avec une augmentation moindre parmi les résidents des territoires contaminés (de 348 à 474 pour 100 000) et l'ensemble de la population de l'Ukraine (de 366 à 447 pour 100 000).

L'augmentation de la morbidité de la bronchite chronique et de la maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) est plus forte parmi les liquidateurs (passant de 3 723 à 11 328 pour 100 000 entre 1992 et 2001) et parmi les évacués (de 4 668 à 7 431 pour 100 000). Concernant les résidents dans les territoires contaminés, ces augmentations ne sont pas aussi patentes pour la même période (3 079 et 4 055 pour 100 000). La morbidité est en moindre hausse dans la population générale et le niveau général de la morbidité est de beaucoup inférieur (de 2 499 à 2 994 pour 100,000), comparés avec ceux des populations exposées aux radiations de Tchernobyl. D'autres données suggèrent que la maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) et l'asthme bronchial comptent parmi les raisons principales de la morbidité, de l'invalidité et de l'excès de mortalité chez les liquidateurs. Selon les statistiques officielles du Ministère ukrainien de la Santé, la morbidité due à la bronchite chronique non spécifique et à l'emphysème chez les adultes et les adolescents victimes de l'accident de Tchernobyl passe de 316,4 pour une population de 10 000 en 1990, à 528,5 pour 10 000 en 2004 ; et l'asthme bronchial de 25,7 pour 10 000 en 1990, à 55,4 pour 10 000 en 2004.

L'histogramme de la Figure 3.2.1. montre l'accroissement dans le temps, de la morbidité de la bronchite chronique et de la MPOC (COPD).

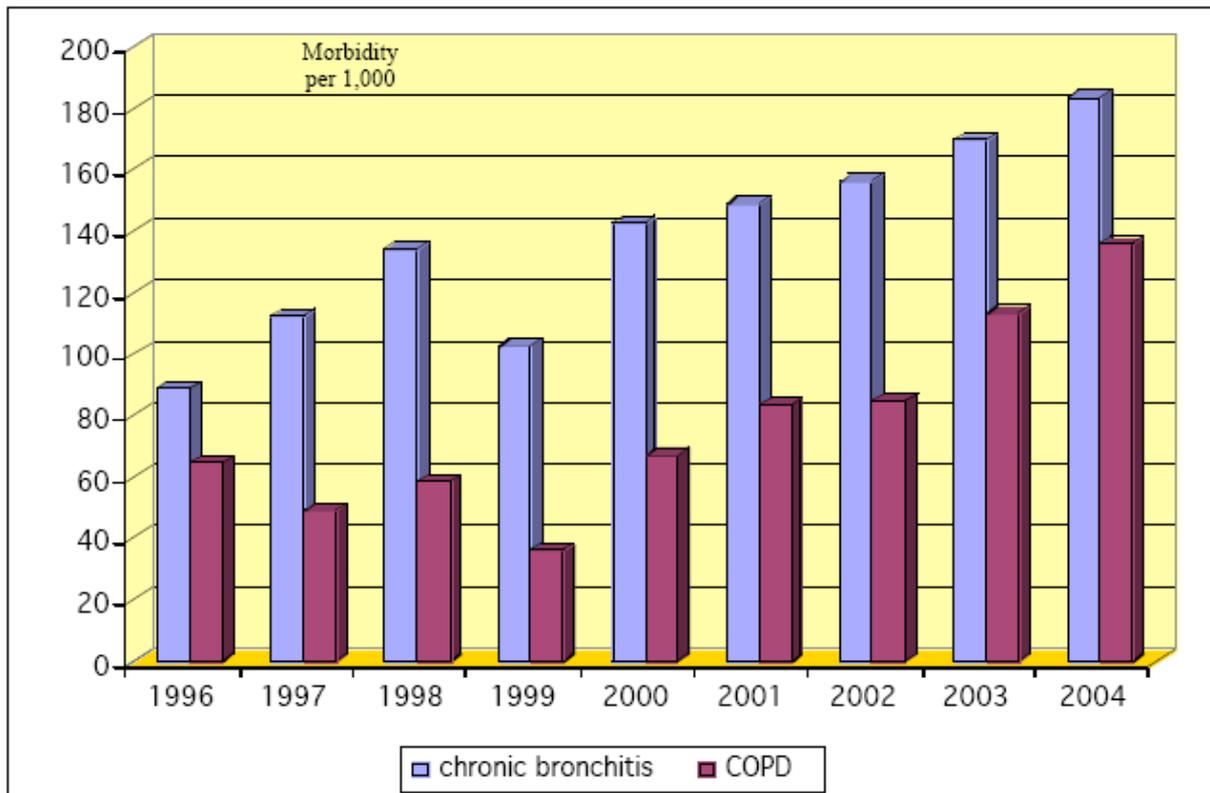


Figure 3.2.1. Résultats du suivi à long terme du système pulmonaire chez les liquidateurs, à l'unité de soin ambulatoire du Centre Scientifique de Médecine Radiologique (Sushko et al. 2006)

De 1988 à 2006, l'Institut de Radiologie Clinique du Centre de Recherche ukrainien pour la Médecine Radiologique a procédé à des examens pulmonaires complexes sur 2 476 liquidateurs ukrainiens masculins âgés de 21 à 62 ans (âge moyen $36,7 \pm 8,5$ ans). Le programme de recherche sur le poumon a repris les méthodes habituelles de clinique et de laboratoire, la respirométrie, l'examen radiologique des poumons, la fibrobronchoscopie avec biopsie des muqueuses, et les études pathomorphologiques au microscope électronique. Les doses d'irradiation externe, documentées pour 63% des patients, se situent entre 5 et 85 cSv, avec une moyenne de $19,7 \pm 4,2$ cSv. Plus de 80% d'entre eux avaient pris part aux opérations de nettoyage, d'avril à octobre 1986. Ont été intégrés à ce groupe les liquidateurs de la période suivante (1987-1988) qui avaient participé à la décontamination de la centrale, ou travaillé sur les sites dans la zone des 30 km où les déchets ont été enterrés et les équipements (les engins, par exemple) entreposés. De même, 82 personnes présentant un syndrome d'irradiation aiguë ont été examinées. Une étude sur l'incorporation de «particules chaudes» chez l'un de ces patients est documentée. Et l'incorporation de radionucléides dans les poumons (principalement du ^{137}Cs et du ^{60}Co) est confirmée par mesure de la radioactivité du corps entier, chez 10 liquidateurs de l'ensemble du groupe.

En général, les liquidateurs souffrent de toux sèche et non-expectorante pendant la période de travail et directement après. Le développement subséquent de la maladie est caractérisé par un développement progressif de l'obstruction et de la dyspnée (souffle court, difficulté ou douleur respiratoires). Plus tard apparaissent les symptômes de la maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC): toux, expectorations et dyspnée, avec troubles mixtes de ventilation et d'obstruction (Tereshchenko *et al.* 2004, Sushko & Shvayko 2003a).

Parmi les formes basiques de maladie pulmonaire chronique non spécifique chez les liquidateurs, la bronchite obstructive chronique (BOCh) est la plus couramment observée, dans 79% des cas. Un autre groupe de 13% présente des bronchites chroniques non-obstructives (BChN) et 8% souffrent d'asthme (Figure 3.2.2). L'obstruction de la ventilation pulmonaire (59%) prédomine chez les liquidateurs souffrant de pathologie bronchopulmonaire. Des encombrements restrictifs isolés sont constatés chez 5% des patients, des troubles mixtes de la ventilation chez 29% des patients. Dans seulement 6% des cas, chez lesquels est diagnostiquée une bronchite chronique non-obstructive, les paramètres de la ventilation sont normaux

(Figure 3.2.2.) (Tereshchenko & Sushko (Eds) 2004, Sushko & Shvayko 2003a&b, Dzyublik *et al.* 1991, Sushko 2000, Sushko 1998).

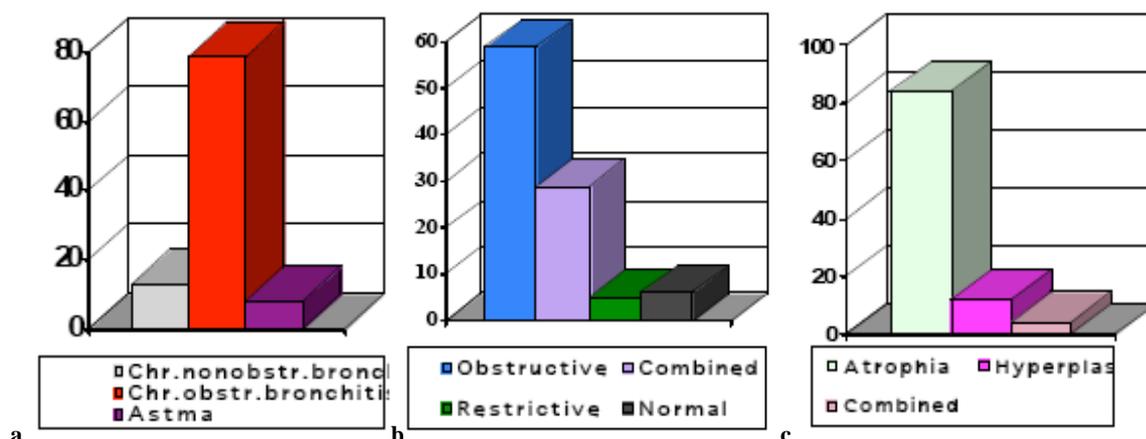


Figure 3.2.2. Principales formes nosologiques (a), perturbations de la ventilation (b) et types d'endobronchites (c) chez les liquidateurs masculins en Ukraine.

L'évolution du syndrome broncho-obstructif chez les liquidateurs est particulière. Entre 1988 et 1991, le syndrome le plus courant est celui de l'obstruction isolée des bronches (52%), suivi de la dyskinésie hypotonique des parties membraneuses de la trachée ainsi que des principaux tubes bronchiaux (28%), avec un syndrome d'obstruction généralisée (20%). De 1992 à 1996, la fréquence du syndrome d'obstruction isolée des tubules bronchiales descend à 38%, celle de la dyskinésie hypotonique des parties membraneuses de la trachée et des principaux tubes bronchiaux à 17%, et le syndrome d'obstruction bronchique généralisée touche jusqu'à 45% des patients. C'est souvent l'obstruction bronchique généralisée qui prédomine (52%), suivie de l'obstruction bronchique isolée (31%) et de la dyskinésie hypotonique de la partie membraneuse de la trachée et du bronche principal (17%). (Tereshchenko & Sushko (Eds.) 2004, Sushko & Shvayko 2003a&b, Dzyublik *et al.* 1991, Sushko 2000, Sushko 1998, Sushko 2001, Sushko *et al.* 2002).

L'examen endoscopique de l'arbre trachéobronchial chez 873 patients révèle une très haute prévalence de l'atrophie de la muqueuse (84%), caractérisée par l'amincissement de la muqueuse et l'appauvrissement de la vascularisation. Dans 12% des cas, on constate des modifications opposées dans la pathologie bronchoscopique: hyperplasie, consistant en un épaississement, ou hypostase de la muqueuse, et rétrécissement des tubes segmentaires et subsegmentaires bronchiaux ; et les deux formes de modifications sont observées dans 4% des cas – modifications atrophiques dans les parties proximales et modifications hyperplastiques dans les parties distales (Tereshchenko & Sushko (Eds.) 2004, Sushko & Shvayko 2002, Shvayko & Sushko 2001).

Des modifications catarrhosclérotiques de la muqueuse bronchiale sont accompagnées de déformations de l'arbre trachéobronchial dans 80% des cas. Celles-ci se caractérisent sur la muqueuse par de légères et fines cicatrices roses, longitudinales, connectées entre elles, principalement à l'ouverture des tubes bronchiaux segmentaires et subsegmentaires dans les lobes inférieurs. La prévalence de ces modifications catarrhosclérotiques est corrélée à la forme atrophique de l'endobronchite. On rapporte des modifications sclérotiques de la muqueuse bronchiale chez 16% des patients, et des modifications catarrhales chez 4% des patients. (Tereshchenko & Sushko (Eds.) 2004, Sushko & Shvayko 2002, Shvayko & Sushko 2001).

Le degré d'inflammation 0 est enregistré chez 34% des patients, le degré 1 chez 63% et le degré 2 chez 3%, sur la base de la catégorisation de Lemoine (Lemoine 1956). Ceci démontre un niveau faible de l'activité du processus inflammatoire productif dans la très grande majorité des cas, liée aux types et aux formes prévalentes des modifications pathologiques de la muqueuse trachéobronchiale chez ces liquidateurs souffrant de maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC).

Les résultats des études bronchoscopiques sur les muqueuses de l'arbre trachéobronchial chez les liquidateurs souffrant de MPOC montrent que le variant primaire de la bronchite chronique est une

inflammation chronique diffuse de degré /endobronchite atrophiée avec modifications catarrhosclérotiques (Tereshchenko & Sushko (Eds.). 2004, Sushko & Shvayko 2002, Shvayko & Sushko 2001).

La pathomorphologie clinique de MPOC chez les patients est caractérisée par la transformation des processus de régénération, l'endommagement des micro-vaisseaux, les perturbations de la fibrillogénèse et la modification des processus inflammatoires. Les modifications identifiées sont rapportées dans le tableau ci-dessous. Parce que la métaplasie planocellulaire et l'atypie cellulaire sont des conditions précancéreuses, les liquidateurs de la période 1986-87 nécessitent une vigilance pulmo-oncologique soutenue.

Transformation de la cinétique du processus inflammatoire	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hyporéactivité (bas niveau de granulocytes neutrophiles et de macrophages dans la lamina propria de la membrane muqueuse bronchiale) 2. Prévalence de la composante productive d'inflammation sur celle d'exsudation
Caractéristiques de la pathologie microcirculatoire de la membrane muqueuse bronchiale	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pathologie distincte des cellules endothéliales 2. Adhésion des érythrocytes aux cellules endothéliales 3. Reconstruction de la fonction conformationnelle des microvaisseaux 4. Sclérose des composants des vaisseaux de la microcirculation
Intensification du processus involutif dans la membrane muqueuse bronchiale	<ol style="list-style-type: none"> 1. Métaplasie planocellulaire étendue de l'épithélium superficiel de la membrane muqueuse bronchiale 2. Membrane basale multicouche des capillaires 3. Inclusions lipidiques dans le cytoplasme des cellules de l'endothélium 4. Dystrophie lipidique des cellules musculaires 5. Inclusion de lipofuscine dans la lamina propria de la membrane muqueuse bronchiale 6. Occurrence étendue de hyalinose et de fibrose
Modifications caractéristiques de la membrane muqueuse bronchiale	<ol style="list-style-type: none"> 1. Accélération du renouvellement cellulaire 2. Occurrence étendue de la métaplasie planocellulaire de l'épithélium superficiel de la membrane muqueuse bronchiale 3. Hyperplasie basale cellulaire distincte dans l'épithélium bronchial superficiel 4. Présence de cellules épithéliales avec phénotype modifié dans la membrane muqueuse bronchiale 5. Dépopulation des adipocytes de l'épithélium bronchial superficiel

Tableau 3.2.1. Caractéristiques de la pathomorphologie de la MPOC chez les liquidateurs

Dans les conditions d'irradiation véhiculée par l'air, et sous l'influence combinée de l'irradiation externe et d'un mélange de radionucléides de formes physico-chimiques diverses, le système pulmonaire est l'un des principaux tissus «cibles» de l'irradiation, qui entraîne une élévation de l'incidence des MPOC dans le groupe des liquidateurs au cours des 3 à 5 premières années suivant l'accident de Tchernobyl. L'analyse des données dosimétriques, cliniques et épidémiologiques confirme que le groupe à risque primaire est constitué des personnes affectées au nettoyage et à la décontamination durant la période 1986-1987.

3.3. MALADIES DU SYSTEME DIGESTIF ET DES AUTRES ORGANES

L'augmentation de la morbidité infantile due aux maladies du système digestif est plus élevée dans les territoires contaminés, comparée à celle des territoires non contaminés, où la géologie acide a favorisé la migration du ^{137}Cs du sol aux plantes (Naboka 2003, Shestopalov *et al.* 2004). L'augmentation de ces maladies se caractérise surtout par une augmentation des gastrites chroniques (Avchacheva *et al.* 2001), des gastroduodénites, des ulcères de l'estomac et du duodénum, des maladies du foie et de la vésicule biliaire, associées aux troubles du tractus biliaire et à la pancréatite (Korol *et al.* 2001).

On observe également une augmentation du nombre de caries sur les dents de lait et les dents définitives (85-92%) dans la population en question (Lutska *et al.* 2001, Khomenko *et al.* 2001). L'atrophie du tissu stomacal est constatée 5 fois plus souvent, et les métaplasies intestinales 2 fois plus souvent parmi résidents des zones contaminées, par rapport au groupe de contrôle (Avchacheva *et al.* 2001). Les enfants dont la thyroïde a été exposée à des doses supérieures à 2Gy contractent deux fois plus de maladies du système digestif que ceux qui ont été moins fortement exposés (Kurbanova 1998).

Bélarus

Pendant la période 1991-1996, la prévalence d'ulcères peptiques dans la population du Bélarus augmente de 9,6% (Kondratenko 1998). En 1995, la morbidité des maladies du système digestif parmi les évacués et les habitants des territoires contaminés (3 298 cas pour 100 000) est 1,8 fois plus élevée que pour la population générale du Bélarus (1 817 cas pour 100 000) (Matsko 1999).

Russie

Les maladies du tractus gastro-intestinal occupent la quatrième place (6,4%) au rang des maladies répertoriées chez les liquidateurs. Les ulcères de l'estomac, en plus forte proportion, comptent pour 53,9% des maladies des organes digestifs.

Ces maladies des organes digestifs occupent la troisième place dans la hiérarchie des maladies répertoriées après les maladies cardiovasculaires et le cancer, et sont la cause de 10,6% des décès parmi les liquidateurs. Les maladies du foie sont aussi en augmentation en 2004, par rapport à la période 1991-1997: jusqu'en 1997, la pathologie du foie enregistrée est limitée essentiellement à l'hépatite chronique (5%), mais après 1998, la cirrhose du foie est diagnostiquée en proportion considérable (Zubovsky & Smirnov 1999, Khrisanfov & Meskikh 2001).

Les caries dentaires sont en augmentation chez les enfants habitant dans les régions contaminées. Les enfants nés après la catastrophe présentent fréquemment une pathologie dentaire, tandis que la fréquence des malformations combinées de la denture et de la mâchoire augmente chez les enfants irradiés avant la naissance (Sevbitov 2005). Ces malformations, positivement corrélées au niveau de contamination radioactive, sont de 1,5 à 2,2 fois plus fréquentes parmi les enfants résidant de façon permanente dans les territoires contaminés. Le Tableau 3.3.1 présente le répertoire des anomalies dentaires dans deux régions contaminées de Russie.

	Jusqu'à 5 Ci/km² (Don, zone de Tula : 183 enfants)	5-15 Ci/km² (Uzlovaya, zone de Tula : 183 enfants)	15-45 Ci/km² (Novozybkov, zone de Bryansk : 178 enfants)	Enfants nés...
Anomalies dentaires	3.7	2.4	2.8	avant 1986 (n=48)
	4.2	4.6	6.3	après 1986 (n=82)
Anomalies de la rangée dentaire	0.6	0.4	0.6	avant 1986 (n=8)
	0.6	0.6	1.7	après 1986 (n=15)
Occlusion	2.6	2.4	2.2	avant 1986 (n=39)
	4.4	5.2	6.3	après 1986 (n=86)
Age moyen	5.3	5.7	3.1	avant 1986 (n=77)
	2.6	2.0	0.6	après 1986 (n=28)

Tableau 3.3.1 Fréquence des anomalies dentaires (en %) chez les enfants dans les territoires présentant différents degrés de pollution radioactive (zones de Tula et de Bryansk, Russie), (Sevbitov et al. 1999)

Ukraine

On enregistre une incidence largement répandue d'ulcères peptiques, de cholécystites chroniques (inflammation de la vésicule biliaire), de cholélithiases (calculs biliaires) et de pathologies pancréatiques dans toutes les zones de l'Ukraine présentant de hauts niveaux de contamination radioactive due à Tchernobyl (Yakimenko 1995, Komarenko *et al.* 1995). Les adultes évacués de la ville de Prypyat et de la zone des 30 km connaissent davantage de problèmes du système digestif que le reste de la population (Prysyazhnyuk *et al.* 2002).

En 1994, la morbidité liée aux maladies du système digestif représente 6,4% des maladies enregistrées chez les victimes adultes et adolescentes de l'irradiation. L'indice de morbidité du système digestif parmi les personnes vivant dans les zones sous contrôle strict de la radioactivité est de 281 en 1996, comparé à 210 pour l'ensemble de la population ukrainienne (Grodzinsky 1999).

Durant la période 1988-1999, on assiste au doublement de la morbidité liée au système digestif dans la population vivant encore dans les zones contaminées (Prysyazhnyuk *et al.* 2002). Comme toujours, les enfants sont sévèrement atteints. La prévalence de la maladie du système digestif est de 4,66 pour 10 000 enfants en 1988 et de 10,1 en 1999. On enregistre une nette tendance de l'augmentation de la pathologie des organes digestifs (Prysyazhnyuk *et al.* 2002, Korol *et al.* 1999, Romanenko *et al.* 2001), avec des troubles du système digestif principalement dus à la mauvaise santé des enfants vivant dans les territoires contaminés (Romanenko *et al.* 2001). Les enfants irradiés *in utero* développent une pathologie du tractus gastro-intestinal à proportion de 18,9%, comparée à 8,9% dans le groupe de contrôle, une différence statistiquement significative (Stepanova 1999).

3.4. MALADIES DE LA CIRCULATION SANGUINE ET DES SYSTEMES LYMPHATIQUES

La pollution radioactive de Tchernobyl est associée non seulement aux pathologies malignes, mais aussi aux pathologies non malignes des organes hématopoïétiques et du système circulatoire. Les conditions hémorragiques sont 4,0 fois plus fréquentes qu'avant l'accident, et l'ictère congénital 2,9 fois plus fréquent chez le nouveau-né dont la mère venait des territoires contaminés suivants: Polesky (20-60 Ci/km²), district de la région de Kiev en Ukraine; Chechersky (5-70 Ci/km²), district de la région de Gomel au Bélarus; Mtsensky et Volkhovsky (respectivement 1-5 et 10-15 Ci/km²), districts de la région d'Orel en Russie (Kulakov *et al.* 2001).

On observe chez les enfants une augmentation des maladies du système circulatoire dues à la dystonie vasculaire et à l'hypotonie (Serduchenko *et al.* 2001). Une augmentation du degré de sérum cholestérol, ainsi que d'autres symptômes d'athérosclérose, sont identifiés chez 55,2% des enfants âgés de 2 à 15 ans, et présentant une dose de radiation individuelle de 0,1 à 1,5 mSv/an (Azarenok 2001). Les enfants qui ont reçu des doses thyroïdiennes supérieures à 2 Gy développent 2,6 fois plus de maladies circulatoires et sanguines que les enfants moins exposés (Kurbanova 1998).

L'excès de risque relatif de maladies cérébrovasculaires pour 1 Gy (ERR/Gy) est établi à 1,17 (IC à 95% = 0,45 ; 1,88) (Ivanov *et al.* 2000), et le risque de maladies cérébrovasculaires significatives du à l'irradiation externe (ERR for 100 mGy/day) à 2,17 (IC à 95% = 0,6 ; 3,69) (Ivanov *et al.* 2005).

Bélarus

Dix ans après l'accident, les maladies de la circulation sanguine se sont multipliées par 5,5 en comparaison à la période précédente, avec une augmentation plus marquée dans les zones contaminées (Manak *et al.* 1996).

En 1995, la morbidité du sang et des tissus hématopoïétiques chez les évacués est de 3,8 fois plus élevée que dans la population générale du Bélarus (respectivement 279 et 74 cas pour 100 000) (Matsko 1999). Chez les habitants des territoires contaminés et les évacués, la morbidité du sang, des tissus hématopoïétiques et les maladies du système cardiovasculaire en 1995 est de 2,4 et 3 fois supérieure à celle de l'ensemble de la population du Bélarus (respectivement 175 et 74 pour 100 000; 4 860 et 1 630 pour 100 000) (Matsko 1999).

Au cours des dix années qui ont suivi l'accident, le nombre d'individus malades enregistrés avec une maladie primaire du système circulatoire, augmente de 3,5 fois dans la région de Gomel, et de 2,5 fois dans la région de Mogilev (Nesterenko 1996). Comparée à celle de 1985, l'occurrence de la leucopénie (caractérisée par un nombre anormalement bas de leucocytes) et l'anémie dans certains districts de la région de Mogilev s'est multipliée par 7 au cours des trois premières années après l'accident (Gofman, 1994b). Bien que certains cas d'anémie soient indubitablement liés à des déficiences alimentaires, une proportion significative d'entre eux peut s'expliquer par l'impact des radiations sur la moelle osseuse où se développent les leucocytes et les érythrocytes. L'augmentation de l'anémie ferriprive au Bélarus apparaît être corrélée au niveau de contamination radioactive (Dzikovitch *et al.* 1996, Nesterenko 1996). Quoi qu'il en soit, la pollution au plomb semble avoir été source de confusion dans cette étude.

Une pression artérielle anormale – haute et basse – est détectée plus fréquemment chez les adultes et les enfants vivant dans les territoires contaminés (Nedvetckaya & Lyalikov 1994, Sykorensky & Bagel' 1992, Gontcharik 1992). La pression artérielle systolique des personnes exposées à la radioactivité est plus élevée (Zabolotny *et al.* 2001). Les filles et les jeunes femmes du Bélarus qui ont vécu 10 à 15 ans dans les zones avec un niveau de ¹³⁷Cs de 1 à 5 Ci/km² ont une circulation sanguine perturbée au niveau des jambes, comme en témoignent les réactions vasomotrices des grosses veines dans les membres inférieurs (Khomitch & Lisenko 2002, Savanevsky & Gamshey 2003). Les habitants des régions contaminées du Bélarus sont davantage sujets à des perturbations du rythme cardiaque, par comparaison avec les habitants des régions non contaminées (Arinchina & Milkamanovich 1992). Dans la région de Mogilev, cette pression artérielle

plus élevée est souvent constaté chez les adultes vivant dans les zones où le niveau de contamination dépasse 30 Ci/km² (Podpalov 1994).

Russie

Les maladies du sang et de l'hématopoïèse contribuent à la forte morbidité des enfants dans les territoires russes affectés par les retombées de Tchernobyl (Kulakov *et al.* 2001). Dans les zones polluées par la radioactivité, le nombre de personnes dont les lymphocytes ont des réactions adaptées est en baisse, tandis que le nombre de personnes dont les lymphocytes deviennent de plus en plus sensibles à la radioactivité augmente (Burlakova *et al.* 1998). Des changements dans la composition quantitative et l'activité fonctionnelle des lymphocytes sont constatés chez les femmes enceintes des zones contaminées de la région de Kursk; une augmentation considérable des complexes immunitaires étant mesurée dans le sérum sanguin (Alymov *et al.* 2004). Des lymphocytes et des basophiles en nombres absolu et relatif significativement très élevés sont enregistrés chez des adultes vivant dans des zones où la contamination au sol par le césium est de l'ordre de 15 à 40 Ci/km² (Miksha & Danilov 1997).

La cause principale de morbidité et de mortalité chez les liquidateurs russes est la maladie du système circulatoire (63%), et les cardiopathies ischémiques en sont les formes les plus répandues (72%). Il faut noter que la cardiopathie ischémique s'est développée rapidement, tout particulièrement parmi les liquidateurs en service en 1986. Ceci peut s'expliquer par le développement précoce des lésions athérosclérotiques de l'artère coronaire et des vaisseaux cérébraux chez les personnes exposées aux radiations. La seconde maladie affectant le système cardiovasculaire est l'hypertension idiopathique (38%), et la troisième le dysfonctionnement du système nerveux autonome, ou dysautonomie (12.9%) (Khrisanfov & Meskikh 2001).

Une étude épidémiologique comparative des liquidateurs (masculins) âgés de 35 à 64 ans permet d'établir pour la première fois que les liquidateurs présentent dans une période éloignée de 13 à 17 ans après l'accident de Tchernobyl, une structure de facteurs de risque différente en ce qui concerne le développement de maladies cardiovasculaires. La perturbation la plus profonde est celle de la régulation végétative de type hypersympathique pendant la période nocturne et une réduction de la capacité bronchiale des petites bronches. Un nouveau syndrome, spécifique aux liquidateurs (le syndrome d'hypersympathicotonie nocturne) est identifié, pronostiqué disposant au développement des maladies cardiovasculaires (Sherashov 2005).

Ukraine

Au cours de la période 1988-1999 dans les territoires contaminés d'Ukraine, la morbidité des maladies du sang et de la circulation augmente d'un facteur de 10,8 à 15,4 (Prysyazhnyuk *et al.* 2002). Le niveau de morbidité liée aux systèmes sanguin, circulatoire et hématopoïétique est plus élevé chez les adultes évacués de la ville de Prypyat et de la zone des 30 km que dans la population générale (Prysyazhnyuk *et al.* 2002). L'athérosclérose précoce et la maladie coronarienne se développent chez les évacués de la zone des 30 km, ainsi que parmi les habitants des zones polluées par les radionucléides (Prokopenko 2003).

Parmi les enfants irradiés *in utero*, 57,8% développent des maladies du système cardiovasculaire (y compris la dysautonomie) (comparés aux 31,8% dans le groupe de contrôle, $p < 0,05$) (Prysyazhnyuk *et al.* 2002). En 1996, les indices de morbidité pour les adultes et adolescents vivant dans les territoires sous contrôle strict de la radioactivité sont de 30,2 pour les maladies du système hématopoïétique et de 430 pour les maladies de la circulation, comparés respectivement à 126 et 294 dans la population générale d'Ukraine. Les maladies de la circulation sanguine chez les adultes et les adolescents dans les territoires contaminés représentent 8% des maladies enregistrées en 1994 (Grodzinsky 1999).

3.5. MALADIES DES SYSTEMES MUSCULO-SQUELETTIQUE ET CUTANE

Maladie	Région, traits caractéristiques	Références
Anémie	Multipliée par 7 dans la région de Mogilev. Corrélée au niveau de contamination	Gofman 1994b, Dzikovich <i>et al.</i> 1996, Nesterenko 1996
Morbidity des maladies du système circulatoire	Niveau de morbidité primaire multipliée par 3,5 dans la région de Gomel depuis 1986, et de 2,5 fois times dans la région de Mogilev	Nesterenko, 1996
	3 à 6 fois plus élevé dans les zones contaminées, comparé au niveau moyen dans la région de Bryansk	Komogortseva 2001
Hypertension artérielle	Plus fréquente dans les territoires de la région de Mogilev irradiés à plus de 30 Ci/km ²	Podpalov 1994
Perturbations du rythme cardiaque révélées à l'encéphalogramme	Perturbations plus fréquentes en cas d'ischémie dans les territoires irradiés	Arinchina & Milkamanovich 1992
	Corrélées à la quantité de ¹³⁷ Cs incorporée	Bandazhevsky 1999
Perturbation de la régulation autonome de l'activité cardiaque	Dans les territoires contaminés du Bélarus	Nedvechkaya & Lialykov 1994, Sykorensky & Bagel' 1992, Goncharik 1992
Macrocytose des lymphocytes	6 à 7 fois plus fréquente dans les territoires contaminés du Belarus	Bandazhevsky 1999

Tableau 3.5.1. Résumé des résultats des études croisées entre la pollution radioactive issue de Tchernobyl et la morbidité du système circulatoire en Ukraine, au Bélarus et en Russie

La validité limitée des données concernant l'impact de la radioactivité de Tchernobyl sur le système musculo-squelettique et le tégument n'est pas due à l'absence de cet impact, mais au fait que ces systèmes sont considérés comme présentant moins de sensibilité critique à l'irradiation. Ils sont donc moins bien étudiés. Certains symptômes squelettiques enregistrés, tels que les douleurs de la cage thoracique et de la colonne vertébrale, sont connus pour accompagner certaines formes de leucémie. Les liquidateurs se plaignent souvent de douleurs articulaires et osseuses pouvant être liées à l'ostéoporose.

Néanmoins, certains problèmes impliquant le système squelettique sont identifiés. La surveillance médicale dynamique des femmes enceintes, des patientes dans les maternités, des nouveau-nés et des enfants dans les territoires contaminés de l'Ukraine (district de Polessky, dans la région de Kiev; 20-60 Ci/km²), du Bélarus (district de Chechersky, dans la région de Gomel; 5-70 Ci/km²) et de Russie (districts de Mtsensky et de Volkhovsky, dans la région d'Orel; 1-5 and 10-15 Ci/km²) permet de démontrer une plus grande fréquence d'anormalités dans le développement du système musculo-squelettique chez le nouveau-né (Kulakov *et al.* 2001).

Bélarus

La morbidité de la maladie du système musculo-squelettique et du tissu conjonctif chez les évacués et les habitants des territoires contaminés est 1,4 fois plus forte que pour l'ensemble de la population en 1995 (respectivement 6 166 et 1 124 cas pour 100 000) (Matsko 1999).

Ukraine

Le niveau de morbidité des maladies du système musculo-squelettique chez les adultes évacués de la ville de Prypyat et la zone des 30 km est plus élevé que dans les autres sous-groupes de la population (Prysyazhnyuk *et al.* 2002). Pendant la période 1988-1999, on assiste au doublement de la maladie du système musculo-squelettique dans la population habitant les territoires contaminés. Une augmentation quatre fois supérieure de la morbidité des maladies cutanées et subcutanées est rapportée dans ces groupes entre 1988 et 1999 (Prysyazhnyuk *et al.* 2002). En 1996, l'indice de morbidité des maladies du système musculo-squelettique chez les personnes vivant dans les zones sous contrôle strict de la radioactivité est de 333, alors qu'il est de 307 pour l'ensemble de la population ukrainienne (Grodzinsky 1999). Les recherches sur le squelette du fœtus montrent également l'impact de la radioactivité (voir Section 3.11).

3.6. DESEQUILIBRES DE L'ETAT ENDOCRINO-HORMONAL

Les études sur l'exposition aux radiations de Tchernobyl ont donné lieu à une littérature extensive concernant les impacts sur le système endocrinien. Ceci est du en partie au fait que la thyroïde est un organe cible primaire aux impacts radiologiques des radioisotopes de l'iode rejetés par l'accident.

3.6.1. MALADIES DE LA THYROÏDE

Principal organe cible de l'iode radioactif (Ilin *et al.* 1989, Dedov *et al.* 1993), la thyroïde concentre 30 à 40% de l'accumulation des radioisotopes de l'iode dans l'organisme chez les adultes, et 40 à 70% chez les enfants, concentration qui dépasse de beaucoup la concentration moyenne dans l'ensemble du corps (Ilin *et al.* 1989, Dedov *et al.* 1993). L'accumulation d'iode dans l'hypophyse (glande pituitaire) est également démontrée, où la concentration moyenne est 5 à 12 fois supérieure à celle de l'ensemble du corps (Zubovskij & Tararuhina 1991). La concentration de l'iode radioactif dans les tissus thyroïdiens est maximale 13 à 15 heures après l'exposition aux radiations.

Les enfants constituent le groupe à risque d'irradiation de la thyroïde le plus élevé. Dans des conditions égales d'exposition aux radiations, la dose de rayonnement efficace pour la thyroïde est inversement proportionnelle à l'âge. Les enfants dont la thyroïde a été irradiée à des doses supérieures à 2Gy connaissent 6 fois plus de troubles endocriniens que ceux ayant reçu des doses inférieures (Kurbanova 1998). Le dysfonctionnement thyroïdien, qui se développe avec le temps, a un impact considérable sur le métabolisme. Il est aussi possible que la pathologie de la thyroïde et le dysfonctionnement de la régulation endocrinienne qui lui est lié puisse influencer le développement de la pathologie de la puberté (anormalités du développement physique et sexuel) et de la fonction de reproduction.

La pathologie de la thyroïde, telle que la thyroïdite chronique, qui conduit à l'hypothyroïdisme, est un catalyseur des processus de vieillissement prématuré chez les personnes concernées. Ce vieillissement prématuré, ainsi que les autres effets du dysfonctionnement de la thyroïde peut contribuer, en définitive, à l'augmentation de la mortalité de la population.

Conséquence fréquente du dysfonctionnement thyroïdien, l'hypothyroïdisme est enregistré dans les zones contaminées par les rejets de Tchernobyl (Dedov & Dedov 1996). Et les désordres structurels et fonctionnels de la glande thyroïde exercent un effet négatif sur le fonctionnement de la glande parathyroïde puisque, topographiquement, les glandes thyroïde et parathyroïde sont étroitement liées. La réduction de la fonction parathyroïdienne est la complication la plus courante de l'opération chirurgicale du cancer de la thyroïde.

Approximativement 16% de toutes les opérations d'ablation de la glande thyroïde entraînent l'inefficience parathyroïdienne (Demedchik *et al.* 1994).

Bélarus

La morbidité de l'hypothyroïdisme dans la région de Gomel augmenté de 7 fois entre 1985 et 1993, et celle de la thyroïdite auto-immune de plus de 600 fois entre 1988 et 1993. En 1993, plus de 40% des enfants contrôlés dans la région de Gomel ont les glandes thyroïdes hyperdéveloppées (Astachova *et al.* 1995, Biryukova & Tulupova 1994). Des niveaux significativement plus élevés de la morbidité de la thyroïde et des diabètes sont détectés parmi 1 026 046 patientes en maternité des zones du Bélarus contaminées à plus de 1 Ci/km² (Busuet *et al.* 2002).

Russie

On enregistre une augmentation des maladies endocriniennes chez les enfants russes comme résultant de l'augmentation des maladies de la thyroïde, avec une haute prévalence du goitre nodulaire non-toxique (Baleva *et al.* 2001), du goitre diffus (Ivanov *et al.* 2005) et des troubles thyroïdiens auto-immunes (Baleva *et al.* 2001). Chez les hommes, le goitre diffus dépend significativement de la dose de radiation ($p=0,03$) avec un rapport de cotes (odds ratio) estimé à 1,36 pour 1 Gy (Ivanov *et al.* 2005).

Ukraine

Le dommage à la glande thyroïde est enregistré à 35,7% dans un groupe de 3 019 adolescents des régions de Vinnitsa et de Zhytomyr, âgés de 6 à 8 ans au moment de l'accident (Fedyk 2002). La réaction fonctionnelle primaire de la glande thyroïde est observée en 1986-1987, suivie d'une thyroïdite auto-immune chronique (1990-1992) et d'une manifestation clinique de la maladie en 1992-1993 (Stepanova 1999). Parmi ces adolescents, 32,6% développent une pathologie de la glande thyroïde, comparés aux 15,4% du groupe de contrôle ($p<0.05$) (Stepanova 1999).

Selon la Législation ukrainienne (Verhovna Rada of Ukraine 2001) et les conclusions rendues le 25 avril 1997 par la Commission Nationale ukrainienne pour la Protection contre les Radiations, la glande thyroïde est considérée comme sur-irradiée chez les enfants âgés de moins de 7 ans pour toute dose supérieure à 5 centiGy, chez les enfants âgés de plus de 7 ans pour toute dose supérieure à 10 centiGy, et chez les adultes pour toute dose excédant 30 centiGy. Mais en regard de ces données standards de doses certifiées pour la thyroïde, les mesures effectuées sur la population des différentes régions contaminées sont tout à fait dramatiques. Par exemple, dans le district de Narodichsky (région de Zhytomyr, en Ukraine), une des régions les plus contaminées, les doses de radiation pour la thyroïde sont de l'ordre de 100 à 2 000 centiGy pour les enfants et de 10 à 200 centiGy pour les adultes (Ministère ukrainien de la Santé 1994).

Dans la majorité des régions officiellement «propres» d'Ukraine et la ville de Kiev, les doses de radiation pour la glande thyroïde excèdent la dose admissible. Par exemple, parmi les enfants observés dans 151 centres de la région de Ternopol, les doses de radiation pour la thyroïde sont de 10 centiGy. Les enfants de Kiev aussi ont reçu des doses de radiation excessives de la thyroïde. Ces enfants sont officiellement classifiés «victimes» de l'accident, du fait de cette irradiation excessive de la thyroïde (Ministère ukrainien de Santé 1996).

Le Centre National de Médecine Radiologique de l'Académie des Sciences Médicales d'Ukraine, le Centre de Recherche «Endopolymed» et l'Association des Médecins de Tchernobyl ont mené des recherches sur les effets sanitaires pendant les années qui ont suivi l'accident (Cheban 1999 & 2002).

Plus de 25 000 personnes ont été ainsi examinées et classifiées:

- les enfants d'âges différents, y compris ceux qui ont été irradiés *in utero*;
- les adultes qui ont été évacués de la zone d'exclusion;
- ceux qui continuent à vivre dans les territoires contaminés d'Ukraine, du Bélarus et de Russie;
- les liquidateurs de l'accident de Tchernobyl regroupant ceux qui ont travaillé à long terme (5 ans minimum) ou travaillent encore dans la zone des 30 km d'exclusion;

□ les personnes qui se sont installées dans la zone des 30 km d'exclusion («self-settlers»).

Cette recherche a été menée dans le contexte de programmes nationaux et internationaux complexes pour atténuer les impacts de l'accident de Tchernobyl et pour organiser la protection sociale de la population.

Chronologiquement, cette recherche peut être articulée en trois périodes:

- les premiers effets sur la thyroïde: octobre 1986 – mai 1987;
- l'état de thyroïde à moyen terme, entre 1987 et 1989;
- les effets à long terme, sur la période 1990-2005.

Après 1992-1993, les premières formes cliniques des effets de l'irradiation de la thyroïde (c'est-à-dire: la thyroïdite chronique conduisant à l'hypothyroïdisme) sont clairement manifestes, et les résultats de ces observations cliniques sont confirmées par les statistiques épidémiologiques officielles. Des modifications dans le système thyroïdien des victimes sont typiques des effets non-stochastiques de l'irradiation, avec des effets dépendant de la longueur d'exposition, la dose et le type d'irradiation de la thyroïde.

Les personnes à très haut risque de développement de thyroïdite chronique et d'hypothyroïdisme présentaient le caractère combiné le plus compliqué d'irradiation de la thyroïde, c'est-à-dire : une irradiation interne de l'¹³¹I, associée à une irradiation gamma externe des radio-isotopes à vie courte de l'iode. Ce groupe comprend les anciens habitants de la zone des 30 km autour de la centrale de Tchernobyl, les équipes de liquidateurs de Tchernobyl de la «période de l'iode» jusqu'à la fin juillet 1986, les femmes tout particulièrement.

Il est donc essentiel de mettre en place à long terme, des systèmes de contrôle informatique diagnostique pour les victimes au plan national, d'assurer la planification de la détection, le traitement et la réhabilitation des personnes à risque et de celles qui ont développé une pathologie de la thyroïde.

3.6.2. AUTRES PROBLEMES ENDOCRINIENS

Au cours des premières années après l'accident de Tchernobyl, on enregistre une augmentation des sécrétions de cortisol, d'insuline et de corticotropine (hormone adrénocorticotrope: ACTH) parmi la population de toute la zone contaminée (Tronko *et al.* 1995), qui sont à l'origine des maladies de l'hypertension, de l'athérosclérose, du diabète et de l'obésité. La sécrétion hormonale ne revient à la normale que 5 à 6 ans après que les personnes aient quitté la zone en question.

Bélarus

Comparée à celle constatée dans la population générale du Bélarus, la morbidité de la maladie du système endocrinien, des troubles nutritionnels, des perturbations du métabolisme et du système immunitaire est deux fois plus forte chez les évacués de la zone d'exclusion, de même que dans la population des territoires contaminés. En 1995, le nombre de cas pour 100 000 est de 2 317 chez les évacués et de 1 272 parmi la population dans la zone contaminée, comparé à la moyenne nationale de 583 (Matsko 1999).

La concentration des hormones T4 et TSG est en augmentation chez les patientes en maternité des régions de Gomel et de Vitebsk, alors que la concentration de l'hormone T3 est en baisse (Dudynskaya & Surina 2001). L'occurrence des maladies endocriniennes triple dans les territoires contaminés au cours des six années suivant l'accident (Shilko *et al.* 1993).

La preuve est également faite, de l'augmentation statistiquement significative du diabète sucré de type 1 (*diabetes mellitus*) dans la zone fortement polluée de Gomel, au Bélarus. Le tableau 3.6.1 présente des données sur le taux d'incidence du diabète sucré de type 1 au Bélarus.

Zone	1980-1986	1987 – 2002
Territoires faiblement contaminés (zone de Minsk)	2.25 ± 0.44	3.32 ± 0.49
Territoires lourdement contaminés (zone de Gomel)	3.23 ± 0.33	7.86 ± 0.56*

* P <0.05

Tableau 3.6.1. Taux d'incidence du diabète sucré de type 1 chez les enfants et les adolescents du Bélarus. 1980 –2002 (Zalutskaya *et al.*, 2004)

Russie

Des perturbations dans l'équilibre de l'estradiol, la progestérone, l'hormone lutéinique et la testostérone sont observées 5 à 6 ans après l'accident dans la population des territoires touchés par les rejets de Tchernobyl (Gorptchenko *et al.* 1995). Dès 2002, l'occurrence des maladies du système endocrinien est multipliée par 5 chez les enfants vivant dans les zones contaminées de la région de Tula, en comparaison avec la période précédant l'accident (Sokolov 2003). La morbidité parmi la population adulte vivant dans les territoires lourdement contaminés du sud-ouest de la région de Bryansk dépasse de 2,6 fois la moyenne régionale (Sergeeva *et al.* 2005). L'hyperprolactinémie est détectée chez 17,7% des femmes contrôlées en âge de procréer et vivant dans les territoires russes contaminés; ce déséquilibre hormonal par excès d'hormone pituitaire prolactine peut provoquer l'interruption des menstruations et la stérilité (Strukov 2003).

Ukraine

Observée pour la première fois en 1992 dans les territoires contaminés d'Ukraine, l'augmentation du niveau des maladies endocriniennes auto-immunes – thyro-adénite auto-immune, thyrotoxicose et diabètes – reste actuellement persistante (Tronko *et al.* 1995). On constate un niveau de morbidité de la pathologie du système endocrinien plus élevé chez les évacués adultes de la ville de Prypyat et de la zone des 30 km que dans le reste de la population (Prysyazhnyuk *et al.* 2002). La cortisol – hormone sécrétée par les glandes surrénales – apparaît être en concentration excessive chez les femmes enceintes présentant un niveau élevé de stontium incorporé: $1\,793,1 \pm 232,43$ nmol/l, comparé au niveau témoin de $995,9 \pm 69,88$ nmol/l (Duda & Kharkevich 1996).

Le risque principal de détérioration de la santé chez les enfants vivant dans les territoires contaminés est corrélé à la pathologie système endocrinien (Romanenko *et al.* 2001). On constate une stérilité d'origine endocrinienne largement répandue chez les femmes ayant été irradiées *in utero* (Prysyazhnyuk *et al.* 2002).

L'indice de morbidité des maladies endocriniennes parmi les personnes vivant dans les territoires sous contrôle strict de la radioactivité est 1,4 fois supérieur à celui retenu en 1996 pour l'ensemble de la population ukrainienne (54,2 comparé à 37,8) (Grodzinsky 1999).

3.7. TROUBLES ET ANOMALIES DE L'IMMUNITE

Allergies et conditions auto-immunes peuvent se développer à la suite des troubles du système immunitaire. Des modifications de la quantité et de la sub-polarisation des lymphocytes dans le sang se manifestent sous l'influence d'une accumulation, même minime, de rayonnements ionisants. Ceci conduit à la déficience immunitaire et à l'augmentation potentielle des conditions pathologiques liées au fonctionnement du système immunitaire, y compris des maladies infectieuses (Lenskaya *et al.* 1999). L'irradiation interne entraîne le développement progressif des réactions auto-immunes, alors que l'irradiation externe provoque une réponse plus rapide (Lisiany & Ljubich 2001).

Bélarus

Des modifications de l'immunité cellulaire et humorale sont découvertes chez des adultes en bonne santé vivant dans les territoires contaminés par les radionucléides au Bélarus (Soloshenko 2002, Kyrylchek 2000). De même, des modifications significatives de l'immunité humorale pendant la période puerpérale chez 156 patientes dans les maternités des régions de Gomel et de Mogilev, notamment par une augmentation du

niveau des immunoglobulines sériques A, M et G, et par une baisse de la valeur immunologique du lait maternel (Iskritsky 1995) chez les femmes des zones contaminées (^{137}Cs supérieur à 5 Ci/km²). Des baisses dans les quantités d'immunoglobulines de classes A, M, G et de l'immunoglobuline sécrétée A (As) au début de la lactation sont également enregistrées lors d'un autre contrôle sur des patientes dans les maternités des territoires contaminés (Zubovich *et al.* 1998). Une baisse significative du nombre de lymphocytes-T et B, ainsi que de l'activité phagocyte des leucocytes hétérophiliques est constatée parmi les adultes des zones contaminées (Bandazhevsky 1999).

Une augmentation des thyroïdites auto-immunes (goitre de Hashimoto) corrélée à la dose de radiation absorbée par la glande thyroïde est enregistrée dans les régions contaminées du Bélarus. En 1993, plus de 40% des enfants contrôlés dans la région de Gomel au Bélarus souffrent de maladie de la thyroïde. Selon les estimations des experts dans le seul Bélarus, quelque 1,5 million de personnes présentent un risque de modifications pathologiques au niveau de la glande thyroïde (Goffmann 1994, Lipnick 2004).

Une étude sur l'état du système immunitaire de 4 000 hommes ayant été exposés à de faibles doses de radiation (Bortkevich *et al.* 1996) démontre que l'exposition chronique aux radiations entraîne la déficience du système immunitaire à résister au développement des maladies infectieuses et non infectieuses. Les observations sur l'immunité cellulaire et humorale dans la région de Gomel révèlent que les modifications immunitaires chez les enfants chroniquement exposés aux radiations dépendent des radionucléides impliqués: à degré d'exposition équivalent, les effets diffèrent selon qu'il s'agit de strontium, de césium ou d'autres radionucléides (Evets *et al.* 1993).

Russie

Les études sur la population des territoires contaminés en Russie montrent aussi cette perte de la fonction immunitaire. La baisse de l'immunité se manifeste par la réduction du nombre de leucocytes, l'activité des lymphocytes-T et des cellules tueuses, ainsi que par l'augmentation du nombre de cas de thrombocytopénie et de diverses formes d'anémie. Dès 2002, la fréquence des effets immunitaires et métaboliques parmi les enfants de certaines parties de la région de Tula contaminées avec les retombées de Tchernobyl est multipliée par 5, en comparaison avec le niveau enregistré avant Tchernobyl. Pour autant, la morbidité qui n'est pas liée à la radioactivité reste au même niveau dans les deux zones, «propre» et polluée (Sokolov 2003). L'augmentation remarquable des cas de dermatites allergiques et d'eczéma découverts chez les employés travaillant dans les serres agricoles des zones «propres» de la région de Bryansk refléterait une baisse du potentiel immunitaire (Dubovaya 2005).

Une baisse significative de la numération relative et absolu des cellules TCD⁺, une élévation de l'indice d'immunorégulation (effecteurs TCD4⁺ et suppresseurs TCD8⁺) et une baisse de la numération relative des leucocytes sont enregistrées chez les enfants et les adultes des parties polluées de la région de Bryansk. Le déséquilibre du système immunitaire des enfants au moment de leur naissance est corrélée à la dose d'irradiation *in utero*. Dans les zones polluées par la radioactivité, la statistique significative établit cette corrélation entre la dose reçue par un enfant avant sa naissance et l'indice d'immunorégulation (déduit du rapport effecteursTCD4⁺ /suppresseurs TCD8⁺) (Kulakov *et al.* 2001).

Dix ans après la catastrophe de Tchernobyl, on décelait déjà un taux élevé des symptômes d'une perturbation du système immunitaire. Dix-neuf à vingt ans après cette catastrophe, 87-100% des liquidateurs examinés montrent les symptômes cliniques d'une déficience immunitaire, la proportion moyenne étant de 89,4%. Cette observation des liquidateurs dans les trois régions de Russie concorde avec l'apparition de maladies somatiques chroniques en proportions élevées. On enregistre des maladies chroniques plus répandues chez 85 à 98% des personnes examinées, et 80 à 84% sont affectés par trois ou plusieurs maladies chroniques.

Ukraine

Une baisse du nombre de leucocytes dans le sang périphérique est constatée chez les évacués de la zone des 30 km, sept-huit ans après l'accident (Baeva & Sokolenko 1998). Les modifications les plus néfastes sont

enregistrées chez les enfants, corrélées à de fortes doses d'irradiation de la thyroïde *in utero* (over 200 cGy). Parmi les enfants irradiés *in utero*, 43,5% développent une déficience immunitaire, comparés aux 28,0% dans le groupe de contrôle ($p < 0.05$) (Stepanova 1999). L'exposition des organes centraux de l'immunogenèse fœtale (le thymus et la moelle osseuse rouge) aux radiations se traduit par une disruption dose-dépendante substantielle du système immunitaire de l'enfant (Stepanova 1999, Stepanova *et al.* 1998, Stepanova *et al.* 2001, Vdovenko 1999 & 2005).

3.8. INFECTIONS ET INVASIONS

Une augmentation du nombre et une aggravation toxicoses intestinales, de gastroentérites, de dysbactérioses, de sepsies, d'hépatites virales et de maladies virales respiratoires sont enregistrées dans les régions polluées par les émissions de Tchernobyl (Batyan & Kozharskaya 1993, Kapytonova & Kryvitskaya 1994, Nesterenko *et al.* 1993, Busuet *et al.* 2002).

Les infections congénitales sont 2,9 fois plus fréquentes qu'avant l'accident, chez les nouveau-nés dont les mères venaient des parties contaminées du district de Polesky dans la région de Kiev (jusqu'à 20-60 Ci/km²), du district Chechersky dans la région de Gomel (5-70 Ci/km²), et des districts de Mtsensky et de Volkhovsky dans la région d'Orel (1-5 Ci/km² and 10-15 Ci/km²) (Kulakov *et al.* 2001).

Bélarus

Des infections *in utero* causées par le virus de l'herpès et une mortalité infantile importante ont été constatées dans les zones les plus contaminées de la région de Gomel (Matveev *et al.* 1995). L'invasion du *Trichocephalus trichiurus* – agent responsable de la trichocéphalose – dans les régions de Gomel et de Mogilev est liée à la densité de la contamination radioactive (Stepanov 1993). La prévalence et la gravité accrues de la tuberculose sont constatées dans les zones contaminées (Belookaya 1993), malgré une augmentation insignifiante de la morbidité nationale liée à la tuberculose. La morbidité de la tuberculose augmente particulièrement vite après 1991 dans les zones contaminées de la région de Gomel. Dès 1993, la proportion de 50,4 cas pour 10 000 habitants passe à 60,5 cas en 1994. Des formes de tuberculose résistantes aux médicaments et difficiles à soigner apparaissent (Borchevsky *et al.* 1996).

L'infection de cryptosporidie est découverte en augmentation dans les régions de Mogilev et de Gomel (4,1% contre 2,8% dans le groupe de référence) (Lavdovskaya *et al.* 1996). En 1993-1997, une plus grande fréquence des infections virales dues aux hépatites B et C, ainsi qu'une invasion plus étendue du virus des hépatites D et G sont observées parmi 2 814 adultes et adolescents souffrant des radiations de l'accident, dans la région de Vitebsk. Ceci pourrait entraîner à l'avenir une augmentation de la mortalité due à la cirrhose et au cancer primaire du foie (Zhavoronkova *et al.* 1998). Plus de 5 à 7 ans après l'accident, la morbidité de l'hépatite virale dans les parties hautement contaminées des régions de Gomel et de Mogilev est le double de la moyenne du Bélarus (Matveev 1993). L'activation de l'infection du cytomégalovirus est aussi constatée chez les femmes enceintes dans les zones fortement contaminées (Matveev 1993), de même que l'activation des virus herpétiques dans tous les territoires contaminés (Voropaev *et al.* 1996).

Russie

Une augmentation des infections de cryptosporidie est constatée dans la région de Bryansk (8% comparés aux 4,1% du groupe de référence). Les enfants des zones contaminées sont plus souvent affectés de pneumocystose (56,3% contre 30% dans le groupe de référence) (Lavdovskaya *et al.* 1996). Une morbidité statistiquement significative de la microsporidie, couramment appelée «teigne» et causée par l'infection fongique du *Microsporium sp.*, se développe sous une forme plus sévère dans les parties contaminées de la région de Bryansk (Rudnitsky *et al.* 2003; et le Tableau 3.8.1 ci-dessous).

Années	Deux districts “contaminés”	District “propre”
1998	56.3	32.8
1999	58.0	45.6
2000	68.2	52.9
2001	78.5	34.6
2002	64.8	23.7

Tableau 3.8.1. Nombre d'infections de microsporidie pour 100 000 habitants dans les trois parties de la région de Bryansk, entre 1998 et 2002 (Rudnitsky *et al.* 2003)

3.9. ABERRATIONS CHROMOSOMIQUES ET AUTRES CARACTERES GENETIQUES

Les rayonnements ionisants peuvent induire deux types d'aberrations chromosomiques: instables, comprenant les dicentriques, les anneaux centriques et les fragments acentriques; et stables, comme les translocations réciproques et autres (robertsoniennes, délétions et inversions). Le nombre de chromosomes dicentriques et annulaires, qui sont les principaux indicateurs de la mutagenèse chromosomique due à la radioactivité, et les aberrations stables, qui sont souvent associées à la mutagenèse chimique, se multiplient simultanément après l'accident parmi les populations exposées (Pilinskaya *et al.* 1994, Lazutka 1995). Il est confirmé que les aberrations chromosomiques instables, qui ont diminué après la période d'irradiation, sont bien les conséquences d'une surexposition aux rayonnements ionisants (Shevchenko & Snigireva 1996).

La fréquence des aberrations chromosomiques dans les zones contaminées par les retombées de Tchernobyl en Ukraine, au Bélarus et en Russie est notablement plus élevée que la fréquence générale (Lazjuk *et al.* 1999a&b, Pilinskaya *et al.* 1994, Sevankaev *et al.* 1995, Stepanova & Vanyurikhina 1993, Vorobtsova *et al.* 1995, Mikhalevich 1999). Quelques données significatives sont reportées dans le Tableau 3.9.1 ci-dessous.

Région et date de l'analyse	Nombre de personnes étudiées	Nombre de cellules analysées	Cellules aberrantes	Aberrations chromosomiques	Cellules multiaberrantes	Références
Ukraine, avant 1986	n/a	n/a	1.43 ± 0.16	1.47 ± 0.19	n/a	Pilinskaya <i>et al.</i> 1991
Région de Gomel, Bélarus, 1986-1987*	56	12 152	6.40 ± 0.7	n/a	n/a	Mikhailevich 1999
Zone des 30-km, 1998-1999	33	11 789	5.02 ± 1.95	5.32 ± 2.10	0.017 ± 0.066	Bezdrobna <i>et al.</i> 2002
Région de Kiev, Ukraine, 1998-1999	31	12 273	3.20 ± 0.84	3.51 ± 0.97	0.009 ± 0.25	Bezdrobna <i>et al.</i> 2002
Reste du monde, 2000	n/a	n/a	2.13 ± 0.08	2.21 ± 0.14	n/a	Bochkov <i>et al.</i> 2001

Tableau 3.9.1. Fréquence comparative (% moyen ± SD) des cellules aberrantes et des aberrations chromosomiques pour 100 lymphocytes, en Ukraine, au Belarus et dans le reste du monde.

Augmentation des aberrations chromosomiques	Dans les territoires contaminés à plus de 3 Ci/km ²	Bochkov 1993
	Chez les résidents établis en zone d'exclusion, en Ukraine	Bezdrobna <i>et al.</i> 2001
	Augmentation du nombre de maladies chromosomiques déterminées par des aberrations chromosomiques structurales résultant de mutations <i>de novo</i>	Lazjuk <i>et al.</i> 2001
	Augmentation des aberrations du fait de l'élévation de la pollution radioactive dans la région d'Ivano-Frankovskaya, en Ukraine	Sluchik <i>et al.</i> 2001
Echanges chromosomiques instables	Chez les résidents établis en zone d'exclusion, en Ukraine	Bezdrobna <i>et al.</i> 2001
Augmentation du nombre de chromosomes anormaux	Chez les femmes des secteurs contaminés de la région de Mogilev et les enfants des zones contaminées de la région de Brest	Lazyuk <i>et al.</i> 1994
Diminution de la fréquence de mitoses	Zones contaminées de la région de Bryansk	Pelevina <i>et al.</i> 1996
Augmentation du nombre de mutations du satellite ADN	Fréquence des mutations corrélée au niveau de contamination de la zone	Dubrova & Plumb 2002

Tableau 3.9.2. Synthèse des données concernant les troubles de l'appareil génétique.

Bélarus

Les aberrations chromosomiques dans les cellules somatiques sont en nombre élevé chez les personnes résidant dans les zones contaminées du Bélarus (Nesterenko 1996, Goncharova 2000). La fréquence des chromosomes dicentriques et circulaires chez les femmes dans les zones contaminées de la région de Mogilev est significativement plus forte que dans le groupe de contrôle (Lazyuk *et al.* 1994).

Les aberrations chromosomiques chez les enfants augmentent de $5,2 \pm 0,5\%$ en 1987 jusqu'à $8,7 \pm 0,6\%$ en 1988 ($p < 0,001$), et les cellules multi-aberrantes (2 à 4 aberrations) significativement de $16,4 \pm 3,3\%$ en 1987 et de $27,0 \pm 3,4\%$ en 1988 ($p < 0,01$). La fréquence des cellules multi-aberrantes (3 à 4 aberrations) augmente avec le temps chez les enfants vivant dans les zones fortement contaminées des districts de Khoïniki et de Bragin (Mikhalevich 1999).

Russie

La fréquence des aberrations chromosomiques est multipliée par 2, voire 4 chez les habitants des territoires présentant des niveaux de contamination supérieurs à 3 Ci/km² (Bochkov 1993). L'indice mitotique (nombre de mitoses pour 1 000 cellules sanguines) chez les habitants des districts de Klintsovsky et de Vishkovsky dans la région de Bryansk est significativement inférieur à celui du groupe de contrôle (Pelevina *et al.* 1996).

La fréquence des chromosomes dicentriques et circulaires chez les femmes dans les zones contaminées de la région de Mogilev est significativement supérieure à celle du groupe de contrôle (Lazyuk *et al.* 1994).

Les aberrations chromosomiques chez les enfants augmentent de $5,2 \pm 0,5\%$ en 1987 jusqu'à $8,7 \pm 0,6\%$ en 1988 ($p < 0,001$). On observe une augmentation significative des cellules multi-aberrantes (2 à 4 aberrations) de $16,4 \pm 3,3\%$ en 1987 jusqu'à $27,0 \pm 3,4\%$ en 1988 ($p < 0,01$) chez les enfants. La fréquence de cellules multi-aberrantes (3 à 4 aberrations) augmente dans le temps chez les enfants vivant dans les zones fortement irradiées des districts de Khoïniki et de Bragin (Mikhalevich 1999).

Ukraine

Depuis 1987, les chercheurs du laboratoire de cytogénétique du Centre de Recherche pour la Médecine Radiologique de l'Académie ukrainienne des Sciences examinent les groupes de population suivants: ceux qui se sont rétablis des suites d'une irradiation aigüe, les liquidateurs (principalement de 1986-1987), le personnel de la centrale de Tchernobyl (y compris ceux qui ont travaillé au sarcophage), les résidents de la zone des 30 km, et les enfants et adultes des régions soumises à une évacuation obligatoire et volontaire.

Les données obtenues démontrent une élévation de la dose dépendance dans la fréquence des aberrations chromosomiques somatiques (Pilinskaya *et al.* 1999 & 2001), ce qui concorde avec les résultats d'autres auteurs (Bochkov 1993, Lloyd & Sevankaev 1996, Maznik 1999, Sevankaev 2000, UNSCEAR 2001, Diomina 2003, Suskov *et al.* 2005, Maznyk 2005).

A l'âge de 10-12 ans, les enfants dont la moelle osseuse rouge a été exposée à une dose de radiation de 10.0-376.0 mSv avant la naissance, présentent une fréquence dose-dépendante d'aberrations chromosomiques plus élevée (Stepanova *et al.* 2001, Stepanova *et al.* 2002b). Un effet résiduel cytogénétique subsiste chez 37,5% des adolescents de 15-17 ans.

Une exposition prolongée à de faibles doses de rayonnements ionisants peut avoir un «effet de doublement» selon les critères cytogénétiques et induire des dommages chromosomiques spécifiques dans les cellules indicatrices (lymphocytes du sang humain périphérique), jusqu'à provoquer la mort ou le dysfonctionnement des cellules somatiques et germinales. Ceci peut entraîner des effets stochastiques et éventuellement non-stochastiques, avec composante de mutation (*NdT: mutation component, Crow et Denniston 1988*), particulièrement en ce qui concerne les pathologies multifactorielles. Des études détaillées (Pedan & Pilinskaya 2004, Pilinskaya *et al.* 2005, Shemetun & Pilinskaya 2005) sont conduites sur les «effets dysgénomiques» radio-induits (réponses adaptées et instabilité chromosomique – diffuse, cachée ou transmissible – ainsi que l'effet connexe «bystander»), de même que sur la comparaison du dommage de la structure chromosomique primaire avec les effets sanitaires reconnus néfastes de l'irradiation humaine.

L'examen des mêmes personnes avant et après l'accident de Tchernobyl révèle une augmentation multipliée par 6 de la fréquence de chromosomes dicentriques et annulaires radio-induits (Matsko 1999). La fréquence d'aberrations stables des chromosomes de lymphocytes dans le sang périphériques augmente significativement dans la population des territoires contaminés (où la concentration du ^{137}Cs dans le sol était de 110-860 kBq/m²), et parmi les jeunes évacués de la zone des 30 km (Maznik & Vinnikov 2002, Maznik *et al.* 2003). Le niveau des mutations baisse progressivement au cours des 14 ans de contrôle qui suivent (Maznik 2004). Néanmoins, plus de 12 à 15 ans après l'accident, les fréquences de cellules aberrantes et d'aberrations chromosomiques restent significativement plus élevées chez les habitants de la zone que chez les résidents de la région de Kiev.

Dans la zone d'exclusion des 30 km, la fréquence des deux formes d'aberrations de type chromosomique (1 ou 2 aberrations) et chromatidique augmente parmi les lymphocytes (Tableau 3.9.3.). La fréquence élevée de chromosomes acentriques en présence de chromosomes dicentriques et d'anneaux centriques est caractéristique d'une exposition continue à des taux de faibles doses de rayonnements LET (Transfert d'Energie Linéaire).

	Types d'aberration des chromatides			Types d'aberration des chromosomes						
				dicentriques et anneaux centriques						
	cassures	échanges	total	fragments	délétions interstitielles	avec fragment	sans fragment	total	monocentrique anormal	total
Zone des 30 km						0.22 ± 0.05	0.10 ± 0.03	0.33 ± 0.06	0.23 ± 0.05	2.16 ± 0.24
Zone de Kiev	2.31 ± 0.12*	0.02 ± 0.01	2.33 ± 0.12*	0.89 ± 0.12	0.04 ± 0.02	0.08 ± 0.03*	0.05 ± 0.02*	0.13 ± 0.03*	0.12 ± 0.03*	1.18 ± 0.13*

* - différences significatives

Tableau 3.9.3. Fréquence ($M \pm SEM$, pour 100 cellules) de divers types d'aberrations chromosomiques chez les évacués de la zone d'exclusion et chez les résidents de la zone de Kiev (Bezdrobna et al. 2002)

La fréquence des aberrations chromosomiques non-stables chez les enfants du village de Narodichi (contamination approximative du sol : 15 Ci/km²) reste à un niveau relativement stationnaire pendant plus de 10 ans alors que la fréquence des dommages chromosomiques stables augmente (Pilinskaya et al. 2003a).

Il est possible que la fréquence des aberrations chromosomiques reflète les caractéristiques générales des chromosomes dans l'ensemble de l'organisme. Les mutations chromosomiques dans les cellules somatiques sont l'indice d'un haut risque de morbidité pour diverses maladies. Ceci est mis en évidence par les corrélations établies entre les niveaux d'aberrations chromosomiques et le nombre de conditions pathologiques (Kutko et al. 1996).

Bien que ces aberrations chromosomiques dans les lymphocytes ne soient pas directement corrélées au développement des maladies héréditaires ou à leur transmission aux nouvelles générations, de telles perturbations reflètent de profonds désordres dans les processus génétiques et ontogénétiques. La fréquence de chromosomes dicentriques et annulaires chez les femmes examinées après l'accident et avec leur enfant nouveau-né est pratiquement égale (Matsko 1999).

3.10. LES MALADIES DU SYSTEME URO-GENITAL ET REPRODUCTEUR

L'accumulation de radionucléides dans l'organisme féminin entraîne une production accrue de l'hormone mâle testostérone, qui conduit à la masculinisation du corps de la femme (observée par Bandazhevsky 1999). Inversement, l'impuissance devient plus courante chez les hommes de 25 à 30 ans vivant dans les régions radioactives (Khvorostenko 1999).

Des études de femmes enceintes, de nouveau-nés et d'enfants dans les parties contaminées de l'Ukraine (district de Polesky dans la région de Kiev : 20-60 Ci/km²), du Bélarus (district de Chechersky dans la région de Gomel : 5-70 Ci/km²) et de la Russie (districts de Mtsensky et de Volkhovsky dans la région d'Orel : 1-5 and 10-15 Ci/km²) montrent un retard dans le développement sexuel des enfants des territoires pollués. Parmi les malformations congénitales, le nombre de perturbations dans le développement des organes génitaux est en augmentation très rapide. Les mères souffrent de retard et de perturbations du cycle menstruel, ainsi que de problèmes gynécologiques plus fréquents, d'anémie pendant et après la gestation, d'anomalies au commencement du travail et de rupture prématurée de la poche des eaux (Kulakov et al. 2001).

Bélarus

Le nombre d'enfants présentant un développement sexuel anormal est en augmentation dans les territoires à haut niveau de contamination radioactive (Sharapov, 2001). Une accélération du développement sexuel est constatée chez les filles pubères (âgées de 13-14 ans) ayant été irradiées par le passé (Leonova, 2001). Dans les territoires pollués par le strontium et le plutonium, un ralentissement du développement sexuel est observé à la fois chez les garçons (pendant 2 ans) et chez les filles (pendant 1 an), alors que les taux de développement sexuel se trouvent en augmentation dans les territoires principalement pollués par le césium (Paramonova & Nedvetskaya, 1993). Dès 2000, le niveau atteint par les anomalies du développement sexuel est 5 fois supérieur chez les filles nées après l'accident dans les territoires fortement contaminés du Bélarus, et 3 fois supérieur chez les garçons, par comparaison avec celui observé chez leurs contemporains des régions «conventionnellement propres» (Nesterenko *et al.*, 1993).

L'analyse de l'état de santé des 1 026 046 patientes en maternité dans les territoires aux niveaux de pollution excédant 1 Ci/km² révèle un niveau significativement supérieur de la morbidité du système uro-génital (Busuet *et al.* 2002). De 1991 à 2001, la morbidité gynécologique des femmes en âge de procréer augmente à travers tout le pays, de même que les complications pendant la grossesse et l'accouchement (Belookaya *et al.* 2002). Le nombre d'avortements médicaux et d'accidents au cours de la grossesse augmente aussi dans les régions contaminées (Golovko & Izhevsky 1996).

Les perturbations du cycle menstruel sont constatées chez la plupart des femmes dans les zones irradiées (Nesterenko *et al.* 1993). La stérilité et l'impuissance sont également enregistrées en augmentation dans les zones contaminées. Dans les régions contaminées, les consultations primaires pour cause de stérilité en 1991 sont 5,5 fois plus nombreuses que celles de 1986. Les causes de stérilité sont identifiées comme suit: pathologie du liquide séminal (6,6 fois plus de cas), syndrome polycystique ovarien (2 fois plus) et problèmes endocriniens (3 fois plus). L'impuissance chez les jeunes hommes (de 25 à 30 ans) est corrélée au niveau de contamination radioactive du pays (Shilko *et al.* 1993).

Russie

On rapporte des modifications structurelles dans les tubules séminifères des testicules et une perturbation de la spermatogenèse chez 75,6% des hommes examinés dans la région de Kaluga (Pissarenko 2003).

Ukraine

Dans les zones à niveau de radioactivité élevée, une augmentation considérable d'infections rénales, de pyélonéphrites chroniques de calculs dans les reins et l'urètre est observée chez les adolescents (Karpenko *et al.* 2003). La pathologie de la grossesse augmente après l'accident, alors que les maladies génito-urinaires en 1994 comptent pour 6,1% de la morbidité chez les adultes et les adolescents ukrainiens victimes de Tchernobyl (Grodzinsky 1999). Dans les territoires contaminés, 53% des patients atteints d'adénome de la prostate présentent une inactivation mutagène des gènes suppresseurs de la tumeur. Dans 96% des cas, des modifications précancéreuses de la vessie sont également rapportées (Prysyazhnyuk *et al.* 2002, Romanenko *et al.* 1999). Ces symptômes peuvent être reliés avec l'impact d'une irradiation faible, qui conduit à une instabilité génétique avec développement possible d'un cancer invasif de la vessie. De 1988 à 1999, la morbidité du système uro-génital a plus que doublé parmi la population vivant encore dans les territoires contaminés (Prysyazhnyuk *et al.* 2002).

Dans les zones polluées par les retombées de Tchernobyl, les cas d'inflammation des organes génitaux féminins se multiplient considérablement, et 5-6 ans après l'accident, l'occurrence des kystes ovariens et des fibromes utérins est double.

La fréquence des troubles menstruels est multipliée par trois, comparée à celle de la période précédant l'accident. Pendant les premières années qui ont suivi l'accident, les règles étaient plutôt abondantes, mais après 5-6 ans, elles se sont faites plus légères et plus irrégulières (Gorptchenko *et coll.* 1995). Plus de 8-10 ans après l'accident, la menace d'interruption de grossesse est devenue plus fréquente chez les personnes

évacuées de la zone des 30 km et ceux qui vivent dans les territoires contaminés. Les cas de pré-éclampsie et les naissances prématurées sont également plus nombreux (Golubchikov *et al.* 2002; Kyra *et al.* 2003).

La santé de la fonction reproductrice a été étudiée en détail chez la femme parmi les évacuées et les liquidatrices, ainsi que dans la population vivant dans les régions fortement radioactives. Le groupe de contrôle comprend les femmes vivant dans des régions conventionnellement considérées comme propres (Yagotin dans la région de Kiev, et la ville de Poltava). Les indices moyens établis sur la période de trois ans précédant l'accident sont également pris en compte. La base de données compte plus de 20 000 femmes enceintes et leurs nouveau-nés (Lukyanova 2003, Dashkevich & Janyuta, Dashkevich *et coll.* 1992). Trois fois plus de maladies inflammatoires des organes de reproduction interne, de troubles du cycle menstruel et tumeurs ovariennes bénignes sont enregistrés (Lukyanova 2003, Ivanyuta & Dubchak 2000). L'analyse des données portant sur 1 017 filles et adolescentes irradiées montre un retard de l'apparition de la puberté dans 11% des cas, et diverses perturbations de la fonction menstruelle dans 14% des cas (Lukyanova 2003, Dashkevich *et coll.* 1992, Dashkevich *et coll.* 2001).

L'incorporation de ¹³⁷Césium dans le placenta est également constatée. L'examen histologique du placenta révèle des perturbations aiguës dans la circulation sanguine, une intensification de la prolifération active des syncytiotrophoblastes et la présence de formes de fibroblastes mal différenciées et sous-développés dans le villi terminal du stroma (Lukyanova 2003, Zadorozhnaya *et coll.* 1993). Les interférences dans la circulation sanguine et les modifications dystrophiques et involutives dans le placenta sont liées à la dose (Lukyanova 2003, Lukyanova *et al.* 2005).

Une corrélation entre le niveau des radionucléides dans le placenta et l'inhibition de la croissance du fœtus est établie. L'incorporation de radionucléides dans le placenta des femmes vivant dans les secteurs contaminés est de 4,9 Bq/kg, ce qui entraîne une insuffisance pondérale chez le nouveau-né, à replacer dans un contexte d'hypoplasie du placenta, non-uniforme dans son épaisseur et présentant infarctus, kystes et dépôts de sels de calcium. Au cours de ces dernières années, une concentration élevée de radionucléides alpha84 est constatée dans le système ostéal des enfants mort-nés dont la mère vivait dans les régions à radioactivité contrôlée (Lukyanova 2003, Zadorozhnaya *et al.* 1993).

L'analyse des complications de la gestation montre que dans le groupe à risque d'irradiation, 54,1% des femmes enceintes ont des complications de grossesse (pré-éclampsie, anémie, échec foeto-placentaire), tandis que dans le groupe du contrôle, les complications n'apparaissent que dans 10,3% des cas. L'examen par ultrasons permet d'évaluer à 35% le risque d'inhibition dans le développement fœtal, dans le groupe des femmes à risque d'irradiation, un risque trois fois plus élevé que dans la population générale (Lukyanova 2003, Dashkevich & Janyuta 1997, Sergienko 1997, Sergienko 1998).

Dans le groupe à risque d'irradiation, les complications surviennent dans 78,2% des accouchements, soit 2,2 fois plus souvent que dans le groupe de contrôle. On retiendra tout particulièrement le problème croissant d'hémorragies utérines. Les études des concentrations de hormones complexes foeto-placentaires révèlent des altérations qui auraient contribué au développement de complications hémorragiques, ainsi que des perturbations considérables du système hémostasique (Lukyanova 2003, Dashkevich & Janyuta 1997, Sergienko 1997).

Le nombre de naissances dans les territoires contrôlés est en baisse de 35-40 % (Dashkevich & Janyuta 1997). Les impacts sur la santé de la fonction reproductrice chez les femmes en Ukraine durant la période d'urgence après l'accident entraînent des conséquences négatives pour la fertilité et donc contribuent à détériorer la situation démographique dans son ensemble, avec seulement 62 % de la mortalité compensée par le taux de natalité (Lukyanova 2003, Dashkevich & Janyuta 1997).

3.11. MALFORMATIONS ET MALADIES CONGENITALES DE L'ENFANT ET DU NOURRISSON

Comme il est dit ci-dessus, le placenta accumule les radionucléides qui, en pénétrant le fœtus, entraînent une dysplasie fœtale, des anomalies structurelles et fonctionnelles dans différents organes et systèmes, y compris le système squelettique.

A la fois les complications de la grossesse et les modifications morpho-fonctionnelles du placenta peuvent provoquer une pathologie néonatale. Ces nouveau-nés connaissent trois fois plus souvent des ennuis de santé de formes diverses que ceux du groupe de contrôle. Les problèmes observés concernent la perturbation des premiers processus d'adaptation néonatale (troubles neurologiques, oedèmes, syndromes ictérique et hémorragique, troubles du développement respiratoire, une plus grande perte de masse corporelle et la lenteur de sa restauration). Parmi les maladies du nouveau-né, l'asphyxie et les troubles respiratoires semblent prédominer, imputable aux fréquentes complications obstétriques subies par les mères pendant la grossesse (Lukyanova 2003, Dashkevich & Janyuta 1997, Dashkevich *et coll.*1992, Epstein *et al.* 2004, Sergienko 1998).

L'hypoxie et l'asphyxie endométriques pendant l'accouchement apparaissent 5,3 fois plus souvent qu'avant l'accident ; les troubles respiratoires non-infectieux sont 9 fois plus fréquents chez les nouveaux-nés dont la mère venait dans les territoires irradiés du district Polesky dans la région de Kiev (jusqu'à 20-60 Ci/km²), du district de Chechersky dans la région de Gomel (5-70 Ci/km²), des districts de Mtsensky et de Volkhovsky dans la région d'Orel (1-5 Ci/km² et 10-15 Ci/km²) (Kulakov *et coll.*2001).

Un pourcentage plus élevé d'enfants irradiés *in utero* développent une pathologie du système respiratoire: 26,0%, comparativement à 13,7% dans le groupe de contrôle ($p < 0,05$) (suivi par Prysyzhnyuk *et coll.*2002).

Un examen rigoureux des femmes enceintes, des patientes en maternité, des nouveaux-nés et des enfants dans les territoires contaminés de l'Ukraine (district de Polesky dans la région de Kiev, 20-60 Ci/km²), du Bélarus (district de Chechersky dans la région de Gomel, 5-70 Ci/km²) et de la Russie (districts de Mtsensky et de Volkhovsky dans la région d'Orel, 1-5 et 10-15 Ci/km²) indique une augmentation du nombre des déficiences dans le développement de l'appareil digestif des nouveau-nés (Kulakov *et al.* 2001).

Une autre étude porte sur un groupe de 1114 enfants ukrainiens ayant été irradiés *in utero*. Le Groupe I est composé des enfants nés de femmes déjà enceintes au moment de l'accident et qui ont été évacuées de la ville de Pripyat ; le Groupe II comprend aussi des enfants nés de femmes enceintes au moment de l'accident, mais qui ont continué à vivre dans les zones de contamination ; le Groupe III, groupe de contrôle, est composé d'enfants nés de femmes vivant dans les territoires «propres».

L'exposition du fœtus aux radiations entraîne un abaissement du niveau de santé de l'enfant à tous les stades de son développement postnatal (Stepanova *et coll.*1997, Stepanova 1997, Stepanova *et coll.*2002a, Stepanova *et coll.*2003). La pathologie somatique chronique apparaît plus souvent chez les enfants ayant subi à l'état de fœtus une irradiation de la thyroïde supérieure à 0,36Gy. Ce qui est le cas chez presque tous les enfants à partir de 1,0Gy.

Des perturbations du développement physique sont observées plus fréquemment chez les enfants exposés aux rayonnements ionisants jusqu'à la 16^{ème} semaine du développement fœtal (une dose moyenne de 0,31Gy) que dans le groupe de contrôle, alors qu'à la suite de l'exposition après la 16^{ème} semaine (une dose moyenne de 0,85Gy), de fréquents écarts pathologiques sont identifiés pendant la puberté.

L'irradiation des organes centraux pour le développement du système immunitaire fœtal (thymus et moelle osseuse rouge) a pour conséquence la disruption substantielle dose-dépendante du système immunitaire des enfants (Stepanova *et coll.*1998, Stepanova *et coll.*2001, Vdovenko 1999 & 2005). L'exposition du fœtus

aux facteurs de risque médico-biologique associés à l'irradiation contribue à une fréquence plus élevée de petites anomalies du développement. Le taux d'occurrence moyenne chez les enfants exposés à une irradiation prénatale est $5,52 \pm 0,22$, alors qu'il est seulement de $2,95 \pm 0,18$ (<0.001) dans le groupe de contrôle. Une corrélation ($r=0,61$) est établie entre le nombre de petites anomalies dans le développement de l'enfant et la dose d'exposition pendant le développement fœtal. A l'âge de 10-12 ans, les enfants dont la moelle osseuse rouge a été exposée à un rayonnement prénatal de 10.0-376.0 mSv présentent une fréquence dose-dépendante d'aberrations chromosomiques plus élevée (Stepanova *et coll.*2001, Stepanova *et coll.*2002b). Un effet résiduel cytogénétique est constaté dans 37,5 % de la population des 15-17 ans.

Les enfants nés de parents ayant été exposés aux radiations sont également de santé faible, souffrant de morbidité à des proportions plus élevées que dans l'ensemble de l'Ukraine. Au cours des 5 dernières années, celles-ci passent de 1134,9 à 1367,2 ‰, comparativement à 960,0 et 1 200,3 ‰ dans tout l'Ukraine). Seulement 9,2% de ces enfants sont reconnus comme «pratiquement en bonne santé». Parmi les 13 136 enfants nés de liquidateurs au cours de la période 1986-1987, 1 190 sont enregistrés comme ayant des anomalies du développement congénital (9,6‰). La plus haute fréquence est enregistrée parmi les enfants nés dans les premières années après l'accident (Stepanova *et al.* 1999, Stepanova *et al.* 2004).

Dans le but d'évaluer les effets génétiques possibles dans la première génération de personnes exposées aux radiations immédiatement après l'accident, les membres des familles de liquidateurs d'origine ukrainienne de la 1986-1987 période ont été examinés. La majorité des enfants de père liquidateur manifestent de nombreuses petites anomalies de développement. La fréquence des aberrations chromosomiques (Stepanova *et coll.*2004, Shestopalov *et coll.*2004) et des mutations dans les fractions d'ADN microsatellites associées est plus élevée que chez leurs frères et sœurs aînés qui sont nés avant l'accident (Weinberg *et al.* 2001).

Des niveaux de mutations élevés dans les fractions d'ADN microsatellites sont constatés dans la première génération des parents exposés aux rayonnements (Dubrova 1992, Dubrova *et coll.*1998a&b). Tout ce qui est rapporté ci-dessus autorise à classer les enfants et adolescents exposés aux radiations avant la naissance dans le groupe à risque de mutations génétiques.

En collaboration avec l'Université de Bristol, des chercheurs ukrainiens ont déterminé l'absorption moyenne de radioactivité dans les organes du nouveau-nés morts, comme le montre le Tableau 3.11.1 ci-dessous (Lukyanova 2003, Lukyanova *et coll.*2005). Même les faibles doses peuvent être significatives pour la croissance et développement du fœtus.

Organe	Contamination (Bq/kg)
Côtes	$1,01 \pm 0,24$
Intérieur de la colonne vertébrale	$0,67 \pm 0,02$
Dents en formation	$0,4 \pm 0,02$
Foie	$0,39 \pm 0,05$
Os longs	$0,32 \pm 0,02$
Rate	$0,205 \pm 0,03$
Thymus	$0,14 \pm 0,015$

Tableau 3.11.1. Incorporation moyenne de la radioactivité dans les organes des nouveau-nés décédés.

L'examen morphologique du tissu osseux révèle des modifications localisées dans la circulation sanguine (changements dystrophiques des parois artériolaires), la réduction du nombre d'ostéoblastes, les modifications dystrophiques des ostéoblastes et des ostéoclastes de plus petite taille et irrégulièrement placés dans 20% des cas. Ce déséquilibre manifeste dans la proportion entre ostéoblastes et ostéoclastes peut déclencher des mécanismes destructeurs dans le développement du tissu osseux (Lukyanova 2003, Lukyanova *et coll.*2005).

Comme les plus hauts niveaux d'incorporation de radionucléides se trouvent dans le tissu osseux du fœtus et dans les dents en formation, il a été décidé d'examiner l'état du système squelettique plus en détail. L'étude montre que certains enfants nés après l'accident de Tchernobyl souffrent à un âge précoce du changement qualitatif de la structure de leur système squelettique. Ces changements présentent un caractère mixte, avec prévalence de l'ostéofibromatose, de l'ostéopénie et de l'ostéoporose.

On décèle chez les enfants nés après l'accident de Tchernobyl une tendance à développer des processus dysplastiques systémiques, dans le tissu chondral (niveau significatif de dysmésenchimoses, dysmorphisme du squelette), dans le tissu osseux (ostéofibromatose dysplastique, hypoplasie systémique de l'émail dentaire) et du tissu conjonctif (niveaux significatifs de microangiopathie, fibrose des artérioles et des veinules de foie, de la rate, de la rétine et prolapsus de la valve mitrale). Ces modifications peuvent indiquer une dysplasie du mésenchyme, et l'ambiguïté des résultats concernant les tissus conjonctifs, chondraux et osseux peut signaler une radiosensibilité hétérogène des enfants examinés (Arabskaya 2001).

Dans la majorité des enfants de cette cohorte, la perturbation de la microcirculation et le développement de l'hypoxie sont constatés, qui enclenchent les processus dystrophiques dans le tissu osseux (y compris les microangiopathies, l'activation de peroxydation des lipides, des modifications des propriétés structurales et fonctionnelles des membranes cellulaires et de l'ultrastructure érythrocytes, diminution de la résistance osmotique et de la résistance des érythrocytes, et baisse de leur teneur en 2,3-diphosphoglycérate).

La modulation du développement du système squelettique a été étudiée en détail, notamment en ce qui concerne les modifications des propriétés structurales et fonctionnelles des ostéoblastes, l'activation du processus de remodelation du tissu osseux et l'anomalie de la phase formative de sa minéralisation, associée à la destruction du tissu osseux.

Chez les enfants examinés, les dents *in utero* ont incorporé irrégulièrement des radionucléides-alpha, ce qui a perturbé les échéances de la dentition. Plus précisément, l'apparition de la dentition définitive en a été anticipée, suivie d'une déficience de la condition du tissu périodontal et du développement précoce des caries dentaires. Ceci correspond à un vieillissement biologique prématuré de ces tissus avec des modifications de processus d'ostéogenèse qui commencent dès la période de développement intra-utérin.

Parmi les enfants de cette cohorte, 13,2% se démarquent par leur âge biologique, de leurs contemporains des régions «censément propres», tandis que 46,9% témoignent de signes de vieillissement plus avancés que leurs contemporains, ce qui peut indiquer une activation du processus de vieillissement précoce chez les enfants nés après l'accident de Tchernobyl (Lukyanova *et coll.*2005, Arabskaya 2001, Antipkin & Arabskaya 2003, Arabskaya *et coll.*2005).

Il est démontré que l'irradiation provoque l'activation de processus de restauration du tissu osseux. Mais on ne peut parler des irradiations nucléaires comme des soi-disant «rayonnements hormesis», puisqu'elles exercent une influence négative sur la qualité du tissu osseux nouvellement formé et la réalisation de la masse osseuse chez les enfants nés après l'accident de Tchernobyl (Lukyanova *et coll.*2005, Arabskaya 2001).

A partir des données obtenues dans cette cohorte d'enfants, la recherche s'est portée sur l'état de santé et sur l'état des systèmes squelettiques «de la première génération», c'est-à-dire : les enfants de femmes ayant été fortement irradiées pendant leur enfance et leur adolescence au moment de l'accident de Tchernobyl.

Les indices de la période prénatale et intranatale déterminent le futur état de santé de l'enfant à de nombreux égards. Il est établi que les femmes ayant reçu une irradiation de la thyroïde dans leur enfance connaissent des complications de grossesse plus fréquemment que les femmes du même âge, mais de régions «censément propres», et les complications sont davantage susceptibles de survenir pendant la grossesse de fœtus femelles.

L'irradiation au cours de l'enfance influence négativement la santé reproductrice et fait chuter le taux de grossesses à 25,8%. La variabilité dépend de la dose d'irradiation (qui diminue de 41% chez ceux qui ont reçu de moindres doses, jusqu'à 12,5% chez ceux qui ont reçu de fortes doses d'irradiation dans leur enfance). Ceci indique l'extrême radiosensibilité du système de reproduction féminin au cours de l'enfance et l'adolescence (Tolkach 2002).

La haute sensibilité du système osseux aux radiations est indiquée non seulement par la grande fréquence des problèmes de développement rencontrés dans les systèmes squelettique et dentaire, mais aussi par l'augmentation par 3 du taux de développement de l'ostéoporose chez les femmes examinées, cliniquement attesté par des fractures osseuses avant la grossesse chez 11,1% des femmes (contre 4,2% dans le groupe de contrôle). Est également enregistré un taux significatif de manifestations non spécifiques d'hypocalcémie pendant la grossesse: crampes surales, ossalgies et caries dentaires dans 74,2 % des cas (comparés à 12,5% dans le groupe de contrôle) (Arabskaya *et al.* 2002, Antipkin *et al.* 2003).

Ces résultats indiquent que, dans cette cohorte de femmes, le développement foetal se passe dans des conditions compliquées à la fois par le dysfonctionnement du système reproducteur maternel et par de profondes modifications de l'homéostasie minérale. Le taux de naissance des enfants présentant des anomalies congénitales est significativement plus élevé dans cette cohorte de femmes, par comparaison avec celui de femmes résidant dans les territoires «censément propres». L'hypogalactie primaire et secondaire (manque de lait) apparaît chez un tiers des femmes (33,8%), à comparer à 12,5% dans le groupe de contrôle.

La première génération d'enfants nés de mères irradiées durant leur enfance et leur adolescence est physiologiquement immature à la naissance. Les enfants souffrent plus fréquemment de malaises au cours de la première année de leur vie, avec développement précoce de problèmes chroniques. La proportion d'enfants en bonne santé est très faible.

Dans cette première génération, la prévalence de l'apparition précoce de caries dentaires est plus grande que chez les enfants des territoires «censément propres». La pathologie du système squelettique est le troisième effet radiologique enregistré, après la pathologie des organes digestifs et celle des poumons. Elle est détectée deux fois plus souvent que parmi leurs contemporains des régions «censément propres». L'ossalgie et les fractures sont constatées 5 fois plus souvent (Arabskaya *et coll.* 2003, Arabskaya *et al.* 2004).

Même lorsque le développement physique dans cette cohorte s'effectue normalement, il accuse un retard plus fréquemment que chez les enfants résidant dans les régions «officiellement propres».

Il est établi que, dans cette première génération d'enfants nés de mères irradiées dans leur enfance, le développement précoce de modifications adaptatives dans le système squelettique est suivi de changements quantitatifs structurels de tissu osseux, dont le caractère dépend de la dose et du type de radiation auxquels les mères ont été exposées dans leur enfance, de même que de l'âge de ces dernières au moment de l'irradiation.

Les doses d'irradiation plus élevées sont corrélées à l'ostéoporose précoce et au développement de l'ostéofibrose chez les descendants, surtout chez les filles. Des doses plus basses sont cause de l'ostéopénie et de l'ostéomalacie. Quelle qu'en soit la dose, l'irradiation des mères au temps de leur jeunesse provoque l'ostéofibrose dans la descendance et dès le plus jeune âge. L'irradiation des mères lors de la puberté contribue également au développement précoce de la scoliose chez leurs enfants, particulièrement les filles. Des modifications histoarchitectoniques précoces du tissu osseux sont suivies non seulement de changements des propriétés physiques des os, mais également de perturbations de l'homéostasie minérale ainsi que de changements des propriétés structurelles et fonctionnelles des cellules ostéogéniques (Tolkach 2002, Arabskaya *et al.* 2002, 2003 & 2004, Antipkin *et al.* 2003).

Ces modifications du système osseux et ces changements structurels du tissu osseux dans cette cohorte d'enfants peuvent être interprétés comme des effets cliniques et biologiques possibles des rayonnements ionisants, puisqu'il est établi que la nature des changements qualitatifs du système squelettique chez les descendants dépend des doses de radiations auxquelles leurs mères ont été exposées dans leur enfance. La recherche donne des raisons de croire que les effets biologiques de l'irradiation des mères dans leur enfance sont semblables à ceux de leurs enfants de la première génération, mais ces études restent à approfondir.

Les augmentations de la fréquence d'enfants présentant des malformations congénitales, telles que bec-de-lièvre et fente du palais, duplication des reins et des urètres, polydactylie, malformation dans le développement des systèmes nerveux et circulatoire, atrésie de l'œsophage et de l'anus, pieds palmés, anencéphalie, spina bifida et sous-développement des membres, sont constatées dans tous les territoires contaminés au cours des premières années après l'accident (Goncharova, 2000, Ibragimova, 2003; Dubrova *et al.*, 1996).

Bélarus

Le Tableau 3.11.2 rassemble les preuves de la prévalence accrue des malformations congénitales chez les enfants nés un à trois ans après l'accident, dans deux des régions les plus contaminées du Bélarus: les régions de Gomel et de Mogilyov. Les Tableaux 3.11.3. et 3.11.4. établissent la relation entre niveau de contamination et la fréquence des malformations dans l'ensemble du Bélarus.

District	1982—1985	1987—1989
<i>Région de Gomel</i>		
Brginsky	4,09 ± 1,41	9,01 ± 3,02
Buda-Koshelevsky	4,69 ± 1,21	9,33 ± 2,03*
Vetkovsky	2,75 ± 1,04	9,86 ± 2,72
Dobrushsky	7,62 ± 1,96	12,58 ± 2,55
Elsky	3,26 ± 1,35	6,41 ± 2,42
Kormyansky	3,17 ± 1,20	5,90 ± 2,08
Lelchitsky	3,28 ± 1,16	6,55 ± 1,98
Loevsky	1,56 ± 1,10	3,71 ± 2,14
Hoiniksky	4,37 ± 1,16	10,24 ± 2,55*
Chechersky	0,97 ± 0,69	6,62 ± 2,33*
<i>Région de Mogilyov</i>		
Byhovsky	4,00 ± 1,07	6,45 ± 1,61
Klimovichsky	4,77 ± 1,44	3,20 ± 1,43
Kostyukovichsky	3,00 ± 1,22	11,95 ± 2,88**
Krasnopolsky	3,33 ± 1,49	7,58 ± 2,85
Slavgorodsky	2,48 ± 1,24	7,61 ± 2,68
Cherikovsky	4,08 ± 1,66	3,59 ± 1,79
Total	3,87 ± 0,32	7,19 ± 0,55***

* $p > 0,05$ (*), ** $p > 0,01$; *** $p > 0,001$

Tableau 3.11.2. La fréquence de naissances d'enfants présentant des malformations congénitales (pour 1000 accouchements) dans les régions de Gomel et de Mogilyov, au Bélarus avant et après l'accident de Tchernobyl (Nesterenko 1996)

Contamination, Ci/km ²	1982 – 1985	1987 – 1992
Inférieure à 1	4,72 (4,17 – 5,62)	5,85 (5,25 – 6,76)*
1-5	4,61 (3,96 – 5,74)	6,01 (4,62 – 7,98)**
Supérieure à 15	3,87 (3,06 – 4,76)	7,09 (4,88 – 8,61)**

* $p > 0.05$, ** $p > 0.01$

Tableau 3.11.3 Prévalence des malformations congénitales (pour 1000 naissances d'enfants vivants), répartie selon les différents niveaux de contamination radioactive des territoires du Bélarus (Lazjuk et al. 1996, Goncharova 2000)

	≥15 Ci/km ² , 17 districts		<1 Ci/km ² , 30 districts	
	1982-1985	1987-1995	1982-1985	1987-1995
Anencéphalie	0.28	0.44	0.35	0.49
Spina bifida	0.58	0.89	0.64	0.94*
Bec-de-lièvre et/ou fente palatale	0.63	0.94	0.50	0.95*
Polydactylie	0.10	1.02*	0.26	0.52*
Défauts par réduction des membres	0.15	0.49*	0.20	0.20
Syndrome de Down	0.91	0.84	0.63	0.92*
Malformations multiples	1.04	2.30*	1.18	1.61*
Total	3.87	7.07*	3.90	5.84*

* $p > 0.05$

Tableau 3.11.4. Occurrence des malformations congénitales (pour 1000 naissances d'enfants vivants) dans les territoires présentant différents niveaux de pollution radioactive après Tchernobyl, au Bélarus (Lazjuk et al. 1999)

Russie

On enregistre une augmentation de la prévalence des malformations congénitales dans la région la plus contaminée de Russie, la région de Bryansk (Ljaginskaja & Osypov 1995, Ljaginskaja et al. 1996), ainsi que dans les districts contaminés de la région de Tula (Khvorostenko 1999).

3.12. VIEILLISSEMENT PREMATURE

Bien que les réactions varient selon les individus, les rayonnements ionisants peuvent être considérés comme une forme «exogène» particulière du vieillissement et favoriser l'émergence de pathologies somatiques non-tumorales (Kovalenko 1988). Les études épidémiologiques prospectives sur les survivants de la bombe atomique révèlent que l'exposition aux rayonnements ionisants augmente significativement la mortalité non cancéreuse. Mais les mécanismes biologiques impliqués sont inconnus (Bazyka et coll. 2004).

L'âge relatif des personnes vivant dans des zones contaminées en Ukraine augmente: leur âge biologique dépasse de 7 à 9 ans leur âge civil (Mezhzherin 1996). La différence moyenne entre l'âge biologique et l'âge civil calculée d'après les marqueurs de vieillissement chez 306 liquidateurs varie de 5 à 11 ans (Polukhov et coll. 1995, cité par Ushakov et coll. 1997).

La preuve de mortalité prématurée associée existe également. L'âge moyen de décès par infarctus du myocarde (crise cardiaque), chez les hommes et les femmes qui demeurent ou vivent habituellement dans les territoires avec un niveau de pollution excédant 555 kBq/m² par le ¹³⁷Césium, est de 8 ans inférieur à la moyenne enregistrée au Bélarus (Antypova & Babichevskaya 2001).

Parmi les liquidateurs en observation, les maladies de la circulation sanguine – caractéristique chez les personnes âgées – comme l'artériosclérose et l'hypertension etc., se développent 10-15 ans plus tôt que normalement. Une augmentation, parmi ces liquidateurs, de la propagation de maladies caractéristiques des personnes âgées indique leur vieillissement prématuré. L'absence de personnes pratiquement en bonne santé dans ce groupe est également un indice de vieillissement prématuré. Une forte propagation de maladies de l'appareil gastro-intestinal, du système hépatobiliaire, des os et des articulations est également constatée (95%) (Oradovskaya *et al.* 2001&2005, Oradovskaya 2004).

3.13. MALADIES DES ORGANES SENSORIELS

Dans les zones contaminées autour de Tchernobyl, les troubles morphologiques et fonctionnels de l'appareil visuel, la cataracte, la destruction du corps vitreux et les anomalies de la réfraction connaissent une plus grande fréquence que dans les régions voisines plus propres (Bandajevski 1999).

Une enquête auprès des femmes enceintes, des patientes en maternité, des nouveau-nés et des enfants dans les territoires contaminés en Ukraine (district de Polesky, dans la région de Kiev : 20-60 Ci/km²), Bélarus (district de Chechersky, dans la région de Gomel : 5-70 Ci/km²) et la Russie (districts de Mtsensky et de Volkhovsky, dans la région de Orel : 1-5 et 10-15 Ci/km²) montrent une augmentation du nombre des déficiences dans le développement des organes sensoriels, y compris la cataracte congénitale du nouveau-né (Kulakov *et al.* 2001).

L'opacification du cristallin, un des premiers symptômes de la cataracte, est constatée chez 24,6% des enfants irradiés, et 2,9% dans le groupe de contrôle (Avchacheva *et coll.* 2001). Les enfants ayant été exposés avant l'âge de 5 ans ont plus de problèmes d'accommodation de la vision et présentent l'excès le plus élevé de risque pour tous les groupes de maladies. Par exemple, on enregistre une augmentation multipliée par 6,5 de l'incidence des maladies du système digestif parmi les enfants affectés qui ont été examinés de 1987 à 1999 (sous-registre de données RCRM «Enfants») (Serduchenk *et al.* 2001, Korol *et al.* 2001).

Des effets oculaires constatés chez les patients depuis l'accident de Tchernobyl sont classés comme blessures spécifiques de l'irradiation, uniquement imputables à l'exposition aux radiations, ou comme ophthalmopathologies observées dans des conditions normales, mais pour lesquelles l'exposition aux radiations comporte un important facteur de risque supplémentaire.

Le premier groupe comprend les cataractes dues à l'irradiation, les chorio-rétinopathies dues à l'irradiation (y compris les syndromes du châtaignier et de diffraction grating, qui sont rares et seulement constatés parmi les individus irradiés dans des conditions spéciales). Le «syndrome du châtaignier» est une forme d'angiochorio-rétinopathie due à l'irradiation, et tire son nom des malformations en forme de feuille de châtaignier apparaissant dans la rétine. Le «syndrome de diffraction grating», dans lequel un exsudat apparaît dispersé en taches sur la partie centrale de la rétine, a été observé chez un individu irradié dans des conditions particulières, à la vue directe du noyau du quatrième réacteur (Fedirko 1997).

La cataracte due à l'irradiation peut être causée par une forte dose d'exposition, mais aussi par des doses inférieures à 1 Gy. Les données de modèles mathématiques indiquent que la cataracte est un effet stochastique de l'exposition à la radioactivité. Le risque absolu en est correctement analysé par le modèle fondé sur la dose d'irradiation corporelle totale et le temps d'exposition. Réfutant le principe de seuil d'irradiation acceptable, ce modèle évalue le risque relatif de cataracte radio-induite à 3,45 (1,34-5,55) pour 1 Gy (Fedirko 2000, 2002).

Le deuxième groupe de pathologies, les maladies qui apparaissent dans des conditions normales, mais qui sont plus répandues dans la population contaminée, est plus significatif. L'exposition aux rayonnements causée par le travail d'urgence à Tchernobyl a favorisé l'apparition prématurée de modifications

ophtalmiques involutives et dystrophiques, de développement de la pathologie des vaisseaux oculaires, et conduit à une augmentation dose dépendante significative de la dégénérescence chorio-rétinale, comme la dégénérescence maculaire âge dépendante (AMD) et les cataractes involutives.

La dégénérescence chorio-rétinale centrale avec symptômes cliniques de l'AMD est la forme de pathologie rétinienne la plus fréquemment constatée au cours de la dernière période (136,5 ± 10,7 pour 1 000 en 1993, et 585,7 ± 23,8 pour 1 000 en 2004). La cataracte involutive est la pathologie du cristallin la plus répandue. Sa prévalence durant la période de surveillance passe de 294,3 ± 35,9 pour 1 000 personnes irradiées en 1993, à 766,7 ± 35,9 pour 1 000 en 2004 (Fedirko 1997 & 1999a, Buzunov & Fedirko 1999, Fedirko 2005).

A partir des données de modélisation mathématique, les facteurs de risque pour les cataractes involutives et la dégénérescence chorio-rétinale centrale chez les liquidateurs sont : l'âge, le temps écoulé après l'irradiation et la dose absorbée d'irradiation externe. Le risque relatif de l'AMD est de 1,727 (1,498 ; 2,727) par année d'âge et de 6,453 (3,115 ; 13,37) par $1 \sqrt{(d * t)}$, où d est la dose de Gy et t le temps de risque au cours des années (Fedirko 2002).

En outre, il y a un taux de prévalence élevé de la destruction dose-dépendante du corps vitreux, de la conjonctivite chronique et des tumeurs bénignes sur la peau de la paupière (Fedirko 1997 & 1999b, Buzunov & Fedirko 1999). Les personnes irradiées connaissent également une baisse de l'accommodation oculaire – de 0,78 dioptries par 1 Gy (Sergienko & Fedirko 2002). L'exposition aux radiations favorise le vieillissement prématuré de l'oeil.

La surveillance à long terme des yeux de populations irradiées et la modélisation mathématique des risques absolus de la maladie oculaire montrent que l'angiopathie rétinienne augmente de manière prévisible avec la dose de rayonnement. Une augmentation statistiquement significative du risque de cataracte involutive peut être attendue dans la cinquième année après l'irradiation, l'AMD dans la sixième année.

Bélarus

En 1996, les cataractes parmi les Biélorussiens évacués de la zone des 30 km est en proportion de plus de trois fois supérieure à celle de l'ensemble de la population (44,3 comparé à 14,7 cas pour 1 000) (Matsko 1999). Elles sont plus fréquentes dans les secteurs du Bélarus où la pollution radioactive dépasse 15 Ci/km² (Paramey *et coll.* 1993, Goncharova 2000).

Année	Incidence moyenne au Bélarus	Population dans une zone avec 1-15 Ci/km²	Population dans une zone excédant 16-40 Ci/km²	Evacués d'une zone avec > 40 Ci/km²
1993	136,2	189,6	225,8	354,9
1994	146,1	196,0	365,9	425,0

Tableau 3.13.1. Occurrence (nombre de cas pour 10 000 habitants) de morbidité de la cataracte dans divers groupes de population en 1993-1994 au Bélarus (Goncharova, 2000)

Le nombre d'opacités des deux yeux est plus élevé dans les territoires plus fortement contaminés (Tableau 3.13.2. et Figure 3.13.1.) et corrélé avec le niveau de ¹³⁷Cs chez les enfants biélorussiens (Arinchin & Ospennikova, 1999).

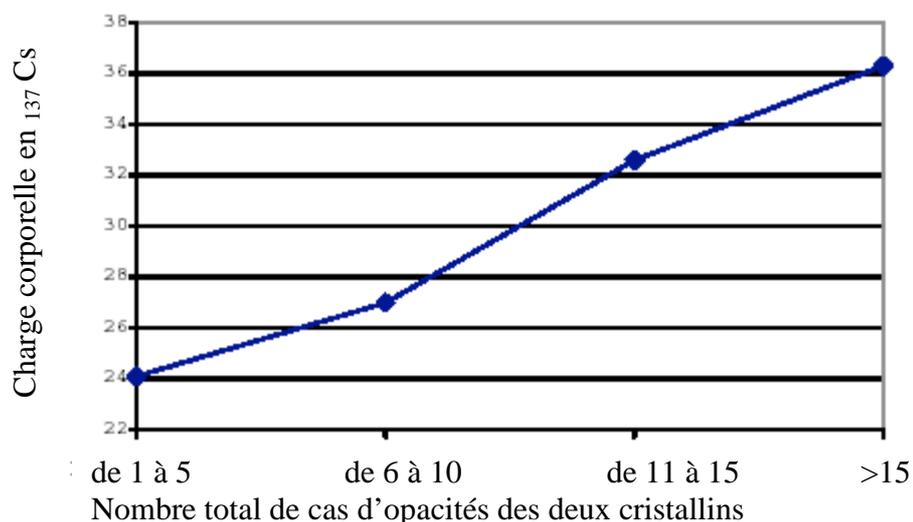


Figure 3.13.1. Relations entre le nombre de lentille opacités et le niveau d'activité du ¹³⁷Cs dans le corps des enfants biélorusses (Arinchin & Ospennikova 1999)

Région étudiée, Niveau de contamination et nombre d'enfants étudiés	Pourcentage d'enfants présentant un nombre donné d'opacités dans les deux cristallins		
	1 à 5 opacités	6 à 10 opacités	>10 opacités
Zone de Brest, 137-377 kBq/m ² (n=77)	57,5%	17,9%	6,7%
Zone de Vitebsk 3,7 kBq/m ² (n=56)	60,9%	7,6%	1,1%

Tableau 3.13.2. Opacités multiples (%) des deux cristallins chez les enfants biélorussiens, 1992 (Arinchin & Ospennikova, 1999)

Ukraine

Plus de la moitié des habitants (54.6%) des régions ukrainiennes polluées de radionucléides souffrent de troubles d'audition à des degrés divers (Zabolotny *et coll.*2001). 3.14.

3.14. TROUBLES NEUROLOGIQUES

Les conséquences psycho-neurologiques de l'accident de Tchernobyl méritent une attention particulière dans la mesure où les neurones constituent un tissu très différencié et non-prolifératif. La preuve expérimentale que certaines régions du système nerveux central sont particulièrement sensibles aux rayonnements ionisants est établie depuis de nombreuses années (Loganovsky 1999). Considérant ceci, et pour autant que la réparation neuronale n'a pas été constatée (Zachary 2005, 2006 Taupin), il existe une probabilité de développement des conditions de lésions cérébrales organiques longtemps après que l'irradiation ait eu lieu (Glazunov *et coll.*1973, Nyagu 1995). Vingt ans après la catastrophe Chernobyl, bon nombre de nouvelles données de recherche se sont accumulées, qui montrent que des rayonnements ionisants, de niveaux même relativement faibles, peuvent conduire à certaines modifications spécifiques aussi bien que stochastiques, des systèmes nerveux central et périphérique, comme l'encéphalopathie radio-induite (Martsynkevych 1998, Zhavoronkova and al.1998).

L'encéphalopathie post-irradiation est observée à divers degrés chez tous les patients qui ont survécu au syndrome d'irradiation aiguë. Cette condition est étiologiquement hétérogène. Le principal facteur influençant la probabilité de son développement (supérieur à 48 % selon les résultats de l'analyse de

variance) est la dose de rayonnement absorbée (Nyagu 1999, Nyagu & Loganovsky 1998). Sur cette base, le dysfonctionnement cognitif peut être classé comme directement lié à la dose de rayonnements ionisants. Des résultats similaires de dose dépendance sont relevés dans les enquêtes épidémiologiques menées en Russie (Birykov *et coll.*2001). D'autres facteurs comprennent: l'âge du patient, la présence de pathologie cérébrovasculaire comme co-morbidité, et le stress psychologique.

Pour les patients présentant des symptômes d'irradiation aiguë, le risque relatif maximum (RR) de rupture dans l'organisation fonctionnelle du cerveau est estimé à 5. Parmi les liquidateurs qui ont travaillé à Tchernobyl en 1986-1987, le risque relatif est de 3,65 (atteignant 4 chez ceux qui y ont travaillé pendant de longues périodes dans les zones interdites). Par comparaison, les patients présentant une pathologie cérébrale chronique connaissent un RR de 3, et ceux atteints de troubles dus au stress post-traumatique un RR de 2. Avoir travaillé dans la zone des 30 km pendant 10 ans augmente aussi de 3,4 à 6,2 fois les chances de détérioration de la santé mentale, par rapport aux populations n'ayant pas été exposées aux radiations (Nyagu 1999, Nyagu & Loganovsky 1998).

Chez les liquidateurs russes, les maladies neurologiques constituent le deuxième groupe de maladies les plus courantes, comptant pour 18% de la morbidité totale. La maladie la plus répandue dans ce groupe est l'encéphalopathie d'origines diverses (34%). La fréquence de cette maladie augmente significativement depuis la période 1991-1998 (25%) jusqu'en 2001 (34%). De graves conséquences, comme les perturbations dans l'irrigation sanguine cérébrale, deviennent également plus fréquentes (10 % en 1998 et 17 % en 2001) (Khrisanfov & Meskikh 2001, Zubovsky & Smirnov 1999, Meskikh 2001, Zubovsky 2006).

Au cours de la période suivant l'accident, la morbidité non oncologique parmi les liquidateurs est prouvée en corrélation directe avec la dose de rayonnement qu'ils ont reçue. Ceci comprend les maladies mentales, endocriniennes, du système digestif, les maladies cardiovasculaires et uro-génitales. Au stade initial est observé le développement d'un dysfonctionnement autonome (Zozulia & Polishchuk 1995).

Le dysfonctionnement autonome est le premier stade de développement d'une pathologie neuropsychiatrique chez ceux qui ont reçu des doses supérieures ou égales à 3 Sv. Environ 3 à 5 ans après son apparition chez de nombreux survivants, le dysfonctionnement autonome se transforme en encéphalopathie post-irradiation. La majorité des liquidateurs développent cette encéphalopathie, à la fois exogène et somatogénique, pendant des années. En outre, les enfants dont la thyroïde a été exposée à une forte dose (supérieure à 0,3Gy) présentent également un dysfonctionnement autonome. Ce dysfonctionnement autonome contribue pour beaucoup à augmenter la morbidité neurologique dans la population irradiée (Nyagu 1991, 1993, 1994, 1995, Nyagu & Zazimko 1995, Nyagu *et coll.*1996). D'autres recherches établissent que les enfants dont la thyroïde a été exposée à des doses de radiation supérieures à 2 Gy sont 1,9 fois plus nombreux à souffrir de troubles mentaux, et 1,6 fois plus nombreux à souffrir du système nerveux que dans les groupes de contrôle (Kurbanova 1998).

Selon une enquête longitudinale auprès des femmes enceintes, des patientes en maternité, des nouveau-nés et des enfants dans les territoires contaminés de l'Ukraine (district de Polesye, dans la région de Kiev: 740-2 200 kBq/m² (20-60 Ci/km²)), du Bélarus (district de Chechersk, dans la région de Gomel: 185-2 590 kBq/m² (5-70 Ci/km²)) et de la Russie (districts de Mtsensk et de Volkhov, dans la région d'Orel, respectivement: 37-185 kBq/m² (1-5 Ci/km²) et 370-555 kBq/m² (10-15 Ci/km²)), le nombre d'anomalies congénitales du développement du système nerveux chez le nouveau-né est en augmentation. On observe dans ces secteurs une fréquence de l'encéphalopathie périnatale après 1986 de 2 à 3 fois supérieure à celle enregistrée auparavant (Kulakov *et coll.*2001). En Ukraine, la prévalence des maladies neurologiques augmente de plus de 80% en 10 ans, passant de 2 369 pour 10 000 enfants en 1988 à 4 350 pour 10 000 en 1999 (Prysyazhnyuk *et coll.*2002). La recherche en neuropsychologie sur les mécanismes des dommages radio-induits du système nerveux met en évidence un dysfonctionnement cognitif impliquant les réseaux cortico-subcorticaux et les structures profondes du cerveau, ainsi que de nombreux autres modifications. Ces résultats sont confirmés par un certain nombre d'observations expérimentales et cliniques (Voloshin *et coll.*1993, Zhavoronkova and al.1993, Nyagu 1993, Nyagu *et coll.*1996, Gourmelon *et coll.*2001).

Egalement chez les adultes dans les territoires contaminés, les troubles neurologiques et psychiatriques sont considérablement plus élevés (au Bélarus, 31,2% contre 18,0%). On constate la déficience de la mémoire à court terme et la détérioration de l'attention chez les élèves du secondaire de 16-17 ans dans les territoires contaminés. Le degré de ces conditions est en corrélation directe avec les niveaux de contamination radioactive. La comparaison de la morbidité des conducteurs de machines agricoles (n=340) du district de Narovlya, dans la région de Gomel, au Bélarus (contamination radioactive lourde), à celle d'un groupe similaire (n=202) dans les banlieues de Minsk (faible contamination) montre une prévalence 6 fois plus élevée (27,1% comparée à 4,5%) de pathologies cérébrovasculaires chez les résidents des territoires fortement pollués (Ushakov *et coll.* 1997). Une conclusion similaire est rapportée par Lukomsky *et coll.*(1993): la morbidité neurologique parmi 1 708 adultes interrogés dans le district Kostyukovichi, de la région de Mogilev (densité de contamination par le ¹³⁷Cs supérieure à 1 110 kBq/m² (30 Ci/km²)) est notablement plus élevée que celle constatée chez 9 170 personnes vivant dans les districts légèrement contaminés de la région de Vitebsk.

Au cours des cinq premières années après la catastrophe de Tchernobyl, des augmentations marquées sont constatées dans l'incidence des maladies neurologiques et de la dyscrasie vasomotrice en Ukraine, avec une augmentation significative de la dyscrasie vasomotrice entre 1989 et 1990, et de maladie neurologique entre 1990 et 1991 (Tableau 3.14.1.).

Année	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Maladies neurologiques	2641	2423	3559	5634	15041	14021
Dyscrasie vasomotrice	1277	434	315	3719	3914	3124

Tableau 3.14.1. Morbidité neurologique (pour 100 000 individus d'une population adulte) dans les territoires contaminés d'Ukraine après la catastrophe de Tchernobyl catastrophe, de 1987 à 1992 (Nyagu 1995)

Entre 1988 et 1999, les troubles du système nerveux et des organes sensoriels chez les personnes vivant dans les territoires contaminés de l'Ukraine augmentent de 3,8 à 5,0 fois (Prysyazhnyuk *et coll.*2002). Parmi les adultes évacués de la ville de Pripyat et de la zone des 30 km, les niveaux de morbidité sont beaucoup plus élevés que les niveaux de la moyenne ukrainienne pour ces troubles (Prysyazhnyuk *et coll.*2002). La morbidité des maladies neurologiques dans la population adulte et adolescente (y compris les personnes évacuées) dans les territoires contaminés de l'Ukraine représente 10,1% de la morbidité totale, et 6,2% chez les enfants (Grodzinsky 1999).

Enfin, d'après les résultats présentés dans ce chapitre, les troubles neurologiques liés à Tchernobyl affectent sans doute des milliers d'adultes et d'enfants au Bélarus, en Russie et en Ukraine (Tableau 3.14.2).

Points critiques	Région, groupe de population, effet	Référence
Baisse des performances mathématiques et linguistiques	Chez les enfants irradiés <i>in utero</i> , en Norvège	Ushakov & Karpov 1997
Morbidité neurologique et sensorielle	Parmi les employés des entreprises du Ministère russe de l’Energie Atomique, deux fois plus élevée que dans la population des zones environnantes	Yablokov 2000
Pathologie cérébrovasculaire	Six fois plus fréquente dans le groupe des conducteurs de machines agricoles dans une région contaminée du Bélarus	Ushakov <i>et al.</i> 1997
Morbidité neurologique générale, déficience de la mémoire à court-terme, détérioration de l’attention	En augmentation dans les régions contaminées du Bélarus	Lukomsky <i>et al.</i> 1993

Tableau 3.14.2. Exemples de lien possible entre la pollution radiative et les maladies neuropsychiatriques (Yablokov 2001)

Le taux élevé d'une telle diversité de troubles neurologiques chez les patients touchés par l'accident de Tchernobyl suggère plusieurs causes à ces maladies. Pour bien comprendre, on doit examiner le «facteur accident» – une condition complexe dans laquelle une personne subissant un accident nucléaire écologique planétaire est exposée aux rayonnements ionisants associés à d'autres risques écologiques (en particulier : le plomb, les produits dérivés et autres produits chimiques toxiques largement utilisés dans les actions d'urgence après Tchernobyl), au stress psychologique de catastrophe (haut niveau de risque associé à mener à bien les actions d'urgence, l'évacuation, le relogement, etc.), ainsi que la nécessité de surmonter la crise sociale (Nyagu *et coll.*1995, Aleksandrovskij *et coll.*1989, Ilin 1994, Guskova & Buldakov 1996, Rumyantseva *et coll.*1995).

3.15. TROUBLES MENTAUX, PSYCHOLOGIQUES ET DU SYSTEME NERVEUX CENTRAL

L'impact de Tchernobyl sur la santé mentale constitue sans doute la plus vaste expérience de problème scientifique, social et sanitaire public. Le groupe d'experts «Santé» du Forum Tchernobyl à l'ONU (GES) (Organisation Mondiale de la Santé 2005) expose le problème en quatre points : les symptômes liés au stress; les effets sur le cerveau ; les troubles cérébraux organiques chez les travailleurs affectés au nettoyage et fortement irradiés ; et le suicide. Il est actuellement reconnu que le système nerveux central (SNC) est sensible aux rayonnements ionisants, et le degré de son dysfonctionnement peut être quantifié au moyen de paramètres électrophysiologiques, biochimiques et/ou comportementaux. Des anomalies dans les fonctions du SNC détectées par une de ces méthodes, peuvent survenir même à partir d'une faible dose d'irradiation de l'ensemble du corps(Gourmelon *et coll.*2005).

IRRADIATION DES ENFANTS *IN UTERO*: DOSES D'IRRADIATION, METHODES DE CALCUL, ET CORRELATION AVEC LES MODIFICATIONS DANS LE DEVELOPPEMENT POSTNATAL

Des progrès considérables ont été réalisés au cours des dernières décennies pour comprendre les effets des rayonnements ionisants sur le cerveau. Des études épidémiologiques menées sur des individus ayant survécu à la bombe atomique de Hiroshima et Nagasaki et qui ont été exposés *in utero* confirment la vulnérabilité

d'un cerveau fœtal en plein développement aux dommages de l'irradiation. L'arriération mentale profonde, la diminution du quotient intellectuel (QI) et/ou la baisse de la performance scolaire, ainsi que l'apparition de microcéphalies et d'apoplexies – notamment dans le cas d'irradiation entre 8-15 et 16-25 semaines après la fécondation – comptent parmi les effets les plus fréquemment observés (Otake & Schull 1984, Otake & Schull 1998, CIPR Publication 49 1986, Schull & Otake 1999). L'analyse des données dosimétriques indique que le seuil d'irradiation intra-utérine de 0,06–0,31 Gy, subie entre la huitième et la quinzième semaine de grossesse, entraîne un retard dans le développement mental. Si l'irradiation a lieu entre la seizième et la vingt-cinquième semaine de grossesse, le niveau du seuil de dose s'élève à hauteur de 0,28–0,87 Gy (Otake *et al.* 1996). La question de la prévalence de durée accrue de la schizophrénie chez les survivants exposés aux radiations de la bombe atomique dans leur période prénatale est toujours ouverte à la discussion (Imamura *et coll.* 1999).

Toutefois, une application directe des données japonaises à l'accident de Tchernobyl n'est guère possible, parce que l'accident de Tchernobyl a produit des doses significativement plus faibles sur l'ensemble du fœtus, mais a eu un impact beaucoup plus élevé sur la thyroïde fœtale, du fait de l'incorporation de l'iode radioactif libéré par le réacteur en feu.

En d'autres termes, les situations radiobiologiques au Japon et à Tchernobyl sont qualitativement et quantitativement différentes. Ainsi, concernant l'accident de Tchernobyl, les modèles prédictifs pour les 10 ou 20 années à venir ne peuvent être développées qu'après une évaluation détaillée de ses incidences sur les 20 années passées.

Une analyse préliminaire des résultats obtenus dans les trois pays touchés – le Bélarus, la Russie et l'Ukraine – montre une tendance vers le développement de l'arriération mentale légère et de certains troubles du comportement chez les enfants irradiés au cours de la période prénatale, ainsi la prévalence de troubles psychologiques (de type borderline) et nerveux chez leurs parents (Nyagu *et coll.* 1996, Nyagu *et coll.* 1998, Kozlova *et coll.* 1999, Nyagu *et coll.* 2002, Souchkevitch & Tsyb 1996).

On estime que les enfants ayant été exposés *in utero* entre la seizième et la vingt-cinquième semaine de gestation présentent des conditions à risque particulièrement élevé, comprenant:

- l'incidence accrue de troubles mentaux et de troubles de la personnalité dus au dysfonctionnement ou aux lésions cérébrales – F06, F07 ;
- les troubles du développement psychologique – F80-F89 ;
- les états paroxystiques (céphalgies – G44, migraines – G43, syndromes épileptiformes –G40) ;
- le dysfonctionnement somatoforme autonome – F45.3 ; et
- les troubles émotionnels et comportementaux de l'enfance – F90-F99 (Napreyenko & Loganovskaja 2004, Loganovskaja 2005).

Parmi les enfants irradiés du Bélarus, on constate une déficience psychologique et un faible QI par rapport aux enfants des groupes de contrôle, mais ces tendances ne semblent pas être associées aux doses de rayonnement de la thyroïde à l'état fœtal (Igumnov 1999, Kolominsky *et coll.* 1999). Une autre étude du Bélarus rapporte que les doses de rayonnement de la thyroïde excédant 0,5 Sv entraînent une réduction générale de l'intelligence dans divers groupes d'enfants, de ceux qui ont été irradiés *in utero* à ceux qui l'ont été à 1 an et demi, (Bazyltchik *et coll.* 2001). Igumnov & Drozdovitch (2000) constatent également une réduction du QI chez les enfants exposés *in utero* à des doses plus élevées. D'autres études des enfants irradiés pendant la période prénatale indiquent une corrélation possible entre rayonnements et facteurs de développement psychosocial (Gayduk *et coll.* 1994, Ermolina *et coll.* 1996, Nyagu *et coll.* 2002).

On attribué à des facteurs psychologiques et sociaux l'augmentation de la prévalence du développement spécifique, de la langue parlée et des troubles émotionnels, ainsi que la faiblesse du QI moyen et les nombreux cas de QI borderline chez les enfants ayant été irradiés au cours de la période prénatale au Bélarus (Gayduk *et coll.* 1994). En revanche, une étude ultérieure démontre que les enfants irradiés *in utero*

présentent les indices de morbidité mentale les plus élevés, et sont susceptibles d'intelligence borderline ou d'arriération mentale liées à une irradiation prénatale (Ermolina *et al.* 1996).

Les liens potentiels entre l'exposition aux rayonnements et les niveaux d'hormone thyroïde-stimulante (TSH) apparaissent être d'un intérêt particulier (Nyagu *et coll.* 1993, Nyagu *et coll.* 1998) (Voir également le Chapitre 3.4.13). On observe une augmentation tendancielle des niveaux de TSH dès que la dose d'irradiation de la thyroïde fœtale atteint le seuil de 0,3 Sv. On peut penser que le dysfonctionnement radio-induit du système thyroïdo-pituitaire constitue un important mécanisme biologique sous-jacent au développement de troubles mentaux chez les enfants irradiés au cours de la période prénatale (Nyagu *et al.* 1996 *a et b*, Nyagu 1998). Et l'hypothèse est émise que l'hémisphère gauche du cerveau (structure limbique réticulée) serait plus vulnérable que l'hémisphère droit aux irradiations prénatales (Loganovskaja & Loganovsky 1999).

L'observation d'un groupe d'enfants irradiés pendant la période prénatale donne les résultats suivants:

- des écarts entre les performances QI général/QI verbal, avec déficit de l'expression verbale ;
- une fréquence élevée des EEG épileptiformes et de basse tension, et des dysfonctionnements latéralisés de l'hémisphère gauche ;
- une augmentation ($p < 0.001$) de la puissance des fréquences β et δ , et une diminution ($p < 0.001$) de la puissance des fréquences α et θ ;
- une incidence accrue des troubles mentaux paroxystiques et organiques; des dysfonctionnements autonomes somatoformes, des troubles du développement psychologique, des troubles émotionnels et comportementaux.

Le dysfonctionnement cérébral des enfants exposés est étiologiquement hétérogène (Nyagu *et coll.* 2002a).

L'application du modèle décrit dans la Publication 88 du CIPR a permis d'établir une forte corrélation entre l'âge fœtal gestationnel et l'irradiation de la thyroïde *in utero*. Simplement, plus la période intra-utérine de développement est avancée au moment de l'exposition radioactive, plus la dose fœtale de la thyroïde est élevée (Nyagu *et coll.* 2004).

En raison des résultats contradictoires des évaluations sur la santé mentale des enfants irradiés *in utero* et de l'étiologie des troubles neuropsychiatriques observés dans la littérature, l'Initiative Franco-Allemande pour Tchernobyl a conduit une étude approfondie des effets potentiels de la radioactivité sur la santé mentale des enfants irradiés *in utero* (dans le cadre du Projet III: «Effets sanitaires de l'accident de la centrale de Tchernobyl»). Une cohorte de 154 enfants nés entre le 26 Avril 1986 et le 26 Février 1987 de mères évacuées de Pripyat à Kiev, et de 143 camarades de classe de Kiev, est soumise au test d'évaluation cognitive de Wechsler pour enfants (WISC: Wechsler Intelligence Scale for Children), au test d'Achenbach et au test A(2) de Rutter. Les mères sont testées pour leurs aptitudes verbales (WAIS : Wechsler Adult Intelligence Scale revised), la dépression, l'anxiété et la somatisation (SDS, PTSD, GHQ 28). La dose individuelle des enfants est reconstituée en considération de l'irradiation interne et externe. La publication CIPR 88 est appliquée pour le calcul des doses internes efficaces sur le fœtus, le cerveau et la thyroïde chez les enfants des deux groupes. Parmi 52 enfants de Pripyat (33,8 %) dont la thyroïde a été exposée *in utero* à un équivalent de dose supérieur à 1 Sv, 20 ont été exposés *in utero* (13.2%) à des doses fœtales supérieures à 100 mSv. Les enfants irradiés pendant la période prénatale montrent significativement plus de troubles mentaux et de maladies du système nerveux. L'examen des enfants irradiés révèle une faiblesse du QI total due à une faiblesse du QI verbal, et donc une fréquence accrue des écarts entre performance et intelligence verbale. Chez les enfants irradiés au cours de la période prénatale, le dépassement de 25 points dans l'écart entre les QI semble être une corrélation avec la dose fœtale. L'examen de mères irradiées, ainsi que d'un groupe de contrôle, ne montre pas de différences dans la capacité d'expression verbale, mais des conditions comme la dépression, le trouble de stress post-traumatique (PTSD : Post-Traumatical Stress Disorder), les troubles somatoformes, l'anxiété/insomnie, et les dysfonctionnements sociaux sont tous plus fréquents dans le groupe des mères irradiées que dans le groupe de contrôle des mères à Kiev (Nyagu *et coll.* 2004 *a, b, c*).

L'effet radio-neuro-embryologique — entraînant une dysharmonie de l'intelligence par détérioration du QI verbal — s'enclenche au moment de l'accident nucléaire : de la huitième à la quinzième semaine de gestation et plus, les doses *in utero* sont supérieures à 20 mSv pour le fœtus, et supérieures à 300 mSv pour la thyroïde. La diminution de la puissance spectrale de la fréquence θ (notamment, dans la région fronto-temporale gauche), l'augmentation de l'activité β ainsi que sa latéralisation vers l'hémisphère dominant, les troubles d'asymétrie interhémisphérique normale de potentiels visuels évoqués, le potentiel du vertex peuvent être considérés comme les marqueurs neurophysiologiques d'une irradiation prénatale. Avec le rejet d'iode radioactif dans l'environnement, ce sont les dernières semaines de la gestation (16-25 semaines) qui constituent la période la plus critique d'irradiation pour le cerveau en formation; et les effets en sont bien plus déterminants que ceux d'une irradiation externe uniforme (Loganovskaja & Nechayev 2004, Loganovskaja & 2004 2005).

Une étude de suivi financée par le US National Institute of Health (NIH) est actuellement en cours pour examiner l'état de santé général et mental d'une cohorte d'adolescents de 18-19 ans. Ils ont été exposés *in utero* ou de 0 à 15 mois au moment de l'accident, et avaient 11 ans au moment de leur première évaluation.

SANTE MENTALE DES ENFANTS IRRADIES *IN UTERO*

Le concept actuel des effets de l'irradiation sur le cerveau prénatal stipule que 1 Sv d'irradiation fœtale entre la huitième et la quinzième semaine de gestation réduit de 30 points le score de QI de l'enfant. En conséquence, on peut supposer que chaque irradiation prénatale de 100 mSv entraîne une diminution de plus de 3 points du score de QI. L'excès d'arriération mentale profonde est de 0,4 pour 1 Sv entre la huitième et la quinzième semaine et, dans une moindre mesure entre la seizième et la vingt-cinquième semaine de gestation (Commission Européenne de Radioprotection 100, 1998). Ainsi, les effets radio-neuro-embryologiques prouvés chez l'être humain varient de la limitation de l'intelligence à l'arriération mentale, la microcéphalie et les convulsions, en fonction de la dose-reçue

L'intelligence des enfants irradiés de Pripjat soumis au test normal de QI diffère significativement de celle du groupe de contrôle de Kiev (Tableau 3.15.1.) en ceci:

l'incidence accrue des QI faibles (QI <90), précisément le QI verbal ;

l'augmentation double de l'incidence des QI moyens (scores de 91–110) et plus que triple de la diminution de l'incidence des QI élevés (scores de 121–140) ;

la fréquence accrue des écarts de QI: environ 14% des irradiés et 4,5% des enfants du groupe de contrôle présentent des écarts de QI supérieurs aux 25 points attendus, indice d'un développement dysharmonieux de l'intelligence.

Indice	Groupe d'enfants irradiés (Prypyat, n=108)	Groupe de contrôle (Kiev, n=73)	t	P
QI total				
M ± σ	112,9 ± 13,3	118,6 ± 10,8	-3	<0,003
Médiane	112	120		
Min-Max	76-151	96-137		
QI verbal				
M ± σ	106,7 ± 13,2	115,8 ± 13,2	-4,5	<0,001
Médiane	108	116		
Min-Max	70-143	85-138		
QI de performance				
M ± σ	117,2 ± 15,2	118,7 ± 9,6	-0,7	>0,05
Médiane	119	121		
Min-Max	74-153	97-140		
Différence QIp-QIv				
M ± σ	10,4 ± 14,7	2,9 ± 12,5	3,6	<0,001
Médiane	10	3		
Min-Max	-29 - (+54)	-22 - (+33)		
Test t apparié	7,4	1,9		
P	<0,001	>005		

Tableau 3.15.1. Scores des QI d'enfants ne présentant pas de facteurs confusionnants modérés ou très graves

On constate une distribution similaire des scores de QI verbal et de performance chez les enfants du groupe de contrôle (Figure 3.15.1.). Toutefois, la distribution des valeurs du QI de les enfants irradiés (QI verbal et de performance) montre des différences distinctives. Les courbes des QI verbal et de performance QI tracées séparément révèlent que, dans toute la cohorte, les enfants irradiés ont un faible QI verbal: la distribution commence aux échelons inférieurs et n'atteint jamais le niveau de distribution observé dans le groupe de contrôle (Figure 3.15.2).

Il y a aucun lien évident entre l'intelligence et les périodes de cérebrogénèse, comme celle du 26 avril 1986 parmi les enfants qui présentent ou non des facteurs confusionnants, de modérés à très graves.

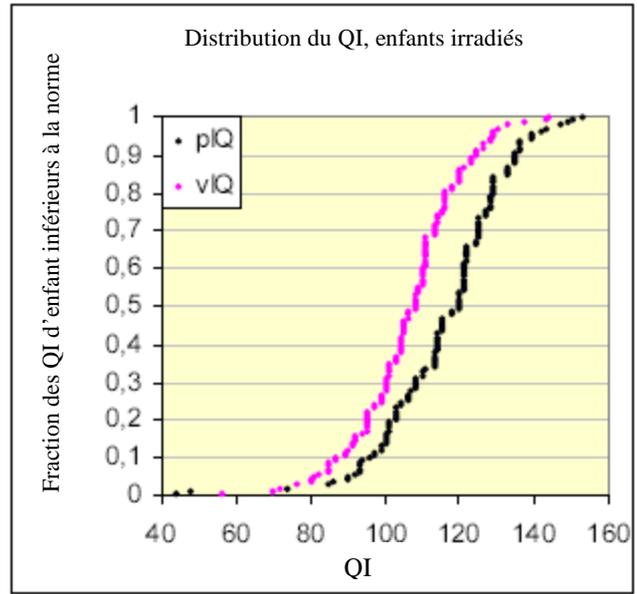
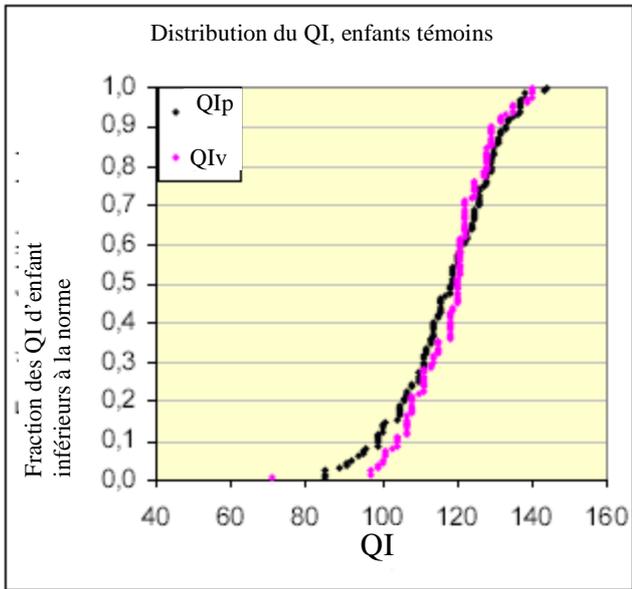


Figure 3.15.1. Fractions des QI verbal et de performance inférieurs à la norme, chez les enfants témoins et chez les enfants irradiés.

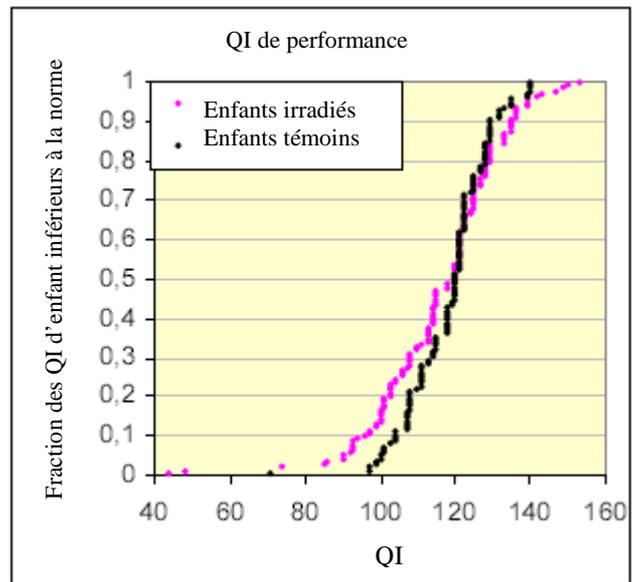
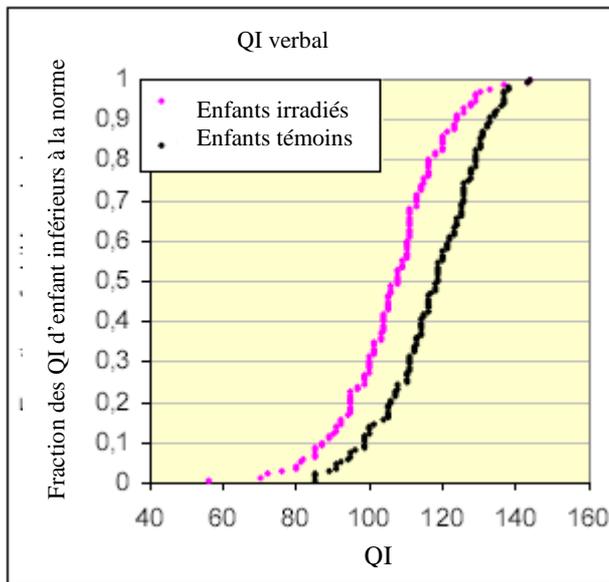


Figure 3.15.2. Fractions différenciées des QI verbal et de performance, inférieurs à la norme chez les enfants irradiés et les enfants témoins.

En plus de leurs faibles QI, les enfants ayant été irradiés *in utero* connaissent une incidence plus élevée de troubles neuro-psychiatriques que les enfants du groupe de contrôle ; et ceci sans facteurs confusionnants, de modérés à très graves (Tableau 3.15.2.).

Trouble ou maladie	Enfants irradiés (n=121)	Enfants du groupe de contrôle (n=77)	χ^2	2 p
<i>Maladies du Système Nerveux</i>				
En bonne santé neurologique	73 (60,3%)	66 (85,7%)	14,5	<0,001
Indication peu sûre d'épilepsie (G40)	9 (7,4%)	1 (1,3%)	3,7	<0,05
Migraine (G43)	3 (2,5%)	0	1,9	>0,05
Autres syndromes de céphalgie (G44)	31 (25,6%)	10 (13%)	4,6	<0,05
Troubles du sommeil (G47)	4 (3,3%)	0	2,6	>0,05
Autres troubles du système nerveux autonome (G90)	3 (2,5%)	0	1,9	>0,05
Comorbidité neurologique	2 (1,6%)	0	1,3	>0,05
<i>Troubles mentaux et comportementaux</i>				
En bonne santé mentale	19 (15,7%)	45 (58,4%)	39,3	<0,001
Troubles mentaux organiques (F06 & F07)	20 (16,5%)	3 (3,9%)	7,3	<0,01
Troubles névrotiques, liés au stress et somatoformes (F40–F48)	56 (46,3%)	20 (26%)	8,2	<0,01
Troubles du sommeil non-organiques (F51)	6 (4,9%)	3 (3,9%)	0,12	>0,05
Arriération mentale (F70)	1 (0,8%)	0	0,64	>0,05
Troubles du développement psychologique (F80–F89)	9 (7,4%)	0	6	<0,05
Troubles comportementaux et émotifs de l'enfance (F90–F98)	31 (25,6%)	9 (11,7%)	5,7	<0,05
Comorbidité mentale	21 (17,2%)	3 (3,9%)	8	<0,01

Tableau 3.15.2. Maladies du système nerveux (G) et troubles mentaux et comportementaux (F) chez les enfants, selon l'ICD-10 sans facteurs confondants – de modérés à très graves.

Il n'y a aucune différence entre les résultats de QI verbal dans les deux groupes de mères. Ainsi, la détérioration du QI verbal des enfants irradiés ne peut être expliquée par l'influence des scores de QI verbal de leurs mères.

L'IRRADIATION AU COURS DE L'ENFANCE ET DE LA PETITE ENFANCE

Des observations similaires peuvent être faites en d'autres domaines du soin sanitaire qui utilisent l'irradiation à des niveaux relativement faibles. En effet, il apparaît clairement que la radiothérapie du CNS pendant l'enfance et la petite enfance peut avoir de graves effets à long terme sur la cognition et la fonction endocrinienne. A mesure que le traitement des cancers infantiles devient plus performant, il est permis d'envisager plus fréquemment la survie à long terme (Anderson, 2003). Et l'on suppose toujours que la plus faible dose cérébrale est de 18 Gy, qui puisse être associée à des effets déterministes tardifs de l'irradiation pendant l'enfance, et provoquer des troubles de la fonction cognitive, des changements histopathologiques et des effets neuroendocriniens (UNSCEAR 1993).

Cependant, il faut savoir que des lésions cérébrales ont été constatées dans une cohorte de 20 000 enfants israéliens vingt ans après l'irradiation de leur cuir chevelu, dans le cadre d'un programme de lutte contre la

teigne (*Tinea capitis*) au moyen des rayons-X: la dose moyenne reçue par le cerveau était seulement de 1.3 Gy (Yaar *et coll.* 1980 & 1982, Ron *et coll.* 1982).

Plus récemment encore, l'étude d'une cohorte en Suède rapporte les effets des faibles doses de rayonnements ionisants (>100 mGy) administrées pendant l'enfance (radiothérapie de l'hémangiome cutané) sur les fonctions cognitives à l'âge adulte (Hall *et coll.* 2004).

Ainsi, le déclin cognitif dose-dépendant à l'âge adulte est lié à l'irradiation reçue pendant l'enfance et la petite enfance. Les seuils de dose de rayonnement pour les lésions cérébrales à venir peut être aussi bas que les 0.1 à 1.3 Gy reçus par le cerveau de l'enfant et du nourrisson. De nouvelles recherches sont justifiées pour réévaluer le ratio risque/bénéfice des conséquences à long terme de la radiothérapie crânienne au cours de l'enfance et de la petite enfance. L'enfant peut être gravement affecté dans son développement intellectuel dès lors que son cerveau a été exposé à des doses de rayonnements ionisants de l'ordre de 100 mGy. Par comparaison, une tomographie du crâne assistée par ordinateur produit environ 120 mGy (Hall *et coll.* 2004).

TROUBLES MENTAUX ET DU SYSTEME NERVEUX CENTRAL CHEZ L'ADULTE

La connaissance concernant les estimations scientifiquement prouvées des effets des rayonnements ionisants sur la santé mentale est lacunaire. Les opinions sur les effets neuropsychiatriques des faibles doses (<1 Sv) d'exposition sont contradictoires.

Selon les informations présentées dans le rapport de l'ONU par le Groupes d'Experts de la Santé au Forum Tchernobyl, les niveaux de symptômes dépressifs et d'anxiété (y compris les symptômes post-traumatiques), de symptômes physiques médicalement inexpliqués sont en augmentation dans les populations irradiées à Tchernobyl, par rapport aux groupes témoins (Viinamaki *et coll.* 1995, Havenaar *et coll.* 1997a, Bromet *et coll.* 2000). Les populations irradiées manifestent deux fois plus de symptômes d'angoisse que les populations non exposées. Les gens ayant vécu la catastrophe de Tchernobyl sont 3 à 4 fois plus susceptibles de développer des symptômes physiques multiples inexpliqués et des signes subjectifs de mauvaise santé (Havenaar *et coll.* 1997b, Allen & Rumyantseva 1995, Bromet *et coll.* 2002

Les conséquences sur la santé mentale de la population en général sont principalement subcliniques et n'atteignent pas le degré satisfaisant pour être considérées et retenues comme critères de trouble psychiatrique (Havenaar *et coll.* 1997b). Une étude épidémiologique dans la région Gomel (Biélarus) observe que 64,8% d'un échantillon de la population (n=1617) présente un score GHQ-12 supérieur au seuil de 2 (présence de symptômes de détresse psychologique). On trouve des troubles psychiatriques DSM-III-R dans 35,8% de la population (n=265), avec notamment des taux élevés de troubles affectifs (16,5%) et de l'anxiété (12.6 %). Une plus forte prévalence des problèmes de santé mentale est observée chez les personnes évacuées de la zone d'exclusion de Tchernobyl (66,9%, odds ratio (OR) 3.78), et chez les mères de famille avec enfants de 18 ans (53.5 %, OR 2.84). Tous les problèmes mentaux dans la population examinée sont attribués au stress (Havenaar 1996, Havenaar *et coll.* 1995, 1996). Toutefois, ces symptômes subcliniques entraînent de graves conséquences sur le comportement, plus précisément par la consommation de soins médicaux et l'application des consignes sanitaires (Havenaar *et coll.* 1997a, Allen & Rumyantseva, 1995). Dans une certaine mesure, ces symptômes sont entretenus par le fait qu'ils ont été diagnostiqués comme «problème de santé lié à Tchernobyl» (Bromet *et coll.* 2002, Havenaar *et coll.* 2003). Malgré cette origine possible, les symptômes éprouvés ne sont pas moins déprimants pour l'individu.

Le personnel qui travaille depuis 1986 dans la zone d'exclusion de Tchernobyl est le groupe à plus haut risque de troubles neuropsychiatriques (de 93 à 100% de la population touchée). Les problèmes organiques, y compris les troubles mentaux et symptomatiques, (F00-F09) sont prédominants. Depuis 1986, le travail et la vie dans la zone d'exclusion de Tchernobyl sont associés pour dix ans ou plus à une probabilité de détérioration de la santé mentale qui est de 3,4 à 6,2 fois supérieure à celle de la population générale, et de 2 à 3,9 fois supérieure à celle des survivants de conflits militaires ou de catastrophes naturelles. Le personnel de la centrale de Tchernobyl connaît une détérioration de santé mentale qui est liée à deux facteurs: (a) la

dose d'exposition et (b) la durée de travail dans la zone d'exclusion de Tchernobyl, facteurs qui concourent à un effet potentiellement cumulatif (Loganovsky 1999). Et dans une proportion considérable, surtout chez ceux qui ont poursuivi les travaux dans les années 90, la pathologie répond aux critères du syndrome de fatigue chronique (CFS), ce qui a conduit à suggérer que le CFS peut se développer sous les effets combinés de faibles ou très faibles doses et du stress psychologique (Loganovsky *et coll.* 1999, Loganovsky 2000b).

En termes de catégories spécifiques de l'effet, on observe chez les liquidateurs des modifications organiques (CIM-10 : F03, F06, F07) et somatoformes (F45), des troubles schizotypiques (F21) et affectifs (dysthymie) (F34.1), ainsi que des modifications durables de la personnalité post-catastrophe (F62.0). Troubles de stress post-traumatiques (PTSD), développements anormaux psychosomatiques, organiques et schizoïdes de la personnalité sont documentés selon la classification psychiatrique locale CIM-10, et les critères du DSM-IV (Loganovsky 2002).

Un total de 26 100 liquidateurs choisis au hasard répondent au diagnostic du syndrome de fatigue chronique (CFS). Leurs doses absorbées sont estimées inférieures à 0,3 Sv. Le CFS est une des conséquences les plus répandues de la catastrophe radio-écologique, résultant d'une interaction entre plusieurs facteurs environnementaux dangereux (Loganovsky 2000b, 2003). En outre, même si la prévalence du CFS diminue significativement ($p < 0.001$) de 65,5 % entre 1990 et 1995 à 10,5 % entre 1996 et 2001, la prévalence du syndrome X (ou métabolique, MSX) augmente significativement ($p < 0.001$) de 15 à 48, soit de 2% dans la même période. Le CFS et le MSX apparaissent être les premières étapes du développement d'autres pathologies neuropsychiatriques et/ou organiques, et le CFS peut se transformer en MSX (Kovalenko & Loganovsky 2001). Ainsi, le CFS chez ces patients peut être considéré comme un signe de prochains troubles neurodégénératifs, neuropsychiatriques et cognitifs à venir (Volovik *et al.* 2005).

En Ukraine, l'étude transversale d'une cohorte représentative de liquidateurs (le sous-projet de l'Initiative Franco-Allemande Tchernobyl 3.8.1 «Base de données sur les troubles psychologiques des liquidateurs ukrainiens après l'accident de Tchernobyl») a été conduite à l'aide d'un questionnaire d'entretien psychiatrique normalisé — le Composite International Diagnostic Interview (CIDI). Les résultats préliminaires montrent une augmentation de la prévalence des troubles mentaux (36%) chez les liquidateurs, presque le double de celle de la population générale ukrainienne (20,5%), ainsi qu'une augmentation dramatique de la prévalence de la dépression chez les liquidateurs, 24,5% comparés aux 9,1% de la population générale d'Ukraine (Demyttenaere *et al.* 2004, Romanenko *et al.* 2004).

L'analyse de ces résultats se poursuit. L'anxiété – trouble panique – est également en augmentation chez les liquidateurs (12,6% *vs* 7,1%). Dans le même temps, la dépendance alcoolique parmi les liquidateurs n'est pas beaucoup plus élevée que celle de la population totale: 8,6% *vs* 6,4% (Romanenko *et coll.* 2004), ce qui écarte l'incidence de ce facteur.

Depuis ces cinq dernières années, on calcule les risques de pathologie non-cancéreuse liés à l'irradiation chez les liquidateurs de Tchernobyl (Biryukov *et coll.* 2001, Buzunov *et coll.* 2001, 2003). Pour la première fois, des estimations de l'excès de risque relatif (ERR) sont produites en ce qui concerne : les troubles mentaux avec $ERR\ 1/Gy = 0,4$ (IC à 95% = 0,17 ; 0,64) ; les troubles neurologiques et sensoriels avec $ERR\ 1/Gy = 0,35$ (IC à 95% = 0,19 ; 0,52) ; les troubles endocriniens avec $ERR\ 1/Gy = 0,58$ (IC à 95% = 0,3 ; 0,87). Parmi les troubles mentaux, le calcul de risque pour les troubles névrotiques s'élève à $ERR\ 1/Gy = 0,82$ (IC à 95% = 0,32 ; 1,32) (Biryukov *et coll.* 2001). L'excès de risque relatif le plus élevé concerne les maladies vasculaires cérébrales : $ERR\ 1/Gy = 1,17$ (IC à 95% = 0,45 ; 1,88) (Ivanov *et coll.* 2000), dont le risque significatif avec un taux de dose moyen pour des doses externes supérieures à 150 mGy est: $ERR\ pour\ 100\ mGy/jour = 2,17$ (IC à 95% = 0,64 ; 3,69) (Ivanov *et coll.* 2005).

L'évaluation de la santé mentale des liquidateurs connaît des limitations significatives. En effet, les chercheurs traitent surtout des troubles mentaux enregistrés par le système national de santé, et non pas avec les données obtenues par des études psychiatriques opérant sur la base de diagnostics normalisés. Avec les

bouleversements du système psychiatrique dans ces pays de l'ère post-soviétique, cela peut entraîner une sous-estimation dramatique des troubles mentaux.

Par exemple, selon les données officielles du Ministère de la Santé publique de l'Ukraine, la prévalence des troubles mentaux (enregistrée) dans la population ukrainienne est de 2,27% en 1990, de 2,27% en 1995 et de 2,43% en 2000. Pourtant, selon les résultats de l'Enquête Mondiale sur la Santé Mentale (World Mental Health), lancée à l'initiative de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) sur la base du Composite International Diagnostic Interview (WMH-CIDI), la prévalence du trouble WMH-CIDI/DSM-IV en Ukraine est de 20,5 % (IC à 95% = 17,7 ; 23,3) (Demyttenaere *et coll.* 2004). Considérant cette différence, il est permis de penser que le système psychiatrique national ukrainien sous-estime d'environ 10 fois la fréquence des troubles mentaux. Notons enfin que les troubles WMH-CIDI/DSM-IV caractérisent seulement les troubles qualifiés de psychologiques (l'anxiété, la dépression, la somatisation, l'abus d'alcool, etc.), et ne prennent pas en compte les troubles mentaux graves comme les psychoses, les troubles mentaux organiques et l'arriération mentale.

Selon les données du Registre russe de Dosimétrie Médicale, la fréquence des maladies psychiatriques occupe la cinquième place chez les liquidateurs (Ivanov, Tsyb 1999) Toutefois, selon les données du Conseil d'Experts enquêtant sur le lien entre la maladie et l'irradiation issue de Tchernobyl, la part de troubles psychiatriques est encore plus élevée (Khrisanov, Meskih 2001, 2004).

Plus de 2 000 liquidateurs de diverses régions de Russie sont en observation depuis de nombreuses années. Plus de 40% d'entre eux souffrent de maladies cérébrales organiques d'origine vasculaire ou mixte. Ces maladies cérébrales résultent d'une ischémie cérébrale de longue durée. Cette maladie se produit à la suite d'interruptions des fonctions de régulation centrale et de dommages possibles à l'endothélium de petits vaisseaux sanguins (Rumyantseva *et coll.* 1998, Rumyantseva & Chinkina 1998, Soldatkin 2002).

DOSES LIMITES D'IRRADIATION CONCERNANT DIVERSES CONDITIONS MENTALES

Certains effets déterminants de l'irradiation du système nerveux central peuvent être causés non seulement par des dommages cellulaires (neurone), mais aussi par des interactions avec des fonctions d'autres tissus. Ces «effets fonctionnels déterminants», en particulier, impliquent des modifications de l'électroencéphalogramme (EEG) et du rétinogramme, et des réactions vasculaires. Ces effets peuvent avoir des conséquences cliniques significatives, notamment pour le système nerveux (Publication 60, CIPR 1991). Et bien que le SNC à maturité soit communément considéré comme résistant aux radiations, il existe un nombre croissant de preuves à l'appui de la radiosensitivité du cerveau (Nyagu & Loganovsky 1998).

Des lésions morphologiques du SNC peuvent se développer à la suite d'une irradiation locale du cerveau de 10 à 50 Gy. La dose tolérable pour le cerveau est supposée être de 55 à 65 Gy, et la dose fractionnée tolérable de 2 Gy (Guskova & Shakirova 1989, Gutin *et coll.* 1991, Mettler & Upton 1995). La nécrose cerveau est observée après exposition locale du cerveau à des doses supérieures ou égales à 70 Gy, et le développement de démence radiogénique considéré comme possible. Les dommages primaires au SNC après irradiation totale du corps sont considérés comme possibles à des doses d'exposition supérieures à 100 Gy, provoquant le syndrome d'irradiation aiguë (maladie des rayons, ARS) dans sa forme cérébrale. Les dommages secondaires au SNC peuvent se produire à des doses de 50 à 100 Gy, forme toxémique de l'ARS (Guskova & Bisogolov 1971). Le seuil de modifications neuroanatomiques radio-induites est supposé être de 2 à 4 Gy d'irradiation corporelle totale (Guskova & Shakirova 1989).

L'exposition à une dose supérieure à 250 mGy constitue un facteur de risque significatif de troubles neuropsychiatriques et vasculaires. Ainsi l'irradiation thyroïdienne, égale ou supérieure à 300 mGy, concernant les troubles vasculaires et vasculaires cérébraux : au-delà de 2 Gy, cette irradiation crée un risque significatif pour le développement des troubles mentaux, des maladies vasculaires et vasculaires cérébrales, et des troubles du système nerveux périphérique. Les autres facteurs de risque des maladies

neuropsychiatriques (cérébrovasculaires) sont les risques industriels, le stress, le tabac, les facteurs héréditaires et le mode de vie (Buzunov *et al.* 2001, Buzunov 2003).

Dans les premières études expérimentales *in vitro et in vivo* menées voici 45 ans, des modifications morphologiques de neurones ont été observées à des doses aussi faibles que 0.25 – 1 Gy d'irradiation totale (Alexandrovskaja 1959, Shabadash 1964). La dose de 0.5 Gy a longtemps été acceptée comme seuil d'irradiation lésionnel pour les dommages neuronaux primaires causés dans le système nerveux central (Lebedinsky & Nakhilnitskaja 1960). Des modifications persistantes dans l'activité bioélectrique du cerveau se produisent à des seuils de 0.3 – 1 Gy et augmentent en proportion directe de la dose absorbée. (Trocherie *et al.* 1984).

Ces données, entre autres, suggèrent que des modifications dans le fonctionnement du SNC pourrait survenir après exposition à des doses de radiation relativement faibles (Mickley 1987). L'exposition aux rayonnements ionisants modifie significativement la neurotransmission, de manière dose-dépendante (Kimeldorf & Hunt 1965), résultant en de multiples événements biochimiques dans le cerveau et les effets comportementaux (Hunt 1987). En plus de ces effets directs, les rayonnements ionisants peuvent modifier indirectement les fonctions du SNC et son comportement, par la réactivité du SNC aux dommages radiologiques subis par d'autres systèmes (Kimeldorf & Hunt 1965, Mickley 1987). La maladie des rayons à progression lente, affectant le SNC, est observée après une seule exposition totale de 1 à 6 Gy (Moscalev 1991). De même, le Rapport UNSCEAR (1982) mentionne une dégénérescence lente et progressive du cortex cérébral après exposition de 1 à 6 Gy (Vasulescu *et coll.* 1973).

Les modèles d'EEG et la distribution topographique de l'activité cérébrale bioélectrique spontanée et évoquée chez les liquidateurs ayant été surexposés – surtout ceux qui ont travaillé sur le long-terme dans la zone de Tchernobyl – s'écartent significativement des résultats obtenus par les mêmes tests dans les groupes de contrôle et de comparaison (Nyagu *et coll.* 1992, 1999, Noshchenko & Loganovskii 1994, Loganovsky 2000). Il existe beaucoup de rapports conséquents sur les anomalies caractéristiques neurophysiologiques (Danilov et Pozdeev 1994, Zhavoronkova *et coll.* 1994, 1995a,b, 1998, Vyatleva *et coll.* 1997), neuropsychologiques (Khomsakaja 1995, Zhavoronkova *et coll.* 1996, 2000), et de la neuro-imagerie (Zhavoronkova *et coll.* 1994, Kharchenko *et coll.* 1995, Kholodova *et coll.* 1996, Voloshina 1997) chez les liquidateurs, rapports qui fournissent des données cliniques au sujet des lésions cérébrales organiques causées par les radiations (Chuprikov *et al.* 1992, Krasnov *et al.* 1993, Romodanov & Vynnyts'kyj 1993, Napreyenko & Loganovsky 1995, 1997, 1999, 2001a,b, Nyagu & Loganovsky 1998, Revenok 1998, 1999, Zozulya *et al.* 1998, Morozov & Kryzhanovskaja 1998, Lysyanyj 1998).

Les modifications dans l'assymétrie cérébrale et l'interaction interhémisphérique peuvent être produites non seulement par un dysfonctionnement des structures subcorticales réticulée et médio-basale du cerveau limbique, mais aussi par des lésions de la matière blanche, y compris du corps calleux (Zhavoronkova *et coll.* 2000). Les résultats des EEG suggèrent des troubles subcorticaux à différents niveaux (du diencéphale ou du tronc cérébral) et une insuffisance fonctionnelle des hémisphères droit ou gauche, longtemps après que l'exposition aux radiations ait cessé (Zhavoronkova *et coll.* 2003).

Les proportions de troubles neuropsychiatriques et de pathologies somatiques sont en augmentation chez les liquidateurs de 1986-1987, notamment parmi ceux qui ont travaillé pendant 3 ou 5 ans dans la zone d'exclusion de Tchernobyl. La prévalence de troubles neuropsychiatriques est de 80,5% concernant le personnel affecté au nettoyage de Tchernobyl en 1986-1987 et ayant reçu des doses supérieures à 250 mSv, cependant que leurs collègues irradiés avec doses inférieures à 250 mSv connaissent un taux de prévalence presque quatre fois plus faible, de 21,4% ($p < 0.001$) (Bebeshko *et coll.* 2001, Nyagu *et coll.* 2003). Le personnel ayant travaillé à Tchernobyl depuis 1986 constitue le groupe à plus haut risque de développement de troubles neuropsychiatriques, parmi lesquels les troubles organiques (y compris symptomatique) mentaux (F00-F09) sont prépondérants (Loganovsky 1999).

L'irradiation de Tchernobyl affecte significativement divers aspects de la cognition. Une étude longitudinale des effets de l'accident nucléaire de Tchernobyl sur le système cognitif a été menée sur quatre ans, de 1995 à 1998. Le groupe de contrôle était composé d'Ukrainiens en bonne santé, résidant à plusieurs centaines de kilomètres de Tchernobyl. Les groupes irradiés comprenaient des liquidateurs, des travailleurs forestiers et agricoles vivant dans un rayon de 150 km de Tchernobyl. Les performances cognitives ont été évaluées à l'aide de l'ANAMUKR, un sous-ensemble spécifique de la batterie de tests ANAM (Méthode d'Évaluation Neuropsychologique Automatisée). Les analyses de la variance, suivies de comparaisons par paires, indiquent que, pour la majorité des mesures, les niveaux moyens de performance obtenus sur 4 ans par les groupes de personnes irradiées (surtout les liquidateurs) est sensiblement inférieur à ceux des groupes de contrôle. Les analyses longitudinales de performance révèlent des baisses importantes dans la précision et l'efficacité, ainsi qu'un ralentissement psychomoteur dans tous les groupes de personnes irradiées, sur cette période de 4 ans. Ces résultats indiquent fortement un délabrement des fonctions cérébrales résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants, à la fois aiguë et chronique (Gamache *et coll.* 2005).

Les modèles d'EEG des liquidateurs diffèrent significativement de ceux des groupes de contrôle (Loganovsky & Yuryev, 2001). Chez les survivants de l'accident de Tchernobyl, irradiés à une dose de 1 à 5 Sv et chez lesquels le diagnostic d'ARS a été confirmé, on découvre des marqueurs de rayonnements ionisants (Loganovsky & Yuryev 2004). La relation entre les effets neurophysiologiques et les doses d'irradiation est détectée seulement pour les doses supérieures à 0,3 Sv, considéré comme limite (Loganovsky 2000-2002). Au-delà de ce seuil, on observe une relation «dose-effet» entre la dose et les caractéristiques morphométriques des lésions cérébrales organiques identifiées par neuro-imagerie (Bomko 2004). Dans certains cas, les lésions cérébrales organiques sont vérifiées par les méthodes cliniques de neuropsychiatrie, de neurophysiologie, de neuropsychologie et de neuro-imagerie (Loganovsky *et coll.* 2003 & 2005b). Les bases cérébrales de détériorations de l'activité mentale supérieure, résultant de tels troubles après une période limitée de l'irradiation, sont la pathologie du cortex frontal et temporal de l'hémisphère dominant et des structures médianes avec leurs connexions corticales et subcorticales (Loganovsky 2002, Loganovsky & Bomko & 2004 2005).

Les études de suivis neuropsychiatriques et neuropsychophysiologiques confirment que les patients ayant survécu à la catastrophe de Tchernobyl et souffrant d'ARS présentent des lésions cérébrales structurelles et fonctionnelles progressives, dont l'encéphalopathie post-irradiation (syndrome cérébral organique post-irradiation) ainsi que d'autres troubles mentaux symptomatologiques (Nyagu & Loganovsky 108 1998). A ce jour, le syndrome cérébral organique post-irradiation est constaté chez 62% des patients avec une ARS confirmée. La forme apathique du trouble organique de la personnalité (F07.0) est typique de l'ARS après effets. Elle suit une évolution clinique progressive et elle est corrélée à la gravité de l'ARS et de la dose d'exposition. La forme apathique du trouble organique de la personnalité (F07.0) est caractéristique des suites d'une ARS grave ou modérée (Loganovsky 2002). La clinique neuropsychiatrique, neurophysiologique, neuropsychologique, et la neuro-imagerie confirment une lésion cérébrale organique dans la période reculée de l'ARS (Loganovsky *et coll.* 2003).

L'Étude de Santé des Adultes à Hiroshima n'établit aucune corrélation significative entre l'irradiation de la bombe atomique et la démence vasculaire ou la maladie d'Alzheimer détectées 25 à 30 ans plus tard. Au contraire, les facteurs de risque de démence sont l'âge du patient, une pression artérielle systolique élevée, un accident vasculaire cérébral, de l'hypertension, un traumatisme crânien, une carence de lait et un bas niveau d'éducation (Yamada *et coll.* 1999, 2003). Toutefois, cette même Étude de Santé des Adultes démontre l'effet statistiquement significatif des rayonnements ionisants sur les tendances longitudinales de la pression artérielle à la fois systolique et diastolique – le principal facteur contribuant au développement de la démence. Ce phénomène est compatible avec l'effet dégénératif des rayonnements ionisants sur les vaisseaux sanguins (Sasaki *et coll.* 2002). Les analyses récentes confirment les premières conclusions d'une corrélation entre la mortalité non cancéreuse et la dose d'irradiation de la bombe atomique. En particulier, on observe un accroissement de tendance des maladies cardiovasculaires (Shimizu *et coll.* 1999). Cela peut être considéré comme preuve directe de l'effet de dose d'irradiation, égale à plus ou moins 0.5 Sv pour les

maladies cardiovasculaire (y compris l'accident vasculaire cérébral), digestive, et respiratoire (Preston *et al.* 2003).

Des études épidémiologiques sur les survivants de la bombe atomique font état de hausse de la mortalité due à des maladies autres que le cancer. Cette augmentation de la morbidité et de la mortalité cardiovasculaire est associée à la dose d'irradiation (Kusunoki *et coll.* 1999). Les effets non-cancéreux chez les survivants de la bombe atomique sont observés à des doses de ~0.5 Sv (la moitié du niveau de dose considérée comme limite dans de précédentes études), ce qui devrait stimuler l'intérêt pour les effets déterministes, la morbidité et la mortalité non-cancéreuse après l'accident de Tchernobyl (Shimuzu *et coll.* 1999, Fry 2001, Preston *et coll.* 2003, Yamada *et coll.* 2004). Toutefois, les données épidémiologiques actuelles ne fournissent pas clairement la preuve d'un risque de maladies cardiovasculaires qui serait lié à une dose de rayonnements ionisants de l'ordre de 0-4 Sv. Des recherches sont nécessaires pour caractériser le risque possible (McGale & Darby 2005).

RAYONNEMENTS IONISANTS ET SCHIZOPHRENIE

Au Japon, l'irradiation due à la bombe atomique est connue pour avoir affecté la santé mentale de nombreux survivants, et les soins nécessités ont été considérés de la plus haute importance (Honda *et coll.* 2002). Mais 17 à 20 ans après les bombardements, la prévalence des symptômes d'anxiété et de somatisation est toujours élevée chez les survivants de la bombe atomique, ce qui indique la nature des effets psychiatriques à long-terme (Yamada & Izumi 2002). Toutefois, ces études sont reliés aux symptômes névrotiques seulement — anxiété et somatiation. En même temps, la référence croisée de la base de données du Life Span Study et du Registre sur la Schizophrénie du Département de Neuropsychiatrie, à l'Ecole Universitaire de Médecine de Nagasaki, révèle une très forte prévalence de schizophrénie à 6% chez les survivants de la bombe A (Nakane & Ohta 1986).

Les estimations actuelles concernant la prévalence de durée de vie de la schizophrénie dans les groupes de la population générale varient de 0,9 à 6,4 avec une prévalence moyenne estimée de 1.4 à 4.6 pour 1 000 (Jablensky 2000). Selon l'étude de 10 pays parrainée par l'OMS (Jablensky *et coll.* 1992), le taux d'incidence de schizophrénie à Honolulu (USA) est de 1,6 et en Inde, de 4.2 pour 10 000 habitants (McGrath *et coll.* 2004). L'incidence de la schizophrénie en Inde est le plus élevé au monde, et ne peut être expliqué par l'insuffisance des seuls soins psychiatriques (Tsirkin 1987). Il existe en Inde des zones à haute radioactivité naturelle due à la monazite, au Kerala, au Tamil Nadu, et dans le delta du Gange, avec un taux moyen de dose absorbée de 1 800 nGy.h⁻¹ dans l'atmosphère (UNSCEAR 2000).

La ceinture côtière des districts de Trivandrum et de Quilon au Kerala est un lieu de très forte radioactivité naturelle, avec plus de 15 mSv par an (Rajendran *et coll.* 1992). Par comparaison, l'exposition aux sources de radioactivité naturelle serait de l'ordre de 1 à 10 mSv par an dans le monde, 2.4 mSv étant l'estimation actuelle de la valeur centrale, ou médiane (UNSCEAR 2000).

Depuis 1990, une augmentation significative de l'incidence de la schizophrénie est signalée dans le personnel de la zone d'exclusion Tchernobyl, par rapport à la population générale (5,4 pour 10 000 dans la zone d'exclusion, contre 1,1 pour 10 000 en Ukraine en 1990) (Loganovsky & Loganovskaja 2000). Dans le modèle neural de stress-diathèse, le développement des organismes génétiquement prédisposés à la schizophrénie peut être stimulé par certains facteurs de stress environnementaux (ou stressseurs). Cet événement est considéré comme un modèle des effets des rayonnements ionisants. Des rapports s'accordent sur l'augmentation du spectre des troubles schizophréniques après exposition aux rayonnements ionisants de sources différentes : les bombes atomiques, les essais d'armes nucléaires, l'accident de Tchernobyl, la contamination par des déchets radioactifs, la radiothérapie, les zones avec une forte radioactivité naturelle (Loganovsky *et coll.* 2004a, 2005a). Les résultats des études expérimentales radioneurobiologiques soutiennent l'hypothèse de la schizophrénie comme une maladie neurodégénérative ((Korr *et al.* 2001, Gelowitz *et al.* 2002, Schindler *et al.* 2002). L'exposition aux rayonnements ionisants crée des lésions cérébrales, avec dysfonctionnement du système cortico-limbique et déficience des processus d'information

au niveau moléculaire, qui peuvent déclencher la schizophrénie chez des sujets prédisposés, ou provoquer des troubles schizophréniques (Loganovsky *et coll.* 200a, 2005a).

SUICIDES

Le suicide est la cause majeure de décès parmi les liquidateurs vivant en Estonie après l'accident de Tchernobyl (Rahu *et coll.* 1997). La mortalité par suicide ajustée sur l'âge augmente également parmi les décontamineurs à Tchernobyl, par comparaison à la population générale de Lituanie (Kesminiene *et al.* 1997). Ces résultats doivent être repris dans les études sur les équipes de décontamination des autres pays disposant d'une méthodologie normalisée pour la sécurisation des données. En résumé, le complexe des événements stressants déclenchés par l'accident, la suffisance avec laquelle le statut de «victime de Tchernobyl» est concédé à la population touchée, le stress des multiples événements survenus dans l'ex-Union Soviétique avant et après Tchernobyl, et les modes spécifiques à chaque culture d'exprimer sa détresse, rendent les conclusions médicales (y compris psychologiques) difficiles à interpréter précisément. En même temps, on assiste depuis ces dernières années, à un regroupement grandissant d'informations concernant les effets des faibles doses d'irradiation sur le cerveau et le SNC.

Ceci comprend :

les effets non cancéreux chez les survivants la bombe atomique, à des doses de 0.5 Sv (Shimuzu *et coll.* 1999, Preston *et coll.* 2003)

les preuves épidémiologiques de déficience cognitive liée à la dose incorporée au cours d'une radiothérapie pendant l'enfance, avec seuil possible pour des lésions cérébrales radiologiques différées à la suite de doses d'irradiation du cerveau aussi faibles que 0,1–1,3 Gy (Yaar *et coll.* 1980, 1982, Ron *et coll.* 1982, Hall *et coll.* 2004) ;

les troubles cognitifs, affectifs et comportementaux (OMS 1996, Nyagu *et coll.* 1998, 2002a, Kolominsky *et coll.* 1999, Loganovskaja & Loganovsky 1999, Igumnov & Drozdovitch 2000) ;

les anomalies neurophysiologiques des enfants irradiés *in utero* (Nyagu *et coll.* 1996a,b, 1998, 2002a, Loganovskaja & Loganovsky, 1999) ;

le syndrome cérébral organique post-irradiation chez les malades ARS (Nyagu *et coll.* 2002b, Loganovsky 2002), et les anomalies caractéristiques neurophysiologiques, neuropsychologiques et de neuro-imagerie chez les liquidateurs, à l'appui des données de la clinique neuropsychiatrique concernant les lésions cérébrales organiques après exposition à des doses supérieures à 0.3 Sv et qui se manifestent par un dysfonctionnement fronto-temporal limbique gauche et un syndrome schizophréniforme (Loganovsky 2000a & 2002, Loganovsky & Loganovskaja 2000) ;

le syndrome de fatigue chronique (CSA) à l'exposition à de faibles et très faibles doses de rayonnement, combinée avec un stress psychologique (Loganovsky *et coll.* 1999, Loganovsky 2000b) ;

les indications de schizophrénie et de troubles qui lui sont liés (Nakane & Ohta 1986, Imamura *et coll.* 1999, Loganovsky & Loganovskaja 2000, Loganovsky *et coll.* 2004 & 2005)

Ces effets associés à l'exposition à des rayonnements ionisants de faible niveau exigent de nouvelles recherches, y compris la recherche sur les mécanismes biologiques à divers niveaux, de la simple molécule à l'organisme pris dans son ensemble.

REFERENCES

- Aleksandrovskij J.A., Rumyantseva G.M., Schukin B.P., Jurov V.V. (1989) The state of mental adaptation failure under extreme conditions (according to the Materials of accident on the Chernobyl atomic power station) // Journal of Neuropathol. and Psychiatry of S.S.Korsakov. N° 5. pp. 111-117.
- Alexandrovskaja M.M. (1959) Effects of different doses of ionizing radiation on the brain morphology in animals at total irradiation. Medical Radiology, 4 (8): 79–81 (in Russian).

- Allen P.T., Rumyantseva G. (1995). The contribution of social and psychological factors to relative radiation ingestion dose in two Russian towns affected by the Chernobyl NPP accident. Society for Risk Analysis (Europe), p 1-9
- Alymov, N.I., Pavlov, A.Y., Sedunov, S.G., Gorshenin, A.V., Popovich, V.I., Loskutova, N.D. & Belobrovkin, E.A. (2004) Immune system at person living on the Chernobyl irradiated territories. «Med.-biol. Problems of radio- and chemical- protection». Coll. Papers Russ. Sci.-pract. conference, Sant-Peterburg, 20-21 May, 2004, pp. 45 – 46 (in Russian).
- Anderson NE (2003) Late complications in childhood central nervous system tumour survivors. *Curr Opin Neurol*, 16(6): 677–683.
- Antipkin Y.G., Arabskaya L.P. (2003) Peculiarities of hormonal regulation of physical development and bone tissue in children born after accident at Chernobyl Nuclear power plant // *Int. J. Radiat. Med.* Vol. 5, N° 1-2. P. 223-230.
- Antipkin Y.G., Arabskaya L.P., Tolkach S.I. (2003) Characteristics of teeth state in children born to women radiation-exposed in childhood and adolescence during the Chernobyl NPP accident// *Perinatology and Pediatrics*. N° 3.–P. 35-38.
- Antypova, S.I. & Babichevskaya, A.I. (2001) Belarussian adult mortality of the evacuees. 3rd Int. Conf. Medical consequences of the Chernobyl accident: the results of 15 years investigations”, 4-8 June, Kiev, Ukraine, pp. 152-153 (in Russian).
- Arabskaya L.P, Povoroznyuk V.V., Tolkach S.I. (2002) The state of osseous system in children born to women radiation-exposed in childhood and adolescence// *Ukrainian Medical Almanac*. V.2, N° 2. – P. 137-142.
- Arabskaya L.P. (2001) General characteristic of structural functional state of osteal tissue and physical development of children born after the accident of ChAPS // *The problems of osteology*. V.4, N° 3. p. 11-22.
- Arabskaya L.P., Antipkin Y.G., Tolkach S.I. (2004) Some peculiarities of the functional state of bone tissues of the first generation of children born to women radiation-exposed in childhood. *Perinatology and Pediatrics*. N° 4: 27-30
- Arabskaya L.P., Antipkin Y.G., Tolkach S.I. (2003) Peculiarities of physical development of the first generation of children born to women radiation-exposed in childhood // *Perinatology and Pediatrics*. N° 4.–P. 28-35.
- Arabskaya L.P., Tolkach S.I., Smyrnova O.A. (2005). The state of osteal metabolism in children of different attendance categories at the present stage// *Materials of Scientific and Practical Conference “Metabolic disorders of children and teenagers: diagnosis, prevention, treatment”*, September 14-15, 2005, Kyiv. – P. 5- 6.
- Arinchin A.N. & Ospennikova, L.A. (1999) Lens Opacities in Children of Belarus Affected by the Chernobyl Accident. In : Imanaka T. (Ed.). 1999.
- Arinchina N.T., Milkamanovich V.K. 1992. Comparative assessment of 24-hour monitoring of cardiac arrhythmias in disable-bodied people suffering from ischaemic heart disease and living on the radionuclidecontaminated territories and pure regions of Belarus. Jubilee Conference dedicated to the 125th Anniversary of the Byelorussian Scientific Society of Therapists, Minsk, December 22-23, 1992, Abstracts of papers, Minsk, pp. 75 - 76.
- Astachova, L.N., Demidchik, E.P. & Polyanskaya, O.N. (1995) The main radiation risk’ system: Thyroid carcinoma at Belarussian children after the Chernobyl accident. “Chernobyl accident: Prognosis, prophylactics, treatment and medical-psychological rehabilitation of suffers. *Collect. Materials IV Int. Conf.*, Minsk, pp. 119-127 (in Russian).
- Avhacheva T., Arinchin A., Slobozhanina E. (2001) Peculiarities of somatic pathology formation and structuralfunctional status of erythrocyte membranes of Belarussian children, suffered from the Chernobyl accident. -In: *International Journal of Radiation Medicine* 3 (1-2) p.8-9
- Baeva E.V., Sokolenko V.L. (1998) T-lymphocyte’s surface marker’s expression after low dose irradiation. *Immunol.*, N° 3, pp. 56-59 (in Russian).
- Baleva L.S., Terlezka R.N., Zimlakova L.M. (2001) Peculiarity of health formation of the child population in territories of Russian Federation which has radiation exposure as the result of accident on Chernobyl NPS - In: *Ecological anthropology, Year-book, Materials VIII of the International scientific*

- practical conference " Human Ecology in the post Chernobyl period " on October 4-6 2000 / under common edition Dr. T.V.Belookaia. -Minsk: Byelorussian Committee " Chernobyl children" 2001, pp. 15-23
- Bandajevsky Yu.I. (1999) Pathology of incorporated ionizing radiation. Gomel State Med. Inst. Minsk, 136. (in Russian).
- Batyan G.M., Kozharskaya L.G. (1993) Juvenile rheumatoid arthritis at children from the radioactive polluted areas. Byelorussian children health under modern ecological condition (Consequences of the Chernobyl accident). Materials of the VI Byelorussian pediatric congress, Minsk, pp. 18—19 (in Russian).
- Bazyka D.A., Volovik S.V., Manton K.G., Loganovsky K.N., Kovalenko A.N. (2004) Ionizing radiation accelerating aging and neurodegeneration. *International Journal of Psychophysiology* 54 (1–2): 118–119
- Bazyltchik S, Drozd V.M., Reiners Chr, Gavrillin Yu (2001) Intellectual development of children exposed to radioactive iodine after the Chernobyl accident in utero and at the age under 1.5 years. In: Abstracts of the 3rd Int. Confer. «Health Effects of the Chernobyl Accident: Results of 15-year Follow up Studies», Kiev, June 4–8, 2001. *International Journal of Radiation Medicine, Special Issue 3* (1–2):15.
- Bebeshko V., Bazyka D., Nyagu A., Loganovsky K., Khomaziuk I., Lyashenko L., Klymenko V., Chumak., Los I., Chumak V., Gaevaja L. (2001) Radiation protection and health effects of Chernobyl nuclear power plant staff during the decommissioning. In: Abstracts of the 2nd International Conference «The Effects of Low and Very Low Doses of Ionizing Radiation on Human Health», 27–29 June, 2001, Dublin. World Council of Nuclear Workers, p. P6-6.
- Belookaya T. V. (1993) Dynamics of the children health status of Belarus under modern ecological conditions. "The Chernobyl accident: diagnostics and medical-psychological rehabilitation of the sufferers. Collection of Conf. Materials , Minsk, pp. 3-10 (in Russian).
- Belookaya T.V., Koryt'ko S.S., Mel'nov S.B. (2002) Medical effects of the low doses of ionizing radiation. Mater. 4th Int. Congress on Integrative Anthropology, Sant-Peterburg, pp.24-25 (in Russian).
- Bezdrobna L., Tsyaganok T., Romanova O., Tarasenko L., Tryshyn V., Klimkina L. (2002) Chromosomal Aberrations in Blood Lymphocytes of the Residents of 30-km Chernobyl NPP Exclusion Zone. In: Imanaka T. (Ed.). Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia. Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-79), Kyoto, pp. 277 – 287.
- Biryukov A, Gorsky A, Ivanov S, Ivanov V, Maksiourov M, Meskikh N, Pitkevitch V, Rastopchin E, Souchkevitch G, Tsyb A (2001) Ed. by Souchkevitch GN, Repacholi MN: Low Doses of Ionizing Radiation: Health Effects and Assessment of Radiation Risks for Emergency Workers of the Chernobyl Accident. Geneva: World Health Organization, 242 p.
- Biryukov A., Gorsky A., Ivanov S., Ivanov V., Maksiourov M., Meskikh N., Pitkevitch, Rastopchin E., Biryukova L.V., Tulupova M.I. 1994. Dynamics of endocrinous morbidity in the Gomel Region over the period from 1993 to 1995. Proceedings of the International Symposium "Medical aspects of radiation exposure of the population living on the territory contaminated after the Chernobyl accident". Gomel, p. 29.
- Bochkov N.P. (1993) Analytical review of cytogenetic studies after Chernobyl accident. Bulletin of the Russian Academy of medical sciences., *Medicine.*-N° 6. p.51-56 (in Russian).
- Bochkov, N.P., A.N.Chebotarev, L.D.Katosova, V.I. Platonova. (2001) Data base for quantitative characteristics of chromosomal aberrations frequency in human peripheral blood lymphocytes assay. *Genetic*, 2001, v.37, N4, pp. 549-557 (in Russian).
- Bomko M.O. (2004a): Morphometric neurovisual characteristic of organic brain damage in remote period of exposure to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident. *Ukrainian Medical Journal*, 2 (40): 96–101 (in Ukrainian).
- Bomko M.O. (2004b) Morphometric neurovisual characteristic of organic brain damage in clean-up workers of the consequences of the Chernobyl accident in remote period of exposure to ionizing radiation. *International Journal of Psychophysiology*, 54 (1–2): 119.
- Bomko M.O. (2005) Structural-functional characteristic of organic mental disorders in clean-up workers of the consequences of the Chernobyl accident in remote period of exposure to ionizing radiation. The

- dissertation for the academic degree of a Candidate of Medical Sciences in radiobiology. Research Centre for Radiation Medicine of Academy of Medical Sciences of Ukraine. Kyiv.
- Borshevsky V.V., Kalechitc O.M., Bogomazova A.V. (1996) Tendencies in the tuberculosis morbidity after the Chernobyl accident in Belarus. *Med.-biol. aspects of the Chernobyl accident*, N° 1, pp. 33-37 (in Russian).
- Bortkevich L.G., Konoplya E.F., Rozhkova Z.A. (1996) Immunotropic effects of the Chernobyl accident. *Conf. "10 years after the Chernobyl accident: Scientific problems"*, Abstracts, Minsk p. 40 (in Russian).
- Bromet E.J., Gluzman S., Schwartz J.E., Goldgaber D. (2002) Somatic symptoms in women 11 years after the Chernobyl accident. *Environ Health Perspect*, 110 (Suppl. 4), 625-629
- Bromet E.J., Goldgaber D., Carlson G., Panina N., Golovakha E, Gluzman SF, Gilbert T, Gluzman D, Lyubsky S., Schwartz J.E. (2000) Children's well-being 11 years after the Chernobyl catastrophe. *Arch Gen Psychiatry*, 57(6): 563-571
- Burlakova E.B., Dodina G.P. Zyuzikov N.A., Korogodin V.I., Korogodina V.L., Krasavin E.A., Kogdin. N., Malikov V.N., Petruchenko V.N., Petin V.G., Reshetnikova V.I., Shlyakhtin V.G., Yarilin A.A. (1998) Effect of low-dose ionizing radiation and chemical contamination on human and environmental health. Programme "Assessment of combined effect of radionuclide and chemical contamination". *Atomic E Energy*, Vol. 6, pp. 457-462.
- Busuet G.P., Genchikov L.A., Shaginyan I.A., Margolina S.A. 03.02-86.244. Incidence of nosocomial infections in neonates and puerperae on the radionuclide-contaminated and controlled territories // *Journal of microbiology, epidemiology and immunobiology*. – 2002. N° 1. – P. 32-37
- Buzunov V.A., N.P. Strapko, L.I., (1999) in *Health aftermath of the Chernobyl Accident*. Vol. 1. Epidemiology of health aftermath of the Chernobyl accident, edited by V.A. Buzunov, I.A. Likhtariev. (Kiev: RCRM, «MEDECOL», 1999), p. 65.
- Buzunov V.A. (2003) Pattern and Risks for Non-Cancer Chronic Diseases in Chernobyl Accident Survivors on the Base of Cohort Studies, Development of Models for Assessment and Forecasting taking into account Radiation and Non-Radiation Factors. Final Report, Research Project 0100U003181, Kiev: Scientific Centre for Radiation Medicine of Academy of Medical Sciences (2003).
- Buzunov V.A., Pyrohova O.A., Tereshchenko V.M. and others. (2004a) The main results of epidemiologic researches of nonneoplastic pathology in the participants of Chernobyl NPP accident liquidation// *Problems of Radiation Medicine*. Issue 10. P. 55-62.
- Buzunov V.A., Pyrohova O.A., Tereshchenko V.M. and others. (2004b) Epidemiology of nonneoplastic diseases in the participants of Chernobyl NPP accident liquidation// *Problems of Radiation Medicine*. Issue 10. – P.187-207.
- Cheban, A.K. (1999) Chernobyl disaster non-stochastic effects of thyroid. *International Journal of Radiation Medicine* 3-4 (3-4):76-93
- Buzunov VA, Strapko NP, Pirogova YeA, Krasnikova LI, Kartushin GI, Voychulene YuS, Domashevskaya Tye (2001) Epidemiology of non-cancer diseases among Chernobyl accident recovery operation workers. *International Journal of Radiation Medicine*, 3 (3-4): 9-25.
- Buzunov V.A. (2003) Pattern and Risks for Non-Cancer Chronic Diseases in Chernobyl Accident Survivors on the Base of Cohort Studies, Development of Models for Assessment and Forecasting taking into account Radiation and Non-Radiation Factors. Final Report, Research Project 0100U003181, Kiev: Scientific Centre for Radiation Medicine of Academy of Medical Sciences (in Ukrainian).
- Buzunov, V. & Fedirko, P.A. (1999) Ophthalmopathology in victims of the Chernobyl accident - results of clinical epidemiological study. In: *Ocular radiation risk assessment in populations exposed to environmental radiation contamination*. A.K. Junk, Y. Kundiev, P. Vitte, & B.V. Worgul (eds). Kluwer Academic Publishers pp. 57- 67
- Cheban, A.K. (2002) Influence of the Chernobyl accident on thyroid function and non-tumour morbidity.// *Chernobyl: Message for the 21st Century*. Excerpta Medica International Congress Series 1234 pp 245-252
- Chuchalin, A.G., Chernyaev A.L. & Vuazen K. (1998) Pathology of the respiratory organs among the ChNPP accident liquidators. - *occow.:* "Grant", 1998. - 272 p. (in Russian)
- Chuprikov AP, Pasechnik LI, Kryzhanovskaja LA, Kazakova SYe (1992) Mental disorders at radiation brain damage. Kiev Research Institute for General and Forensic Psychiatry (in Russian)

- Danilov V.M., Pozdeev V.K. (1994) The epileptiform reactions of the human brain to prolonged exposure to low-dose ionizing radiation. *Fiziol Zh Im I M Sechenova*, 80 (6): 88–98 (Article in Russian).
- Dashkevich, V., Davidova, J. & Mokrik, A. (2001) State of reproductive health of women, exposed to radiation in children's age//Congress of EAGO and EBCOG, Malmo, Sweden, 2001.
- Dashkevich, V.E., Janyuta S.N. (1997) The course and outcomes of pregnancy in women victims of the accident at the Chernobyl atomic power station // Treatment and diagnostics. N° 2. pp, 61-64.
- Dashkevich, V.E., Makeev S.M, Kolomijchenko T.V., Taranenko K.G. (1992) Specialized research-clinical register of pregnant women and newborns // in book " Actual problems of liquidation of medical consequences of the Chernobyl atomic power station accident. Kiev UNTsRM MH AS of Ukraine, 1992.
- Dedov, I.I. & Dedov V.I. (1996) Chernobyl: Radioactive Iodine and Thyroid Gland. Moscow, 103 p.
- Dedov, V.I., Dedov, I.I. & Stepanenko, V.F. (1993) Radiation endocrinology., "Medicine" . 208 p
- Demedchik, E.P., Demedchik Yu.E., Rebeko V.Ya. 1994. Thyroid cancer in children. Proceedings of the International Scientific Symposium "Medical aspects of radiation exposure of the population living on the territory contaminated after the Chernobyl accident". Gomel, p. 43 - 44.
- Demyttenaere K, Bruffaerts R, Posada-Villa J, Gasquet I, Kovess V, Lepine JP, Angermeyer MC, Bernert S, de Girolamo G, Morosini P, Polidori G, Kikkawa T, Kawakami N, Ono Y, Takeshima T, Uda H, Karam EG, Fayyad JA, Karam AN, Mneimneh ZN, Medina-Mora ME, Borges G, Lara C, de Graaf R, Ormel J, Gureje O, Shen Y, Huang Y, Zhang M, Alonso J, Haro JM, Vilagut G, Bromet EJ, Gluzman S, Webb C, Kessler RC, Merikangas KR, Anthony JC, Von Korff MR, Wang PS, Brugha TS, Aguilar-Gaxiola S, Lee S, Heeringa S, Pennell BE, Zaslavsky AM, Ustun TB, Chatterji S; WHO World Mental Health Survey Consortium (2004) Prevalence, severity, and unmet need for treatment of mental disorders in the World Health Organization World Mental Health Surveys. *JAMA* 291 (21): 2581–2590.
- Diomina, E.A. (2003) Actinogenic cytogenetic effects in the participants of Chernobyl NPP accident liquidation. Thesis of Doctor of Biological Sciences. 03.00.01.- Kyiv., 2003. - 319 p.
- Druzhina M.O., Burlaka A.P., Moiseeva N.P., Shestopalov V.M., Sidoryk E.P., Serkiz Ya.I. Khaetsky I.K. (2001) Biochemical disturbances and their correction in the bodies of the rodents that live inside of the Chernobyl exclusion zone. Collection of scientific papers "Chornobyl. Exclusion zone" . Publ. "Naukova Dumka", Kiev, pp 521-525 (in Ukrainian)
- Dubovaya N.I. (2005) Comparative analysis of allergosis' distribution among green-houses workers of Bryansk area. *MaterilasInter. Sci.-pract. Conf. «Chernobyl – 20 years after. Social-Economical Problems and persective for development of suffering territories»*, Braynsk, p. 156 (in Russian).
- Dubrova Y.E., Nesterov V.N., Krouchinsky N.G., Ostapenko V.A., Neumann R., Neil D.L., Jeffreys A.J. (1996) Human minisatellite mutation rate after the Chernobyl accident. *Nature*, vol. 380, April 15, pp. 683-686.
- Dubrova J.E. (1992) Principles and approaches to definition of rate of occurrence of genetic mutations in human populations // *Genetics*. N° 2 (3) .-p.182-193
- Dubrova J.E., Brown I., et al. (1998a) Frequency of germinative mutations in humans after accident at ChAPS // The abstracts of 2-nd Int-I Conf. "Remote medical consequences of the Chernobyl accident" Kiev : "Chernobyl-inter-inform". p.250.
- Dubrova Y.,Plumb M., Brown J. (1998b) Radiation-induced germ-line instability at minisatellite loci: *Int.J. Radiat. Biol.* Vol.74.-P.689-696.
- Dubrova, Y.E. & Plumb, M.A. 2002. Ionising radiation and mutation induction at mouse minisatellite loci: The story of the two generations. *Mutat. Res.* 499: 143-150
- Duda V.I., Kharkevich O.N. (1996) Endocrine mechanisms of adaptations in the dynamics of gestation process at women under chronic radiation stress. «Motherhood and childhoods protection under impact of consequences of the Chernobyl' accident». Materials of scientific investigations, 1991-1995. Minsk, part. 1, pp. 96 – 99 (in Russian).
- Dudynskaya R.A,Surina N.V. (2001) Condition of the thyroid system of РОДИЛЬНИЦ, from the radionuclides' pollution in Gomel area. 3rd Iner. Conf. " Medical consequences of the Chernobyl' accident: Results of 15- years investigations. 4-8 June 2001 , Kiev, Ukraine". Abstarcts, pp. 192 -193 (in Russian).

- Dzikovitch I.B., Kornilova T.I., Kot T.I., Vanilovich I.A. (1996) Health condition of the pregnant and newborns from different areas of Belarus. Medical-Biological aspects the Chernobyl accident. N° 1, pp. 16 – 23 (in Russian)
- Dzyublik A.Ya., Doskuch V.V., Suslov E.I., Syshko V.A. (1991) Detection and run of the chronic unspecific diseases of lungs in people exposed to low doses of the ionizing radiation. Problems of radiation medicine/-Kiev, ISSN 0868-4812 - Nr. 3. - p. 11-14.
- Epstein, E.V., Dashkevich V.E., Olejnik V.A., Davidova J.V. (2004) The thyroid gland differentiated cancer: pregnancy and labors. // Health of the woman, N° 3.-p.63-67)
- Ermolina L.A., Sukhotina N.K., Sosyukalo O.D., Kashnikova A.A., Tatarova I.N. (1996) The effects of low radiation doses on children's mental health (radiation-ontogenetic aspect). Report 2. Social and Clinical Psychiatry, 6 (3): 5–13 (in Russian).
- European Commission. Radiation protection 100 (1998) Guidance for protection of unborn children and infants irradiated due to parental medical exposures. Directorate-General Environment, Nuclear Safety, and Civil Protection (<http://www.europa.eu.int/comm/environment/radprot>)
- Evetz L.V., Lyalykov S.A. & Ruksha T.V. (1993) Characters of immune infringements at children in connection of spectrum of the isotopic pollution of territory. Conf. "Chernobyl' catastrophe: diagnostics and medicalpsychological rehabilitation of suffers". Collection of Materials. Minsk, pp. 83–85 (in Russian).
- Fedirko, P. (1997) Clinical peculiarities of retinal diseases in people suffered from the Chernobyl accident. XI Congress of the European Society of Ophthalmology, Budapest, 1997: Abstract book p353
- Fedirko, P. (1999a) Peculiarities of the cataractogenesis, caused by ionizing radiation influence. XII Congress European Society of Ophthalmology, Stockholm, Sweden, June 27 - July 1, 1999: Abstract book p. 255
- Fedirko, P. (1999b) Chernobyl accident and the eye: some results of a prolonged clinical investigation. Ophthalmol. J. 2: 69-73
- Fedirko, P. (2000) Radiation cataracts as a delayed effect of the Chernobyl accident. Data of scientific research 2: 46-48
- Fedirko, P. (2002) Clinical and epidemiological studies of eye occupational diseases in the Chernobyl accident victims (peculiarities and risks of eye pathology formation, prognosis). – Dissertation submitted for a degree of the doctor of medical sciences (D.S.) on specialities 14.02.01 - hygiene and 14.01.18 - eye diseases. Institute for Occupational Health of Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kyiv, 2002.
- Fedirko P. (2005) To risk assessment of eye diseases development in population exposed to ionizing radiation. In book: Health of liquidators (clean-up workers) 20 years after Chernobyl explosion. Bern. PSR_IPPNW, p. 17.
- Fedyk, V.S. (2002) Epidemiology of thyroid lesions in adolescents living on the controlled regions contaminated after the Chernobyl accident. Bulletin of social hygiene and organization of public health of the Ukraine, No 3, pp. 16 - 19.
- Fry R.J. (2001) Deterministic effects. Health Phys 80 (4): 338–343.
- Gamache G.L., Levinson D.M., Reeves D.L., Bidyuk P.I., Brantley K.K. (2005) Longitudinal neurocognitive assessments of Ukrainians exposed to ionizing radiation after the Chernobyl nuclear accident Arch Clin Neuropsychol, 20 (1): 81–93.
- Gayduk F.M., Igumnov S.A., Shalckevich V.B. (1994) The complex estimation of neuro-psychic development of children undergone to radiation exposure in prenatal period as a result of Chernobyl disaster. Social and Clinical Psychiatry, 4 (1): 44–49 (in Russian)
- Gelowitz D.L., Rakic P., Goldman-Rakic P.S., Selemon L.D. (2002) Craniofacial dysmorphogenesis in fetally irradiated nonhuman primates: implications for the neurodevelopmental hypothesis of schizophrenia. Biological Psychiatry 52 (7): 716–720.
- Glazunov I.S., Blagoveshchenskaya V.V., Baranova V.G., et al. (1973) About the mechanism of action of ionizing radiation on nervous system according to the data of neurologic - physiological and morphological research of acute radiation diseases // Impact of ionizing radiation on nervous system: The abstracts of reports of All-Union conference. - Leningrad, 1973. - p.37-38.

- Gofman J. (1994b) Radiation-Induced Cancer from Low-Dose Exposure: an Independent Analysis. Translation from English Edition (1990). Social Ecological Union Publ., Moscow, vol. 1,2, 469 p. (in Russian).
- Gofman J. 1994a. Chernobyl accident: radioactive consequences for the existing and the future generations. Minsk, «Vysheihshaya Shkola» Publ., 576 p. (in Russian).
- Golovko O.V., Izhevsky P.V. (1996) Studies of the reproductive behaviour in Russian and Belorussian populations, under impact of the Chernobyl' ionizing irradiation. *Rad. Biol., Radioecol.*, vol. 36, # 1, pp. 3-8 (in Russian).
- Golubchikov M.V., Mikhnenko Yu.A., Babinets A.T. (2002) Health Alterations of the Population of Ukraine in the Post-Chernobyl Period: Report (5 Annual scientific conference "To 21 century with safe nuclear technologies.", Slavutich, 12-14 Sep., 2001). *Scientific and Technical Aspects of Chernobyl*, #4, P. 579-581(in Ukrainian).
- Goncharik I.I. (1992) Arterial hypertension at inhabitant's Near-to-Chernobyl zone. *Belarusian Public Health*, N° 6, pp. 10 – 12 (in Russian).
- Goncharova R.I. (2000) Remote consequences of the Chernobyl Disaster: Assessment After 13 Years. In: E.B. Burlakova (Ed.). *Low Doses Radiation: Are they Dangerous?* NOVA Sci. Publ., pp. 289 – 314.
- Gorptchenko I.I., Ivanyuta L.I., Solsky Ya.P. (1995) Genital System. In: Baryachtar V.G.B.Γ.(Ed.). *Chernobyl accident*. Kiev, «Naukova Dumka» Publ., pp. 471 – 473 (in Russian).
- Gourmelon P, Marquette C, Agay D, Mathieu J, Clarencon D. (2005) Involvement of the central nervous system in radiation-induced multi-organ dysfunction and/or failure. *BJR Suppl.* 27:62-68.
- Gourmelon P. Lebaron-Jacobs, Marquette C, Clarencon D. (2001) Radiation induced neurovascular injury. In : *Chronic irradiation : Tolerance and Failure in Complex Biological Systems*. (Ed. By T.M.Fliedner, L.E.Feinendegen , J.M.Hopewell). London. 2001.
- Grodzinsky D.M. (1999) General situation of the Radiological Consequences of the Chernobyl accident in Ukraine. In: Imanaka T. (Ed.) *Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia*. Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-7), pp. 18 – 28.
- Guskova A.K., Bisogolov G.D. (1971) *Radiation Sickness of Human*. Moscow: «Meditsina» Publishing House (in Russian).
- Guskova A.K., Shakirova I.N. (1989): Reaction of the nervous system on alternative ionizing irradiation. *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova* 89(2):138–142 (in Russian).
- Guskova A.K. & Buldakov L.A. (1996) International workshop " Chronic radiation influence: risk of the remote effects " (Chelyabinsk, January, 9-13th, 1995) / report // *Med. radiology and radiation safety*. V.41, N° 2. - p.69-76.
- Gutin P.H., Leibel S.A., Sheline G.E. (Eds.) (1991): *Radiation injury to the nervous system*. New York: Raven Press.
- Hall P., Adami H.O., Trichopoulos D., Pedersen N.L. Lagiou P., Ekblom A., Ingvar M, Lundell M, Granath F. (2004) Effect of low doses of ionising radiation in infancy on cognitive function in adulthood: Swedish population based cohort study. *BMJ*, 328(7430): 19–24.
- Havenaar J.M, W. van den Brink, J. Bout van den et al. (1996) *Psychological Medicine*, 26, 845.
- Havenaar J.M. (1996) *After Chernobyl: psychological factors affecting health after a nuclear disaster*. Utrecht, University Utrecht (1996). 150p.
- Havenaar J.M., G.M. Rumyantzeva, W. van den Brink et al., (1995) *Am. J. Psychiatry*, 154, 1605.
- Havenaar JM, Cwikel JG, Bromet EJ. (eds.) (2002) *Toxic Turmoil: Psychological and Societal Consequences of Ecological Disasters*. New York, Kluwer Academic and Plenum Press, 2002
- Havenaar JM, de Wilde EJ, van den Bout J, Drottz-Sjöberg B-M, van den Brink W. (2003). Perception of risk and subjective health among victims of the Chernobyl disaster. *Soc Sci Med*, 56:569-572
- Havenaar JM, Rumyantzeva GM, Kasyanenko AP, Kaasjager K, Westermann AM, van den Brink W, van den Bout J, Savelkoul TJF. (1997a). Health effects of the Chernobyl disaster: illness or illness behaviour? A comparative general health survey in two former Soviet Regions. *Environ Health Perspect*, 105 (Suppl.6): 1533-1537
- Havenaar JM, Rumyantseva GM, van den Brink W, Poelijoe NW, van den Bout J, van Engeland H, Koeter MWJ. (1997b) Long-term mental health effects of the Chernobyl disaster: an epidemiological survey in two former Soviet Regions. *Am J Psychiatry* 154:1605-1607

- Honda S, Shibata Y, Mine M, Imamura Y, Tagawa M, Nakane Y, Tomonaga M (2002) Mental health conditions among atomic bomb survivors in Nagasaki. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 56: 575–583.
- Hunt W.A. (1987) Effects of ionizing radiation on behavior. In: Conklin JJ, Walker RI, editors. *Military radiobiology*. San Diego: Academic Press Inc. p. 321–330.
- IAEA (1992) International Chernobyl project. Technical report. 1992. – 740p.
- IAEA (1994) International Basic Safety Standards for Protection Against Ionising Radiation and for Safety of Radiation Sources. 387 p.
- Ibragimova A.I. 2003. Clinical data on genotoxic action of ionizing radiation. *Russ. Herald Perinatol., Pediatr.*, vol. 48, N° 6, pp. 51 – 55 (in Russian).
- ICRP Publication 49 (1986) Developmental effects of irradiation on the brain of the embryo and fetus. A report of a Task Group of Committee 1 of the International Commission on Radiological Protection, 1986. In M.C. Thorne (Ed.). *Annals of the ICRP*, 16 (4). Oxford: Pergamon Press.
- ICRP Publication 49. *Annals of the ICRP*, 16 (4). Pergamon Press, Oxford (1986).
- ICRP Publication 60 (1991) 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP*, Vol. 21/1–3, Pergamon—Elsevier.
- ICRP Publication 88 (2001) *Annals of the ICRP*, 31 (1–3). Amsterdam: Elsevier (Pergamon).
- Igumnov S, Drozdovitch V. (2000). The intellectual development, mental and behavioral disorders in children from Belarus exposed in utero following the Chernobyl accident. *Eur Psychiatry*, 15:244-253
- Igumnov SA (1999) The prospective investigation of a psychological development of children exposed to ionizing radiation in utero as a result of the Chernobyl accident. The dissertation for the academic degree of a Doctor of Medical Sciences in radiobiology and psychiatry. State Scientific Center of Russian Federation Institute of Biophysics, Moscow.
- Ilin L.A. (1994) Realities and myths of Chernobyl. - Moscow: ALARA Ltd. - 448 p.
- Ilin L.A., Balonov M.I., Buldakov L.A., et al. (1989) Ecological peculiarities and medico-biological consequences of the Chernobyl APS accident // *Med. Radiology*. V.34.-N 11. p.59-81.
- Imamura Y, Nakane Y, Ohta Y, Kondo H (1999) Lifetime prevalence of schizophrenia among individuals prenatally exposed to atomic bomb radiation in Nagasaki City. *Acta Psychiatrica Scandinavia*, 100 (5), 344–349.
- Iskrytskyi A.M. (1995) Humoral immunity and immunological characters of human milk in the radioactive polluted areas of Belarus. «Actual problems of immunology and allergology», III Congress Belarus. Sci. Soc. Immunologists and Allergologists. Abstracts, Grodno, pp. 85 – 86 (in Russian).
- Ivanov S.I. (2002) Health consequences of Chernobyl diseases in Russian Federation fifteen years after. *International Journal of Radiation Medicine*, 4 (1-4) p.12-24
- Ivanov V.K., Tsyb A.F., Ivanov S.I. et al. (1999) Liquidators of Chernobyl accident: the radiation epidemiological analysis of medical consequences. M.: Galanis, 1999.312 p.
- Ivanov V.K., Chekin S.Y., Parshin V.S., Vlasov O.K., Maksoutov M.A., Tsyb A.F., Andreev V.A, Hoshi M, Yamashita S, Shibata Y. (2005) Non-cancer thyroid diseases among children in the Kaluga and Bryansk regions of the Russian Federation exposed to radiation following the Chernobyl accident. *Health Phys.* 88(1):16-22.
- Ivanov V.K., Maksoutov M.A., Chekin SIu, Kruglova Z.G., Petrov A.V., Tsyb A.F. (2000) Radiation epidemiological analysis of incidence of non-cancer diseases among the Chernobyl liquidators. *Health Physics* 78 (5): 495–501.
- Ivanov V.K., Maksoutov M.A., Chekin SIu, Petrov A.V., Tsyb A.F., Biriukov A.P., Kruglova Z.G., Matiash V.A. (2005) The radiation risks of cerebrovascular diseases among the liquidators. *Radiats Biol Radioecol*, 45 (3): 261–270 (in Russian)
- Ivanov V.K., Maksoutov M.A., Chekin SIu, Petrov A.V., Tsyb A.F., Biriukov A.P., Kruglova Z.G., Matiash V.A. (2005) The radiation risks of cerebrovascular diseases among the liquidators. *Radiats Biol Radioecol*, 45 (3): 261–270 (in Russian)
- Ivanov, A.E., Kurshakova N.N., Solovyev A.I. (1990) Radiation induced lung cancer. - Moscow., *Medicine* 1990. – 224p. (in Russian)

- Ivanov, V.K., Maksimov M.A., Chekin S.I., Kruglova Z.G., Petrov A.V., Tsyb A.F. (2000) Radiation epidemiological analysis of incidence of non-cancer diseases among the Chernobyl liquidators. *Health Physics* 78 (5): 495–501.
- Ivanyuta L.I., Dubchak A.E. (2000) Gynecologic morbidity and the nature of a menstrual cycle in women, exposed to radiation after accident at ChAPS. // *Endocrinology*. v.5, N° 2.-p.196-200.
- Jablensky A. (2000) Epidemiology of schizophrenia: the global burden of disease and disability. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci* 250 (6): 274–285.
- Kapytonova E.K., Kryvitskaya L.V. (1994) Babies morbidity structure on the radioactive polluted territories in 6 years after Chernobyl accident. *Materials Inter. Sci. Symp. «Medical Aspects of radioactive impact on populations after the Chernobyl' accident»*, Gomel, p .52 (in Russian).
- Karpenko V.S., Pavlova L.P., Kushniruk D.Yu. (2003) Analysis of the structure of renal diseases in the Ukrainian population living on the territories contaminated with radionuclides resulting from the Chernobyl accident. *Urology*, 7, N° 1, pp. 70 - 74.
- Kesminiene A.Z., Kurtinaitis J., Rimdeika G. (1997) The study of Chernobyl clean-up workers from Lithuania. *Acta Med. Lituanica* 2: 55–61.
- Kharchenko V.P., Zubovskii G.A., Kholodova N.B. (1995) Changes in the brain of persons who participated in the cleaning-up of the Chernobyl AES accident based on the data of radiodiagnosis (single-photon emission computed radionuclide tomography, x-ray computed tomography and magnetic resonance tomography) *Vestn Rentgenol Radiol*, 1: 11–14 (in Russian).
- Kholodova N.B., Kuznetsova G.D., Zubovsky G.A., Kazakova P.B., Buklina S.B. (1996) Remote consequences of radiation exposure upon the nervous system. *Zh Nevropatol Psikhiatr Im S S Korsakova*, 96 (5): 29–33.
- Khomenko L.O., Bidenko N.V., Shapovalova G.I. (2001) Teeth status in children from radionuclide contaminated areas. *International Journal of Radiation Medicine*, 3 (1-2) p.57
- Khomich G.E., Lysenko Yu.V. (2002) Blood vessels' reographic characters of legs after change of space position at girls with increasing vessel tonus and living in the radioactive polluted zone. *Brest State Univ., Brest*, 6 p. (in Russian).
- Khomskaja E.D. (1995) Some results of neuropsychological study of Chernobyl accident consequences clean-up workers. *Social and Clinical Psychiatry*, 5 (4): 6–10 (in Russian).
- Khrisanfov, S.A. & Meskikh, N.E. (2001) Analysis of Morbidity and Mortality Rates of Liquidators, According to the Findings of the Russian Interdepartmental Expert Panel. *Deferred Medical Effects of the Chernobyl Accident. Works of 2nd Scientific Regional Conference. Moscow, 2001. P.85-92.*
- Khrisanfov S.A. & Meskikh N.E. (2004) Analysis of the causes of the deaths of liquidators of the Chernobyl disaster aftermaths. Book "Health status of liquidators of the Chernobyl NPP disaster aftermaths in the longterm period". *Works of 3rd Scientific-Practical Conference. Moscow. 2004, p. 188-194.*
- Khrushch V.T., Gavrilin Y.I., Constantinov Y.O. et al. (1988) The characteristic of the inhalatory entry of the radionuclides. *The medical aspects of the accident on the ChNPP - Kiev., 1988. - p. 76-87. (in Russian)*
- Khvorostenko E. (1999) Emphasis placed on environmental problems // *Tula. November 28th, 2001 N° 221.*
- Kimeldorf D.J., Hunt E.L. (1965) *Ionizing radiation: neural function and behavior.* New York, Academic Press.
- Kolominsky Y, Igumnov S., Drozdovitch V. (1999) The psychological development of children from Belarus exposed in the prenatal period to radiation from the Chernobyl Atomic Power Plant. *J Child Psychol Psychiatry*, 40 (2): 299–305.
- Komarenko D.I., Soboleva L.P., Maslekha E.A. (1995) Hepatobiliary system. In: Bar'yakhtar V.G. (Ed.) *The Chernobyl accident.* Kiev, "Naukova Dumka" Publishing House, pp. 469-471.
- Komogortseva L.K. (2001) Report for Bryansk Duma . prepared by representative L. K. Komogortseva on base of data from Bryansk Committee of Public Health and Bryansk Statistical Bureau. January 31, 2001, MS, 4 p. (in Russian).
- Kondratenko G.G. 1998. Dynamics of ulcerative gastroduodenal haemorrhage incidence after the Chernobyl accident. *Review of the Byelorussian National Academy of Sciences, Series of Biological Sciences, No 3, pp. 111-114.*

- Korol N., Treskunova T., Usatenko G., Maziyi R. (2001) Epidemiological investigation of digestive system disorders among children exposed to the Chernobyl disaster. *International Journal of Radiation Medicine*, 3 (1-2) p.64-65
- Korol N.A., Treskunova T.V., Duchota T.A. (1999) Children health status affected by accident on CNPP in: Medical consequences of the Chernobyl Accident, Monograph in 3 books."MEDECOL" interdisciplinary Scientific and Research Centre BIO-ECOS, Kiev, 1999, Book 1, -p. 120-134. (in Russian).
- Korr H., Thorsten Rohde H., Benders J., Dafotakis M., Grolms N., Schmitz C. (2001) Neuron loss during early adulthood following prenatal low-dose X-irradiation in the mouse brain. *Int. J. Radiat. Biol.* 77 (5): 567–580.
- Kovalenko A.N. (1988) Post-radiation endocrinopathy in participants of liquidation of consequences of the Chernobyl APS.-K.: " Ivan Fyodorov ", 1988.181 p.
- Kovalenko A.N., Loganovsky K.N. (2001): Whether Chronic Fatigue Syndrome and Metabolic Syndrome X in Chernobyl accident survivors are membrane pathology? *Ukrainian Medical Journal*, 6(26): 70–81 (in Russian).
- Kozlova I.A., Nyagu A.I., Korolev V.D. (1999). The influence of radiation of the child mental development. *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova* 99(8):12–15 (Article in Russian).
- Krasnov V.N., Yurkin M.M., Vojtsekh V.F., Skavysh V.A., Gorobets LN, Zubovsky GA, Smirnov Yu.N., Kholodova N.B., Puchinskaja L.M., Dudayeva K.I. (1993) Mental disorders in clean-up workers of the Chernobyl accident consequences. Report I: structure and current pathogenesis. *Social and Clinical Psychiatry*, 3 (1): 5–10 (in Russian)
- Kulakov V.I., Sokur T.N., Tsybul'skaya I.S., Dolzhenko I.S., Volobuyev A.I., Malysheva V.A., Suskov I.I. (2001) Chernobyl and health of the future generations. In collected articles "Chernobyl: duty and courage", Vol. 1 (<http://www.iss.niit.ru/book-4>)
- Kulakov, V.I., Sokur, T.N., Tsybul'skaya, I.S., Dolzhenko, I.S., Volobuyev, A.I., Malysheva, V.A. & Suskov, I.I. (2001) CHERNOBYL AND HEALTH OF THE FUTURE GENERATIONS. In collected articles, Chernobyl: duty and courage, Vol. 1. Publ: Federal State Unitary Enterprise Institute of Strategic Stability, Russian Ministry of Atomic Energy (Minatom). Available at <http://www.iss.niit.ru/book-4> (In Russian)
- Kurbanova V.E. (1998) Epidemiological aspect of radiating influence: non-cancer morbidity of children suffered after Chernobyl accident. - Kiev: -1998.-142 p
- Kurbanova V.E. (1998) Epidemiological aspect of radiating influence: non-cancer morbidity of children suffered after Chernobyl accident. - Kiev: -1998.-142 p
- Kusunoki Y., Kyoizumi S., Yamaoka M., Kasagi F., Kodama K., Seyama T. (1999) Decreased proportion of CD4 T cells in the blood of atomic bomb survivors with myocardial infarction. *Radiat Res* 152 (5): 539–543.
- Kutko I.I., Rachkauskas G.S., Safonova E.F. Pusovaya O.A.Mutyshko M.V. Romashko A.M. (1996) Clinical immunological characteristics of liquidators (LPA) at the Chernobyl NPP (ChAES) accident with associated neuro-psychological pathology . In the book Kut'ko I.I. Petruk P.T. history of Saburov Dacha: Successes of psychiatry, neurology, neurosurgery and psychiatry. Collection of scientific works of Ukrainian Scientific Research Institute of clinical and experimental neurology and psychiatry and Kharkov City clinical hospital N° 15 (Saburova Dacha). Kharkov. Volume 3, p.p. 255-257.
- Kutkov V.A. (1998) The radionuclide pollution of the air as a result of the ChNPP accident and the irradiation of the lungs. In: Chuchalin A.G., Chernyaev A.L., Vuazen K. (ed) The pathology of organs of the ChNPP. - Moscow.: "GRANT" 1998. p. 10-43. (in Russian)
- Kyra E.F., Tsvelev Yu.V., Greben'kov S.V., Gubin V., Chernichenko I.I. (2003) Woman reproductive health in the radioactive polluted territories. *Military-Medical J.*, vol. 324, _ 4, pp. 13 – 16 (in Russian).
- Kyrylchek E.Yu. (2000) Characters of immune status and immune-rehabilitation of children on the radionuclides' polluted territories (clinic-laboratory investigation, 1996-1999). Thesis, Dr. Med., Minsk State Med. Inst., Minsk, 21 p. (in Russian).

- Lavdovskaya M.V., Lysenko A.Ya., Basova E.N., Lozovaya G.A., Balaeva L.S. & Rybalkina T.N. (1996) The “host-opportunistic protozoa” system. Effect of ionizing radiation on incidence of cryptosporidiosis and pneumocystosis. *Parasitology* 2: 153-157
- Lazjuk G., Satow Y., Nikolaev D., Novikova I. (1999b) Genetic Consequences of the Chernobyl accident for Belarus Republic. In: Imanaka T. (Ed.) *Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia*. Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-7), pp. 174 - 177.
- Lazjuk G.I., Naumchik I.V., Rummyantseva N.V., Polytyko A.D., Khmel' R.D., Egorova T.M., Kravchuk Zh.P., Verje P., Robert V., Satov Yu. (2001) Main results of studied of genetical consequences of the Chernobyl' accident at Belarus population. 3rd Intern. Conf. “Medical consequences the Chernobyl accident: results of 15-years investigations. 4-8 June 2001, Kiev, Ukraine”. Abstracts, pp. 221 – 222 (in Russian).
- Lazjuk G.I., Nikolaev D.L., Novikova I.V., Polityco A.D., Khmel R.D. (1999a) Belarusian population radiation exposure after Chernobyl accident and congenital malformations dynamics. *Int. J. Rad. Med.* # 1, pp. 63-70.
- Lazutka J.R. (1995) Chromosome Aberrations and Rogue Cells in Lymphocytes of Chernobyl Clean-up Workers. *Mutat.Res.* 1996, V.350, P. 315-329.
- Lazyuk G.I., Kirillova I.A., Nikolaev D.L. et al. (1994). Dynamics of hereditary pathology in Belarus and the Chernobyl accident. *The Chernobyl accident: Medical aspects: Collected transactions*. Minsk, pp. 167 - 183.
- Lebedinsky A.V., Nakhilnitzkaja Z.N. (1960) Ionizing radiation influence on the nervous system. Moscow, Publishing House Atomizdat (in Russian).
- Lemoine J. (1956) Pathologic bronchique. *Etudes cliniques et endoscopiques* - Paris: Doin, 1956. - 216p.
- Lenskaya R.V., Zubrikhina G.N., Tarasova I.S., Buyankin V.M., Kaznacheev K.S. 1999. Clinical and immunological characteristics of children permanently living on radionuclide-contaminated territories, depending on the dose of internal irradiation. *Haematology and Transfusiology*. Vol. 44, No 2, pp. 34-37.
- Leonova T.A. (2001). Functional state of reproductive system among girls of pubertal age with autoimmune thyroiditis. In: *Theses of reports of 3d International conference “Medical consequences of Chernobyl Catastrophe: Outcomes of 15-years studies.”* June 4-8, Kiev, Ukraine, p. 224.
- Lipnik B. (2004) The Earth and Radiation: reality terrifyer than numbers.. (<http://www.pravda.ru/science/planet/environment/47214-0>)
- Lisiany N.I. & Ljubich L.D. (2001) Role of the neuro-immune reactions for development of the post-radiation encephalopathy after low dose impact. 3rd Inter. Conf. “Medical consequences of the Chernobyl catastrophe: results of 15-years investigations, 4-8 June 2001, Kiev, Ukraine.” Abstracts, Kiev, p. 225 (in Russian).
- Litcher L, Bromet EJ, Carlson G, Squires N, Goldgaber D, Panina N, Golovakha E, Gluzman S. (2000). School and neuropsychological performance of evacuated children in Kiev eleven years after the Chernobyl disaster. *J Child Psychol Psychiatry*, 41, 219-299
- Lloyd D. & Sevankaev A. (1996) Biological dosimetry for persons irradiated by the Chernobyl accident.- International scientific collaboration on the consequences of the Chernobyl accident (1991-1995). Final report .-EUR 16532EN. Luxembourg :Official Publications of the European Communities.- 1996- 83 pp.
- Loganovskaja T.K. (2004) Psychophysiological pattern of acute prenatal exposure to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident. *International Journal of Psychophysiology*, 54 (1–2): 95–96.
- Loganovskaja T.K. (2005) Mental disorders in children exposed to prenatal irradiation as a result of the Chernobyl accident. The dissertation for the academic degree of a Candidate of Medical Sciences in radiobiology. Scientific Centre for Radiation Medicine of Academy of Medical Sciences of Ukraine. Kiev.
- Loganovskaja T.K., Loganovsky K.N. (1999) EEG, cognitive and psychopathological abnormalities in children irradiated in utero. *Int J Psychophysiol* 34 (3): 213–224.

- Loganovskaja T.K., Nechayev S.Yu.(2004): Psychophysiological effects in prenatally exposed children and adolescents as a result of the Chernobyl accident. *World of Medicine*, 4 (1): 130–137 (Article in Ukrainian)
- Loganovsky K., Bomko M., Antypchuk Ye. (2005b) Neuropsychiatric radiation effects: lessons from Chernobyl accident. Accepted Abstract XIII World Congress of Psychiatry Cairo, September 10-15, 2005 Egypt.
- Loganovsky K.N. 1999. Clinic- epidemiological aspects psychiatric consequences of the Chernobyl catastrophe. *Social and clinical psychiatry*, vol. 9, # 1, pp. 5 – 17 (in Russian).
- Loganovsky K.N. (1999) Clinical-Epidemiological aspects of psychiatric consequences of the Chernobyl disaster. *Social and Clinical Psychiatry*, 1(9):5–17 (in Russian).
- Loganovsky K.N. (2000a) Neurological and psychopathological syndromes in the follow-up period after exposure to ionizing radiation. *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova*. 100(4):15-21 (in Russian)
- Loganovsky K.N. (2000b) Vegetative-vascular dystonia and osteoalgetic syndrome or Chronic Fatigue Syndrome as a characteristic after-effect of radioecological disaster: the Chernobyl accident experience. *Journal of Chronic Fatigue Syndrome*, 7(3): 3–16.
- Loganovsky K.N. (2002) Mental disorders at exposure to ionising radiation as a result of the Chernobyl accident: neurophysiological mechanisms, unified clinical diagnostics, treatment. The dissertation for the academic degree of a Doctor of Medical Sciences in radiobiology (03.00.01) and psychiatry (14.01.16). Scientific Centre for Radiation Medicine of Academy of Medical Sciences of Ukraine. Kiev.
- Loganovsky K.N. (2003) Psychophysiological features of somatosensory disorders in victims of the Chernobyl accident. *Fiziol Cheloveka* 29(1): 122–130
- Loganovsky K.N., Bomko M.A., Antipchuk Ye.Yu, Denisyuk N.V., Zdorenko L.L., Rossokha AP, Chorny A.I., Drozdova N.V., Yukhimenko Ye.N., Kravchenko V.I., Vasilenko Z.L. (2004b) Postradiation brain damage in remote period of the Chernobyl accident. *International Journal of Psychophysiology* 54 (1–2): 149.
- Loganovsky K.N., Bomko M.O. (2004) Structural-functional pattern of radiation brain damage in Chernobyl accident clean-up workers. *Ukrainian Medical Journal*, 5 (43): 67–74 (in Ukrainian).
- Loganovsky K.N., Kovalenko A.N, Yuryev K.L., Bomko M.A., Antipchuk YeYu, Denisyuk NV, Zdorenko L.L. Rossokha A.P., Chorny A.B., Dubrovina G.V. (2003) Verification of organic brain damage in remote period of Acute Radiation Sickness. *Ukrainian Medical Journal*, 6(38): 70–78 (in Ukrainian).
- Loganovsky K.N., Loganovskaja T.K. (2000) Schizophrenia spectrum disorders in persons exposed to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident. *Schizophr Bull* 26:751-773
- Loganovsky K.N, Nyagu A.I., Loganovskaja T.K. (1999) Chronic fatigue syndrome — a possible effect of low and very low doses of ionizing radiation. In: Abstracts of the International Conference «The effects of low and very low doses of ionizing radiation on human health», June 16–18, 1999, Versal, France. Versal: University of Versailles/St.Quentin-en-Yvelines, World Council of Nuclear Workers (WONUC), p 14.
- Loganovsky K.N., Volovik S.V., Flor-Henry P., Manton K.G., Bazyka D.A. (2004a) Ionizing radiation as a risk factor for schizophrenia spectrum disorders. *International Journal of Psychophysiology*, 54 (1–2): 106.
- Loganovsky K.N., Volovik S.V., Manton K.G., Bazyka D.A., Flor-Henry P. (2005a) Whether ionizing radiation is a risk factor for schizophrenia spectrum disorders? *World Journal of Biological Psychiatry*, 6(4): 212-230
- Loganovsky K.N., Yuryev K.L. (2001) EEG patterns in persons exposed to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident: part 1: conventional EEG analysis. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci* 13 (4): 441–458.
- Loganovsky K.N., Yuryev K.L. (2004) EEG patterns in persons exposed to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident. Part 2: quantitative EEG analysis in patients who had acute radiation sickness. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci* 16 (1): 70–82.
- Loganovsky K.N., Zdorenko LL (2004) Intelligence deterioration following acute radiation sickness. *International Journal of Psychophysiology*, 54 (1–2): 95.

- Loganovsky, K.N. & Nyagu, A.I. (1997) in Low doses of ionizing radiation: biological effects and regulatory control. Contributed papers of International Conference, Seville (IAEA-TECDOC-976, IAEA, WHO, UNSCEAR. Vienna: IAEA, 1997), p. 26
- Lukianova E., Antipkin Yu., Arabska L. (2003) Formation of osseous system at children under present conditions of environmental changes after Chernobyl accident - " Ecological Bulletin " Special Release of the Journal, 2003, p. 272-280.
- Lukomsky I.V., Protas R.N., Alexeenko Yu.V. 1993. Peculiarity of the neurological diseases of the adult population in the zone of the tight radiation control. "Impact of radionuclides' pollution on public health: clinical-experimental study". Collection of Sci. papers, Vitebsk State Med. Institute , Vitebsk, pp. 90-92 (in Russian).
- Lukyanova E.M., Antipkin Y.G., Arabskaya L.P., Zadorozhna T.D., Dashkevych V.E., Povoroznyuk V.V. (2005). Chernobyl accident: the state of osseous system in children during the ante- and postnatal period of life// Monograph, Kyiv: Chernobylinterinform, 480 pp.
- Lukyanova E.M. (Ed) (2003) Chernobyl disaster.The state of health of women and children. Moscow. Znaniye- M", 276 p.
- Lutska IX., Chukhrai I.G., Urinok E.V. (2001) Chernobyl aspects of stomatologic status of the children of the republic of Belarus . International Journal of Radiation Medicine, 3 (1-2) p.78-79
- Lysyanyj MI (1998) Current view on radiation effects on the nervous system. Bulletin of Ukrainian Association of Neurosurgeons, 7: 113–118 (en ukrainien).
- Malenchenko A.F., Golubenko A.M. (1990) The biomedical aspects of the "hot" particles. Public health of Belarus. –V. 6. - p.41-45. (in Russian)
- Manak N.A., Rusetskaya V.G., Lazjuk D.G. (1996) Analysis of blood circulatory illnesses of Belarus population .Medical-biological aspects of the Chernobyl accident. N° 1, pp. 24 – 29 (in Russian).
- Martsynkevych, O.O. (1998) The neurological and radiometric indices of those who worked in the cleanup who live on the territory of Chernigov Province. Lik Sprava 1998; N°4: 16-18.
- Matsko V.P. (1999) Current State of Epidemiological Studies in Belarus about Chernobyl Sufferers. In: Imanaka T. (Ed.). Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accadent in Belarus, Ukraine and Russia. Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-79), Kyoto, pp. 127-138.
- Matveev V.A. (1993) Activity of cytomegalovirus infection in pregnant women as an index of herd immunity in the radionuclide-contaminated regions resulting from the Chernobyl accident. Effect of environmental contamination with radionuclides on the population health: A clinical and experimental study: Collected transactions of the Vitebsk State Medical Institute, Vitebsk, pp. 97 - 100.
- Matveev V.A., Voropaev E.V., Kolomiets N.D. (1995) Role of the herpes virus infections in the infant mortality of Gomel territories with different density of radionuclides pollution. Actual problems of immunology and allergology. III Congress Belarus. Sci. Soc. Immun., Allegol. Grodno, Abstracts, p. 90 (in Russian).
- Maznik N.A. (1999) Cytogenetic effects serving as the biological indicator of radiation of liquidators of consequences of Chernobyl accident // Ukr. Radiol.. N° 3. pp. 337-338.
- Maznik N.A. (2004) Findings of a dynamic cytogenetic follow-up examination and biological dosimetry in the evacuees from the 30-km zone of the Chernobyl atomic power plant. Radiation biology and radioecology, 44, No 5, pp. 566 - 573.
- Maznik N.A., Vinnikov V.A., Maznik V.S. (2003) Assessing distribution of individual doses of irradiation in the Chernobyl accident rescuers, based on the findings of a cytogenetic analysis. Radiation biology. Radioecology., Vol. 43, No 4, pp. 412 - 419.
- Maznik N.A., Vinnikov V.A. (2002) Level of chromosomal aberrations in peripheral blood lymphocytes at evacuees and living in the radioactive polluted territories after the Chernobyl accident. Rad. Biol., Radioecol., vol. 42, N° 6, pp. 704-710 (in Russian).
- Maznyk N.A. (2005) Cytogenetic effects as a biological indicator of low doses of ionizing radiation health effects in the early and later periods after radiation exposure in persons of Chornobyl contingent: Thesis Autoabstract of Doctor of Biological Sciences. – Kyiv, 2005. – 46p.
- McGale P., Darby S.C. (2005) Low doses of ionizing radiation and circulatory diseases: a systematic review of the published epidemiological evidence. Radiat Res. 163(3): 247-57.

- McGrath J., Saha S., Welham J., El Saadi Ossama, MacCauley C., Chant D. (2004) A systematic review of the incidence of schizophrenia: the distribution of rates and the influence of sex, urbanicity, migrant status and methodology. *BMC Medicine*, 2:13 (<http://www.biomedcentral.com/1741-7015/2/13>)
- Meskikh (2001) Deferred Medical Effects of the Chernobyl Accident. Works of 2nd Scientific Regional Conference. Moscow, 2001. P.85-92.
- Metelskaya M.A. (2001) Health status of teenagers, exposed to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident. *International Journal of Radiation Medicine*, 3 (1-2) p.86-87
- Mettler F.A., Upton A.C. (Eds.) (1995) Medical effects of ionizing radiation. 2nd ed. Saunders W. B. Company, Philadelphia.
- Mezhzherin V.A. (1996) Civilization and Noosphaera. Book 1. Kiev, 144 p. (in Russian).
- Mickley G.A. (1987) Psychological effects of nuclear warfare, in: Conklin JJ, Walker RI, editors. *Military radiobiology*. San Diego: Academic Press, Inc., pp 303–319.
- Mikhalevich L.S. (1999) Monitoring of Cytogenetic Damages in Peripheral Lymphocytes of Children Living in Radiocontaminated Areas of Belarus/ In: Imanaka T. (Ed.). pp. 178 - 188.
- Miksha Ya.S. & Danylov I.P. (1997) Consequences of the chronic impact by ionizing irradiation on the haemopoiesis in Gomel area. *Public Health*, N° 4. pp. 19 – 20 (in Russian).
- Morozov A.M., Kryzhanovskaja L.A. (1998) Clinic, dynamic and treatment of borderline mental disorders in liquidators of Chernobyl accident. Kiev, Publishing House Chernobylinterinform (in Russian).
- Naboka M.V. (2003) The comparative analysis of risk morbidity of children, living in territory with different landscape-geochemical conditions and levels of radioactive pollution.- In: " Ecological Bulletin " Special Release of the Journal, 2003, p. 609-619.
- Naboka M.V., Shestopalov V.M., Gulak L.O., Fedorenko Z.P., Bobilova OA., Burlak G.F. (2001) Comparative analysis of morbidity parameters of children population of Kiev region regarding diseases of breathing system and cancer in radioecological risk zones - In: *International Journal of Radiation Medicine*, 3 (1-2) p.90-91
- Nakane Y, Ohta Y (1986) An example from the Japanese Register: some long-term consequences of the A-bomb for its survivors in Nagasaki. In: Ten Horn GHMM, Giel R, Gulbinat WH, Henderson JH (eds) *Psychiatric Case Registers in Public Health*. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp 26–27.
- Napreyenko A., Loganovsky K. (2001a) Psychiatric management of radioecological disaster victims and local wars veterans. *New Trends in Experimental and Clinical Psychiatry*, XVII (1–4): P. 43–48.
- Napreyenko A.K., Loganovskaja T.K. (2004) Mental disorders in prenatally irradiated children and adolescents as a result of the Chernobyl accident: diagnostic system, treatment and rehabilitation. *World of Medicine*, 4 (1): 120–129 (Article in Ukrainian).
- Napreyenko A.K., Loganovsky K.N. (1995) The systematics of mental disorders related to the sequelae of the accident at the Chernobyl Atomic Electric Power Station *Lik Sprava*, 5-6:25–29 (in Russian).
- Napreyenko A.K., Loganovsky K.N. (1997) *Ecological psychiatry*, Kiev Polygraphkniga Publishing House (in Russian).
- Napreyenko A.K. Loganovsky K.N. (1999) Current problems of emergency psychiatry at the radioecological disaster. In: *Emergency psychiatry in a changing world* Ed. by M. De Clercq, A. Andreoli, S. Lamarre, P. Forster. Amsterdam: Elsevier Science B.V., pp 199–202.
- Napreyenko A.K., Loganovsky K.N (2001b) *Ecological psychiatry*. In: *Psychiatry*, edited by Napreyenko AK, Kyiv: Zdorovja, Publishing House, pp 417–461 (in Ukrainian).
- Nedvechkaya V.V., Lialykov S.A. (1994) Cardio-interval-graphical investigation of the nervous system at children from the radioactive polluted territories. *Belarusian Public Health*, N°2, pp. 30-33 (in Russian).
- Nesterenko V.B. (1996) Scale and consequences of the Chernobyl' accident for Belarus, Ukraine and Russia. Minsk, «The Right and Economics» Publ., 72 p.(in Russian).
- Nesterenko V.B., Yakovlev V.A., Nazarov A.G. (Eds.). (1993) Chernobyl accident. Reasons and consequences (Expert conclusion). Part 4. Consequences for Ukraine and Russia. Minsk, "Test" Publ., 243 p. (in Russian).
- Nijenhuis M.A.J., van Oostrom I.E.A, Sharshakova T.M., Pauka H.T., Havenaar J.M., Bootsma P.A. (1995). *Belarusian-Dutch Humanitarian Aid Project: "Gomel Project."* Bilthoven, National Institute for Public Health and Environmental Protection

- Noshchenko A.G., Loganovskii K.N. (1994) The functional brain characteristics of people working within the 30-kilometer area of the Chernobyl Atomic Electric Power Station from the viewpoint of age-related changes. *Lik Sprava*, 2: 16–19 (in Russian).
- Nyagu A., Loganovsky K., Loganovskaja T., Antipchuk Ye (1996a) The WHO Project on «Brain Damage in utero»: mental health and psychophysiological status of the Ukrainian prenatally irradiated children as a result of the Chernobyl accident. In: *Bambino: Progetto Salute. Proc. of Int. Meeting on prenatal, perinatal and neonatal neurological damages: preventive and therapeutic approach*, Ancona, Italy, June 12-13 1996, pp 34–58.
- Nyagu A.I. & K.N. Loganovsky. (1998) The neuro-psychiatric effects of ionizing radiation. *Chernobyl-interinform*. Kiev.1998. 350 p.
- Nyagu A.I. (1991) Psycho-neurological and psychological aspects of consequences of the accident at the Chernobyl atomic power station // *Bulletin AMS of the USSR*. N° 11. - p.31-32.
- Nyagu A.I. (1993) Clinical peculiarities of dys-circulatory encephalopathies in participants of liquidation of consequences of the accident at the Chernobyl atomic power station // *Social-psychological and psychoneurological aspects of consequences of the accident at the Chernobyl atomic power station: Materials of scientific conference of the CIS countries with the international participation*. - Kiev, 1993. - p.263-264.
- Nyagu A.I. (1994) Medical consequences of the Chernobyl accident in Ukraine. - Kiev- Chernobyl: NPO “Pripyat”,. - 35 p.
- Nyagu A.I (1995) Actual and predicted disorders of mental health after nuclear catastrophe in Chernobyl: Materials of the International Conference / Ed. by A.I. Nyagu - Kiev, 1995. – 347p.
- Nyagu A.I. (1995) Vegetative dystonia. In the book: *Chernobyl accident*. Edited by Academician V.G.Barjahtar. - Kiev: Naukova dumka, 1995. - pp. 477-480.
- Nyagu A.I. (1999) The neuro-psychiatric consequences. In book: *Medical consequences of the accident at the Chernobyl atomic power station. Volume 3. Clinical aspects*. Ed. by Bebeshko V.G. and Kovalenko A.N. MEDEKOL MNITs bio-ecos P. 154-186.
- Nyagu A.I., Loganovsky K.N., Loganovskaja T.K.et al, (2002) in *KURRI-KR-79. — Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia* edited by T. Imanaka. (Kyoto: Research Reactor Institute, Kyoto University 2002), p. 201.
- Nyagu A.I., Khalyavka I.G., Loganovski K.N., Plachinda J.I., Jurev K.L., Loganovskaya T.K. (1996) Psychoneurological characteristic of those who have undergone an acute radiation disease // *The Problems of the Chernobyl Zone of alienation*.-. – Issue 3. - p. 175-190.
- Nyagu A.I., Loganovsky K.N., Nechaev S.Yu., Pott-Born R., Repin V.S., Antipchuk E.Yu., Bomko M.A., Yurryev K.L., Petrova I.V, (2004) Effects of prenatal brain irradiation as a result of Chernobyl accident. *Int. J. Radiat. Med.* 6: 1-4 2002) *International Journal of Radiation Medicine*, 4 (1-4) p.279-288
- Nyagu A.I., Zazimko R.N. (1995) The state of vegetative regulation of cardiovascular system of those with a syndrome of vegetative dystonia, subjected to influence of ionizing radiation as a result of ChAPS accident // *Journal of neuropathol. and psychiatry in the name of S.S.Korsakov*. _ 4.-p.32-35.
- Nyagu A.I., Cheban A.K., Salamatov V.A., Limanskaja G.F., Yazchenko A.G. Zvonaryeva GN, Yakimenko GD, Melina KV, Plachinda YuI, Chumak AA, Bazyka DA, Gulko GM, Chumak VV, Volodina IA (1993) Psychosomatic health of children irradiated in utero as a result of the Chernobyl accident. In: (Ed.) Nyagu AI. *Proceedings of the International Conference «Social, Psychological, and Psychoneurological Aspects of Chernobyl NPP Accident Consequences»*, Kiev, September 28-30 1992. Kiev: Association «Physicians of Chernobyl», Ukrainian Scientific Centre for Radiation Medicine, pp. 265–270 (in Russian)
- Nyagu A.I., Loganovsky K.N. (1998) Neuropsychiatric effects of ionizing radiation. Publ: *Chernobylinterinform*, Kiev (in Russian).
- Nyagu A.I., Loganovsky K.N., Cheban A.K., Podkorytov V.S., Plachinda YuI, Yuriev KL, Antipchuk YeYu, Loganovskaja TK (1996b) Mental health of prenatally irradiated children: a psychophysiological study. *Social and Clinical Psychiatry* 6 (1): 23–36 (in Russian).

- Nyagu A.I., Loganovsky K.N., Chuprovskaya NYu, Kostychenko VG, Vaschenko EA, Yuryev KL, Zazymko RN, Loganovskaya TK, Myschznchuk NS (2003): Nervous system. In: Vozianov A, Bebeshko V, Bazyka D, editors. Health Effects of Chernobyl Accident. Kiev: DIA, pp 143–176.
- Nyagu A.I., Loganovsky K.N., Loganovskaja TK, Repin VS, Nechayev SYu (2002a) Intelligence and brain damage in children acutely irradiated in utero as a result of the Chernobyl accident. In: Imanaka T, editor. KURRI-KR-79. Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia. Kyoto: Research Reactor Institute, Kyoto University, pp 202–230.
- Nyagu A.I., Loganovsky K.N., Loganovskaja TK. (1998) Psychophysiological aftereffects of prenatal irradiation. *Int J Psychophysiol*, 30: 303-311
- Nyagu A.I., Loganovsky K.N., Nechayev SYu, Repin VS, Antipchuk YeYu, Loganovskaya TK, Bomko MA, Yuryev KL, Petrova IV, Pott-Born R (2004a) Potential effects of prenatal brain irradiation as a result of the Chernobyl accident in Ukraine. In: Abstracts of International Workshop on «The French-German Initiative Results and their Implication for Man and Environment», Kiev, October 5–6 2004, p. 38.
- Nyagu A.I., Loganovsky K.N., Pott-Born R, Nechayev SYu, Repin VS, Antipchuk YeYu, Loganovskaya TK, Bomko MA, Yuryev KL, Petrova IV (2004b) Franco-German Initiative for Chernobyl, Project N°3 «Health Effects on the Chernobyl Accident», Sub-Project No 3.4.1: «Potential Effects of Prenatal Irradiation on the Brain as a Result of the Chernobyl Accident (Ukraine)», Final Report.
- Nyagu A.I., Loganovsky K.N., Pott-Born R, Repin VS, Nechayev SYu, Antipchuk YeYu, Bomko MA, Yuryev KL, Petrova IV (2004c) Effects of prenatal brain irradiation as a result of the Chernobyl accident. *International Journal of Radiation Medicine*, 6 (1–4): 91–107.
- Nyagu A.I., Loganovsky K.N., Yuryev KL (2002b) Psychological consequences of nuclear and radiological accidents: delayed neuropsychiatric effects of the acute radiation sickness following Chernobyl. In: Followup of delayed health consequences of acute accidental radiation exposure. Lessons to be learned from their medical management. IAEA-TECDOC-1300, IAEA, WHO. Vienna: IAEA, P. 27–47
- Nyagu A.I., Loganovsky K.N., Yuryev KL, Zdorenko LL (1999) Psychophysiological aftermath of irradiation. *International Journal of Radiation Medicine* 2 (2): 3–24.
- Nyagu A.I., Noshchenko A.G., Loganovskii KN (1992) Late effects of psychogenic and radiation factors of the accident at the Chernobyl nuclear power plant on the functional state of human brain *Zh Nevropatol Psikhiatr Im S S Korsakova*, 92 (4): 72–77 (in Russian).
- Nyagu A.I. (1995) Actual and predicted disorders of mental health after nuclear catastrophe in Chernobyl: Materials of the International Conference / Ed. by A.I.Nyagu - Kiev, 1995. – 347p.
- Nyagu, A.I., Khalyavka I, Loganovsky K, Plachinda Yu, Yuriev K, Loganovskaja T. (1996c) Psychoneurological characterization of persons who had acute radiation sickness. *Problems of Chernobyl Exclusion Zone*, 3: 175–190 (in Russian).
- Oradovskaya I.V., Feoktistov V.V., I.A. Leyko I.A., Vikulov G.Kh., V.V. Nekrylova V.V., Shuvatova E.V., Yudin A.A., Skrypkina L.E.. (2005) Epidemiological analysis of the frequency of occurrence of the clinical implications of immunodeficiency, quantitative distribution and structure of the main immunopathological syndromes in the groups of liquidators of the Chernobyl disaster aftermaths from various regions of Russia. // *Physiology and pathology of the immune system*, – 2005 – #4 – p.12-35
- Oradovskaya I.V., Leyko I.A., Opryschenko M.A.. (2001) Analysis of the results of the immunological monitoring and disease incidence of the contingent of persons, who took part in the removal of the aftermaths of the disaster at the Chernobyl Nuclear Power Plant (NPP) in the long-term period. Results of the long-term monitoring // *Collection of scientific papers on the problem of negotiation of the Chernobyl disaster consequences*, Moscow. 2001 –p. 73-96.
- Oradovskaya I.V. (2004) Analysis of the health status of liquidators of the Chernobyl NPP disaster aftermaths in the long-term period as per results of the 17-years monitoring,– *Physiology and pathology of the immune system*, – 2004 – #4 – p. 8-23
- Otake M., Schull WJ (1984) In utero exposure to A-bomb radiation and mental retardation: A reassessment. *British Journal of Radiology* 57: 409–414.
- Otake M., Schull WJ (1998) Radiation-related brain damage and growth retardation among the prenatally exposed atomic bomb survivors. *International Journal of Radiation Biology*, 74 (2), 159–171.

- Otake M., Schull WJ, Lee S (1996) Threshold for radiation-related severe mental retardation in prenatally exposed A-bomb survivors: a re-analysis. *International Journal of Radiation Biology*, 70 (6), 755–763.
- Paramey V.T., Saley M.Ya., Madekin A.S., Otlivanchik I.A. (1993) Lens condition at people living in the radionuclides polluted territories.
- Paramonova N.S., Nedvetskaya V.V. (1993) Physical and sexual development indices of children under longterm impact of low doses irradiation. In: “Chernobyl catastrophe: diagnostics and medical-psychological rehabilitation of suffers”, Collection of Conf. Materials, Minsk, pp. 62—64 (in Russian).
- Pedan L.R. & Pilinskaya, M.A. (2004) Evaluation of stability of peripheral blood lymphoid cell chromosomes in the persons suffered from influence of Chornobyl accident with the help of testing mutagenic pressure in vitro.// Reports of National Academy of Sciences of Ukraine. 12: 175 - 179.
- Pelevina I.I., Afanasiev G.G., Gotlib V.Ya., Serebryanyi A. (1996) Cytogenetical changes in peripheral blood at people living in the Chernobyl’ polluted areas. In: E.B. Burlakova (Ed.). Consequences of the Chernobyl accident. Public health. Moscow, Center for Russian Ecological Policy, pp. 229 – 244 (in Russian).
- Pilinskaya M.A., Dibsky S.A., Dibska O.B., Pedan L.R. (2003a) Cytogenic study of liquidators of the Chernobyl NPP accident with the conventional cytogenic analysis and the method of Fluorescent in Situ Hybridization (FISH). Report Nat. Sci. Acad. Ukr. 9(3): 465-475 (in Ukrainian)
- Pilinskaya M.A., Shemetun A.M., Dybski S.S., Dybskaya E.B., et al. (2001) Results of 14-year cytogenetic monitoring of the priority observation groups victims of the impact of factors of the accident at the Chernobyl atomic power station / // the Bulletin of the Russian Academy of medical sciences., Medicine. –N° 10. p.80-84.
- Pilinskaya, M. et al (1994) Cytogenetic Monitoring of the People Affected by the Accident at the Chernobyl NPP, *Tsitologiya i genetika*, 1994, 28(3): 18-25 (in Russian).
- Pilinskaya, M.A., A.M.Shemetun, A.U.Bondar, S.S. Dybski. (1991) Cytogenetic effect in somatic cells of persons exposed to radiation due to Chernobyl NPP accident. *Vestnik Acad. of Med. Science*, 1991, N8, pp. 40-43 (in Russian).
- Pilinskaya, M.A., Dybski S.S., Shemetun A.M. (1999) Use of traditional and new genetic study methods of human somatic cells for evaluation of mutation-genetic action of ionizing radiation over participants in the liquidation of consequences of the accident at the Chernobyl atomic power station // Medical consequences of failure at Chernobyl nuclear station. Radiobiological aspects of Chernobyl accident / Ed. By M.I.Rudnev, P.P.Chayalo.: "MEDECOL" MNITs bio-ecos, 1999. Book. 3. pp. 87-99.
- Pilinskaya, M.A., S.S. Dybs’ky, O.B.Dybs’ka, L.R. Pedan (2005) Revealing chromosome irregularity in offspring of parents radiation-exposed due to Chornobyl disaster with the help of long-term lymphoid cells cultivation in a peripheral blood// *Cytology and Genetics.*- V. 39, N° 4.- P. 32-40.
- Pinchuk V.G., Pinchuk V.G. Lypska A.I., Gluzman D.F. (1996) Marrowy blood formation: investigation during 10 years after the Chernobyl NPP accident. *Experimental oncology* 18(2): 109-119 (in Russian)
- Pissarenko, S.S. (2003) Facing the challenge of male infertility in XX century. *Bulletin of new medical technologies*, Vol. 10, No 3, pp. 106 - 107.
- Podpalov V.P. (1994) Formation hypertonic disease in population of the radioactively unsafe territories. In: “Chernobyl accident: diagnostics and medical-psychological rehabilitation of suffers”, Collection of Conf. Materials, Minsk, pp. 27—28 (in Russian).
- Polukhov A.M., Kobzar I.V., Grebelnik V.I.Voitenko V.P. (1995) Ionizing radiation, aging and chronical psychological stress. Actual and prognosis disturbances of psychiatric health after nuclear catastrophe in Chernobyl. Conference materials, May 24-28 1995, Ukraine, Kiev, p. 262.
- Preston DL, Shimizu Y, Pierce DA, Suyama A, Mabuchi K (2003) Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950–1997. *Radiat Res* 160(4):381–407.
- Prokopenko N.A. (2003) Cardio-vascular and nervous systems pathologies as synergic result of the irradiation and psycho-emotional stress at sufferings from the Chernobyl’ accident. *Ageing and longevity problems*.vol. 12, N° 2, pp. 213-218 (in Russian).
- Prysyazhnyuk A.Ye., Grishchenko V.G., Fedorenko Z.P., Gulak L.O., Fuzik M.M. (2002) Review of Epidemiological Finding in Study of Medical Consequences of the Chernobyl Accident in Ukrainian

- Population In: Imanaka T. (Ed.). Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia. Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-79), Kyoto, pp. 188 – 287.
- Prysyazhnyuk A.Ye., Grishchenko V.G., Fedorenko Z.P., Gulak L.O., Fuzik M.M. (2002) Review of Epidemiological Finding in Study of Medical Consequences of the Chernobyl accident in Ukrainian Population In: Imanaka T. (Ed.). Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia. Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-79), Kyoto, pp. 188-287.
- Rahu M, Tekkel M, Veidebaum T, Pukkala T, Hakulinen A, Auvinen A, Rytomaa T, Inskip PD, Boice JD Jr. (1997). The Estonian study of Chernobyl clean-up workers: II. Incidence of cancer and mortality. *Radiation Res*, 147, 653-657
- Rajendran R, Raju GK, Nair SM, Balasubramanian G (1992) Prevalence of oral submucous fibrosis in the high natural radiation belt of Kerala, south India. *Bull World Health Organ*. 1992;70(6):783-9.
- Revenok AA (1998) Psychopathic-like disorders in persons with an organic brain lesion as a result of exposure to ionizing radiation *Lik Sprava*. 3: 21–24 (in Russian).
- Revenok OA (1999) Structural and dynamical characterization of organic brain damage in persons exposed to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident The dissertation for the academic degree of a Doctor of Medical Sciences in psychiatry. Ukrainian Research Institute for General and Forensic Psychiatry, Kiev.
- Romanenko A., Lee C., Yamamoto S. et al. (1999) Urinary bladder lesions after the Chernobyl accident: immune-histochemical assessment of proliferating cell nuclear antigen, cyclin D1 and P 21 waf1/Cip. *Japan J. Cancer Res.*, vol. 90, pp. 144 - 153.
- Romanenko A.E., Bomko E.I., Kostenko A.I., Bomko A.A. (2001) Incidence of children resident on radioactively contaminated territories of Ukraine and chronically exposed to low doses of ionising radiation. / *International Journal of Radiation Medicine* , 2001, Vol. 3(3-4).- pp.61-70.
- Romanenko AY, Nyagu AI, Loganovsky KN, Tirmarche M., Gagniere B., Buzunov VA, Ledoschuk BA, Trocyuk N, Yuryev KL, Zdorenko LL, Antipchuk YeYu, Bomko MA, Loganovskaya TK, Petrova IV, Kartushin GN, Khmelko VYe, Paniotto VI, Zakhozha VA (2004a) Franco-German Initiative for Chernobyl Project №3 «Health Effects on the Chernobyl Accident» Sub-Project No 3.4.8: «Data Base on Psychological Disorders in the Ukrainian Liquidators of the Chernobyl Accident», Final Report.
- Romanenko AY, Nyagu AI, Loganovsky KN, Tirmarche M., Gagniere B., Buzunov VA, Ledoschuk BA, Trocyuk N, Kartushin GN, Khmelko VYe, Paniotto VI, Zakhozha VA, Yuryev KL, Zdorenko LL, Antipchuk YeYu, Bomko MA, Loganovskaya TK, Petrova IV (2004b) Data base on psychological disorders in the Ukrainian liquidators of the Chernobyl accident. In: *Abstracts of International Workshop on «The French-German Initiative: Results and Their Implication for Man and Environment»*, October 5-6, 2004, Kiev, pp 56–57.
- Romodanov AP, Vynnyts'kyj OR (1993) Brain lesions in mild radiation sickness. *Lik Sprava*, 1: 10–16 (en ukrainien).
- Ron E, Modan B, Flora S, Harkedar I, Gurewitz R (1982) Mental function following scalp irradiation during childhood. *Am. J. Epidemiol*. 116: 149–160.
- Rudnitsky, E.A., Sobolev, A.V. & Kiseleva L.F. (2003) Incidence of human microsporia in a radionuclide contaminated area : Abstracts of papers presented at the 6th Scientific and Practical Conference on Medical Mycology (6th Kashinsky readings), St. Petersburg, June 25-26, 2003, *Problems in medical mycology*, Vol. 5, No 2, pp. 68.
- Rumyantseva G.M., Levina T.M., Melnichuk T.N. et al. (1995) The accident at the Chernobyl atomic power station and psychological stress // *International Conference on Health Consequences of the Chernobyl and Other Radiological Accidents*. - Geneva: WHO, 1995.
- Rumyantseva G.M., Chinkina OV, Levina TM, Margolina VYa (1998) Mental disadaptation of the Chernobyl accident clean-up workers. *Russian Medical Journal. Contemporary Psychiatry*, 1 (1): 56–63 (<http://www.rmj.ru/sovpsih/t1/n1/8.htm>; http://www.rmj.ru/p1998_01/8.htm)
- Sasaki H., Wong F.L., Yamada M, Kodama K (2002) The effects of aging and radiation exposure on blood pressure levels of atomic bomb survivors. *J Clin Epidemiol* 55(10):974–981.
- Savanevskiy N.K., Gamshey N.V. (2003) Changes of blood vessel tonus, arterial pressure and puls rate under static lading at girls living in the radioactive polluted territories and which had vessel spasms. *Brest State University* , Brest, 8 p. (in Russian).

- Schindler M.K., Wang L., Selemo LD, Goldman-Rakic PS, Rakic P, Csernansky JG (2002) Abnormalities of thalamic volume and shape detected in fetally irradiated rhesus monkeys with high dimensional brain mapping. *Biological Psychiatry* 51 (10): 827–837.
- Schull W.J., Otake M. (1999) Cognitive function and prenatal exposure to ionizing radiation. *Teratology*, 59 (4), 222–226.
- Serdyuchenko V.I., Nostopyrena E.I. (2001) Functional state of eyes in children from zone of radiation control and its mutuality with state of organism, age and ecological characteristic of the environment - In: *International Journal of Radiation Medicine*, 3 (1-2) p.116-117
- Sergeeva M.E., Muratova N.A., Bondarenko G.N. (2005) Demographic peculiarities in the radioactive polluted zone of Bryansk area. *Materials Inter. Sci. – Pract. Conf.: «Chernobyl - 20 years after. Socio-economical problems and perspectives for development of suffering territories»*, Bryansk, pp. 302 – 304 (in Russian).
- Sergienko, N.M. & Fedirko, P. (2002) Accommodative function of eyes in persons exposed to ionizing radiation. *Ophthalm. Res.* 34(4): 192-194
- Sergienko, S. (1997) Alterations of Immune system of pregnant women and newborn from radioactive contaminated areas// *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica*.V.76., N 167.-P.103-104
- Sergienko, S. (1998) Features of current of pregnancy and deliveries at the women of region of Chernobyl Disaster//Book of abstracts “13th Congress of the European Association of Gynecologists and Obstetricians (EAGO)”.- Jerusalem (Israel), 1998.P.97
- Serkiz Ya.I. , Pinchuk L.B., Pinchuk V.G., Druzhina N.A., Puchova G.G. (1994) Chernobyl und seine Folgen Radiobiologische Aspekte der tschernobyler Katastrophe.- Klitzschen, Deutschland: Elbe-Dnyepyr Verlag, 1994, p 183
- Serkiz Ya.I, Lypyska A.I., Moiseyenko M.I. (1997) Ecological and biological consequences of the Chernobyl catastrophe. *Biological Effects in Animals. Peculiarities of Dose Loads Formations in Animals. / Chernobyl Catastrophe. Editor-in-chief Full Member of the National Academy of Sciences of Ukraine V.G. Baryakhtar – Kyiv. – Editorial House of Annual Issue “Export of Ukraine”*. pp 291-294
- Serkiz Ya.I., Indyk V.M, Pinchuk L.B., Rodionova N.K., Savtsova Z.D., Drozd I.P, Lypyska A.I. (2003) Short-term and long-term Effects of Radiation on Laboratory Animals and Their Progeny Living in the Chernobyl Nuclear Power Plant Region //Environmental Science and Pollution Research. International. Special Issue N° 1 : 107-116
- Sevankaev A.V., Zhloba A.A., Potetnya O.I., Anykyna M.A., Moiseenko V.V. (1995) Cytogenetic observations at children and adolescents living in the radionuclides polluted territories of Bryansk area. *Rad. Biol., Radioecol.*, vol 35, # 5, pp. 596 – 611 (in Russian).
- Sevankaev A.V. (2000) Some results of cytogenetic researches in connection with an estimation of consequences of Chernobyl accident // *Radiation biology. Radioecology*. v.40, N° 5. p.589-596.
- Sevbitov A.V., Pankratyova N.V., Slabkovskaya A.B., Scatova E.A. (1999). Tooth – jaw’ anomalies at children after impact of the “Chernobyl factor”. *Ecological anthropology. Almanac. Minsk, Belarusian committee «Chernobyl children»*, pp. 188 -191 (in Russian).
- Sevbitov A.V. (2005) Stomatological characters of the clinical manifestations of the remote effects of irradiation. Thesis, Doc. Med. Sci., Central Stomatological Inst., Moscow, 51 p. (in Russian).
- Sharapov A.N. (2001) Regulations of the endocrine – neuro-vegetative’ interconnections at children living in the low doses radionuclides pollution territories after the Chernobyl accident. Thesis, Doc. Med., Sci. Inst.Pediat., Child. Surgery, Moscow, 53 p. (in Russian).
- Shabadash A.L. (1964) Cytochemical characterization of reactivity and inhibit-protective states of the nervous cells at radiation injuries. In: *Restoration processes at radiation injuries*. Moscow: Atomizdat Publishing House, pp. 53–60 (in Russian).
- Shemetun O. V., Pilinskaya M. A. (2005) Modeling of radiation-induced "bystander effect" in culture of human peripheral blood lymphocytes / 7. / Col. - III International conference " Genetic consequences of extreme radiation situations " (theses of reports), 2005.-Publ. House. The Russian university of peoples friendship.-pp. 94-95.
- Shestopalov V.M., Naboka M.V., Stepanova E.I., Skvarkaja E.A., Musse T., Serkiz J.I. (2004) The general biological consequences of Chernobyl accident for man and biota: *Bulletin on ecological state of the alienated zone and zone of compulsory evacuation*. N° 2 (24) p.40-47

- Sherashov V.S. (2005). Patogenetical mechanisms and factors of risk in development of cardiovascular diseases in cohort study of liquidators of consequences of Chernobyl accident in remote period. // Dr. degree thesis. Moscow, 2005, 39 p.
- Shevchenko V.A., Snigireva G.P. (1996) Cytogenetic consequences of influence of ionizing radiations on a human population. In the book.: Burlakova E.B. (Ed).. Consequences of Chernobyl accident: health of the person. Publ. of the centre of an ecological policy of Russia, Moscow, pp. 24 - 49.
- Shilko A.N., Taptunova A.I., Iskritzkiy A.M., Tschadystov A.G. (1993) Frequencies and etiology sterility and spontaneous abortions in the Chernobyl' factors impacted territories. Conf.: "Chernobyl accident: diagnostics and medical-psychological rehabilitation of suffers.", Collection of Materials, Minsk, p. 65 (in Russian).
- Shimizu Y., Pierce D.A., Preston D.L., Mabuchi K (1999) Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, part II. Noncancer mortality: 1950–1990. *Radiat Res* 152(4):374–389.
- Shimizu Y., D.A. Pierce, D.L. Preston et al., (1999). *Radiat. Res.*, 152, 374
- Shvayko L.I. & Sushko V.A. (2001) Endoscopic monitoring of bronchopulmonary system in liquidators of Chernobyl accident, suffering from chronic obstructive pulmonary disease // 11th ERS Annual Congress Berlin, Germany, September 22-26, 2001 (Abstracts) / *European respiratory journal*. Vol. 18, Suppl. 33. – P 391s. - P2671.
- Sluchik V.M., Kovalchuk L.E., Bratyvnych L.I., Shutak V.I. (2001) Cytogenetic effects of the low dose of ionizing radiation and chemical factors (15 years after the Chernobyl). 3rd Inter. Conf. " Med. Consequences of the Chernobyl accident: results 15-years researches. 4 - 8 June 2001, Kiev, Ukraine", Abstracts, Kiev, p. 290 (in Russian).
- Sokolov V.V. (2003) Retrospect estimation irradiated doses at the Chernobyl' radioactive polluted territories. Thesis, Doc. Techn. Sci. , Tula State University, Tula, 36 p. (in Russian).
- Soloshenko EN. (2002) Immune homeostasis at the dermatitis patients, which suffers from radioactive irradiation during the Chernobyl accident. *Ukrainian J. Hematol. Transfusiol.*, N° 5, pp. 34-35 (in Ukrainian).
- Souchkevitch G., Tsyb A. (2001) Low doses of ionizing radiation health effects and assesment of radiation risks for emergency workers of the Chernobyl accident. Editors: G.N.Souchkevich, M.N.Repacholi. WHO.2001. 242 P.
- Souchkevitch, G.N. and A.F. Tsyb (Eds) (1996). Health Consequences of the Chernobyl Accident, Scientific Report World Health Organization, Geneva (1996). 126
- Stepanov A.V. (1993) Analysis of the Trichocephalosis occurrence in the radioactive polluted territories. Radionuclides pollution' impact in public health (clinical-experimental study). Collection of Sci. papers, Vutebsk State Med. Inst., Vitebsk, pp. 120 – 124 (in Russian).
- Stepanova E. (1997) Health condition of children irradiated in utero. One decade after Chernobyl: Summing up the consequences of the accident: international conference held in Vienna, 8-12 April 1996.-IAEA.- September,1997.-P.253-260.
- Stepanova E. ,Kolpakov I, Vdovenko V (2003) Functional condition of respiratory system of children who had radiation exposure in result of Chernobyl accident. - Kiev: 2003. -103 p.
- Stepanova E., Kondrashova V., Galitchanskaya T., Davidenko O., Vdovenko V. (1997) Clinical effects in children irradiated prenatally: 11 years results: Low doses of ionizing radiation – biological effects and regulatory control contributed papers: Materials of international conference held in Seville, Spain, 17-21 November 1997- IAEA, Vienna,1997,-P.82-86
- Stepanova E., Kondrashova V., Galitchanskaya T., Vdovenko V. (1998) Immune deficiency status in prenatally irradiated children. *British Journal of Haematology*.V.10, P.25
- Stepanova E., Kondrashova V., Vdovenko (2003) Effects irradiated in children in utero: Health effects of Chernobyl accident. (Ed) A.Vozianov, V. Bebesheko, D Bazyka.- Kyiv.-DIA,P.396 -404.
- Stepanova E., Kondrashova V., Vdovenko et. al. (2002a) Results of 14 years observation of children exposed to radiation in prenatal period after the Chernobyl accident: *International journal of radiation medicine*._4 (1- 4), P.250-259.
- Stepanova E., Kondrashova V., Vdovenko V., Misharina J. (2001) Remote immune and cytogenetic effects of prenatal irradiation. Proc. 2nd international conference «The effects of low and very low doses of ionizing radiation of human health».- Dublin, 2001.-P.8

- Stepanova E.I. & Vanyurikhina E.A. (1993) Clinical and Cytogenetic Characteristics of Children of the people Who Experienced Radiation Syndrome of 1 and 2 Level As the Result of the Chernobyl Accident, *Tsitologiya i genetika*, 27(4): 10-13 (in Russian).
- Stepanova E.I., Kolpakov I.E., Kondrashova V.G., Vdovenko V.Yu., Davidenko O.A., Galichanskaya T.Y., Stachurskaya N.A., Chaurov O.I. (2001) Review of 15-year observations of the children health suffered as a result of the Chernobyl accident - In: *International Journal of Radiation Medicine*, 3 (1-2) p.128
- Stepanova E.I., Kondrashova V.G., et al. (2002) Results of 14 years observation of children exposed to radiation in prenatal period after the Chernobyl accident – In: *International journal of radiation medicine*. –N° 4 (1-4): 250-259.
- Stepanova E.I., Kondrashova V.G., Misharina Z.A., Vdovenko V.J., Slepchenko T.V., Skvarkaya E.A. (1999) Medico-biological consequences of Chernobyl accident for the suffered children's population of Ukraine. The state of health of children born from parents exposed to radiation. The chapter: Medical consequences of accident at Chernobyl nuclear station: the Monograph in 3 books. The book 2. Clinical aspects of Chernobyl accident / Ed. by V.G.Bebeshko, A.N.Kovalenko. K.: "MEDECOL" MNITs bio-ecos. pp. 23-33.
- Stepanova E.I., Misharina Z.A., Vdovenko V.J. (2002b) Remote cytogenetic effects in children exposed to foetal radiation as a result of the ChAPS accident: *Radiation biology. Radioecology*. v.42, _ 6. p.705-709.
- Stepanova E.I., Skvarkaya E.A., Vdovenko V.J., Kondrashova V.G. (2004) Genetic consequences of Chernobyl accident in children born from parents exposed to radiation / *The problems of ecological and medical genetics and clinical immunology: ZI.res.works*. - K.No.7(60): 312-320
- Stepanova E.I. (1999) Medico-biological consequences of Chernobyl accident in affected children population."MEDECOL" interdisciplinary Scientific and Research Centre BIO-ECOS, Kiev, 1999, Book 2, pp. 5-32 (In Russian).
- Strukov E.L. (2003) Hormonal regulation of the cardio-circular diseases and some endocrine dysfunctions at persons suffering by the Chernobyl factors and in Sank-Petersburg population. Thesis Doc. Med., All-Russian Center for Extr. Rad. Medicine, Sank-Petersburg, 42 p. (in Russian).
- Sushko V.A. (2000) Chronic lung disease in liquidators of Chernobyl accident (10 years of studying) // *World Congress on Lung Health and 10th ERS Annual Congress (Abstracts)*, Florence, Italy, August 30 – September 3, 2000 / *European Respiratory Journal*. – V. 16, Suppl. 31. – P. 428s. – P3039.
- Sushko V.A., Shvayko L.I., Belyi D.A. & Kovalenko A.N. (2002) Bronchopulmonary pathology in reconvalescents of acute radiation sickness as a result of Chernobyl accident (1986) // *12th ERS Annual Congress Stockholm, Sweden, September 14-18, 2002 (Abstracts)* / *European respiratory journal*. Vol. 20, Suppl. 38. - P. 64s. - P504.
- Sushko, V.A. & Shvayko L.I. (2003b) The clinical and functional characteristics of bronchopulmonary system / in Chapter 11 *Respiratory system // Health effects of Chernobyl accident:/ Monographs in 4 parts* / Ed A.Vazianov, V.Bebeshko, D.Bazyka. – ISBN 966-8311-01-9 - Kyiv: DIA, 2003. – P. 229-230.
- Sushko, V.A. & Shvayko, L.I. (2003a) Effects of external irradiation and inalation of radionuclides / in Chapter 11 *Respiratory system // Health effects of Chernobyl accident:/ Monographs in 4 parts* / Ed. A.Vazianov, V.Bebeshko, D.Bazyka. – ISBN 966-8311-01-9 - Kyiv: DIA, 2003. – P. 225-228.
- Sushko, V.A. (1998) Chronic unspecific diseases of lungs among the liquidators of the ChNPP accident (10 years of observation) // *Problems of radiation medicine/- Kiev,, 1998. - ISBN 966-95103-4-1.– Issue. 6. – C 35 – 45. (in Ukrainian)*
- Sushko et al, (2006) *SCRM of AMS of Ukraine, 2006 (in press)*
- Sushko, V.A. (2001) Syndromology of bronchopulmonary system damage for the COPD-patients after liquidation of consequences of Chernobyl accident // *11th ERS Annual Congress, Berlin, Germany, September 22-26, 2001 (Abstracts)* / *European respiratory journal*. Vol. 18, Suppl. 33. - P 215s. - P1500.
- Suskov I.I., Agadzhanjan A.V., Kuzmina N.S., et al. (2005) Cytogenetic researches of children of the different age groups living in territories with contamination by radiation. // *III International conference " Genetic consequences of extreme radiation situations "* (theses of reports) /M.:Publ.House. The Russian University of people friendship.-2005. pp. 110 - 111.

- Sykorenskyi A.V., Bagel' G._. (1992) Primordial arterial hypotonic at children of Gomel and Mogiliev areas and perspectives of their improvement in the summer camps. Improvement and sanitary treatment of persons suffering from radiation impact. Abstracts, Republican Conf., Minsk - Gomel, pp. 59 – 60 (in Russian).
- Taupin P. (2006) Stroke-induced neurogenesis: physiopathology and mechanisms. *Curr. Neurovasc. Res.* 3: 67-72
- Tereshchenko, V.M., Sushko V.O. Pishchikov V.A., Sereda T.P. & Bazyka D.A. (2004) Chronic unspecific diseases of lungs among the liquidators of the ChNPP accident. Tereshchenko V.P., Sushko V.O (eds). Kiev, Medinform, (2004) – 252 p. (in Ukrainian)
- Tereshchenko V.M., Buzunov V.A., Striy N._. (2005) Epidemiologic relative risk analysis of developing some forms of blood circulation system diseases in the participants of Chernobyl NPP accident liquidation//Thesises of additional scientific and practical conference “Urgent questions of hygiene and ecological safety of Ukraine” (The first Marzeev Readings). Kyiv, April 21-22, 2005, Kyiv. – 2005. – P.165-167.
- Tereshchenko V.M., Buzunov V.A., Voychulene Y.S. (2002) Epidemiologic researches of disability and mortality dynamics in the participants of Chornobyl NPP accident liquidation // Issue 39. – P. 218-228.
- Tereshchenko V.M., Buzunov V.A., Voychulene Y.S. (2003) Epidemiologic research of nonneoplastic morbidity in Chornobyl NPP accident liquidation participants in 1986-1987// Hygiene of population aggregates. Issue 41. – P. 283-287.
- Tolkach S.I. (2002) Peculiarities of health state of the first generation of children born to women radiationexposed in childhood and adolescence// *Perinatology and Pediatrics*. N° 2.–P.45-48.
- Torubarov FS, Blagoveshchenskaia VV, Chesalin PV, Nikolaev MK (1989) Status of the nervous system in victims of the accident at the Chernobyl atomic power plant. *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova* 89 (2): 138–142 (in Russian).
- Trocherie S, Court L, Gourmelon P, Mestries J-C, Fatome M, Pasquier C, Jammet H, Gongora H, Doloy MTh (1984) The value of EEG signal processing in the assessment of the dose of gamma or neutron-gamma radiation absorbed dose. In: Court L, Trocherie S, Doucet J (eds) *Le Traitement du Signal en Electrophysiologie Experimentale et Clinique du Systeme Nerveux Central*, Vol. II, pp. 633–644.
- Tronko N.D., ChebanA.K., Oleinik V.A., Epstein E.V. (1995) Endocrine system. In: Baryachtar V.G. (Ed.). *Chernobyl accident*. Kiev, “Naukova Dumka” Publ., pp. 454 – 456 (In Russian).
- Tsirkin SIu (1987) International study of schizophrenia based on a WHO program. Comparative characteristics of the data. *Zh Nevropatol Psikhiatr Im S S Korsakova* 87 (8): 1198–1203 (in Russian)
- Tsyb A.F., Ivanov V.K. (2001) Remote health effects of the Chernobyl accident: prediction and actual data In: *International Journal of Radiation Medicine*, 3 (1-2), p.135 -136
- Ukrainian Ministry of Health (1994) The thyroid dose-measurement certificate of all settlements of Zhitomir area. Ministry of Health of Ukraine. Kiev. 45 p.
- Ukrainian Ministry of Health (1996) The thyroid dose-measurement certificate of Kiev. // Ministry of Health of Ukraine. Kiev. 10 p.
- UNSCEAR (2001) Hereditary effects of radiation. United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation. UNSCEAR 2001 Report to the General Assembly. United Nations. New York. - 2001.- 92 P.
- UNSCEAR (1982) Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, Vol. 2, Biological Effects.
- UNSCEAR (1993) Report to the General Assembly: Annex I. Late deterministic effects in children. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, pp. 899–908.
- UNSCEAR (2000) Report to the General Assembly, with scientific annexes. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York: United Nations, Vol. I: Sources.

- Ushakov I.B. & Karpov V.N. (1997) Brain and radiation (100 anniversary of radio-neurobiology). State Inst. Avia , Space Medicine , Moscow, 74 p. (in Russian).
- Ushakov I.B., Arlashchenko N.I., Dolzhanov A.J., Popov V.I. (1997) Chernobyl: radiating psychophysiology and ecology of the person. Publishing house of SSRI of aviation and space medicine, Moscow, 247 p.
- Ushakov I.B., Arlashchenko N.I., Dolzhanov A.J., Popov V.I. (1997) Chernobyl: radiating psychophysiology and ecology of the person. Publishing house of SSRI of aviation and space medicine, Moscow, 247 p.
- Vasulescu T, Pasculescu G, Papilian V, Serban I, Rusu M (1973) The effect of low X-ray doses on the central nervous system. *Radiobiol. Radiother. (Berl.)*, 14 (4): 407–416.
- Vdovenko V.J (2005) The peculiarities of immune status of children who had been exposed to foetal radiation at a late phase of Chernobyl accident: *Dovkillya ta zdoroya*. N° 1.-p.32-34.
- Vdovenko V.J. (1999) Immune status of children of younger school age exposed to foetal radiation as a result of the ChAPS accident: *Medical affairs*. N° 1.-p.28-29.
- Verhovna Rada of Ukraine (2001) Article 12 of the Law of Ukraine «On Status and Social Protection of Citizens That Suffered from Chornobyl Accident» _2400-111 on 26 April 2001.
- Viinamäki H, Kumpusalo E, Myllykangas M, Salomaa S, Kumpusalo L, Kolmakov S, Ilchenko I, Zhukowsky G, Nissinen A. (1995). The Chernobyl accident and mental wellbeing - a population study. *Acta Psychiatr Scand*, 91: 396-401
- Voloshin P.V., Kryzhenko T.V., Zdesenko I.V., et al. (1993) Clinical and functional-structural changes of nervous system in those exposed to the impact of the ChAPS accident // *Social-psychological and psychoneurological aspects of consequences due to the accident at Chernobyl atomic power station: Materials of scientific conference of the CIS countries with the international participation*. - Kiev, 1993. - p.190-194.
- Voloshina N.P. (1997) Structural and functional brain disorders in patients with dementia of different genesis. The dissertation for the academic degree of a Doctor of Medical Sciences in neurology and psychiatry.
- Kharkiv Institute of Advanced Medical Studies, Kharkiv, Ukraine. Volovik S., Loganovsky K., Bazyka D. (2005) Chronic Fatigue Syndrome: molecular neuropsychiatric projections. Abstract XIII World Congress of Psychiatry Cairo, September 10-15, 2005 Egypt, p. 225.
- Volovik S., Loganovsky K., Bazyka D., Bebeshko V. (2005) Chronic Fatigue Syndrome as biopsychosocial phenomenon. *Proceedings. 4th Hawaii International Conference on Social Sciences*. Honolulu. June 13-16, 2005, p. 2154-2155.
- Volovik S., Bazyka D., Loganovsky K., Bebeshko V., Ginsburg G., Goldschmidt P. (2005) Radiation effects patterns for aging phenomena. In: “Aging: Mechanisms and Prevention”. Abstracts, 34th Annual Meeting of American Aging Association and 19th Annual Meeting of the American College of Clinical Gerontology, June 3–6, 2005, Marriott City Center, Oakland, CA, USA, p. 49.
- Volovik S., Bazyka D., Loganovsky K., Bebeshko V., Goldschmidt P. (2005) Can ionizing radiation effects model aging phenomena and age-associated diseases? *The Gerontologist*, 45 (Special Issue II, Oct. 2005): 64-65.
- Vorobtsova, E., M.V.Vorobyeva, A.N.Bogomazova, A.Yu.Pukkenen, T.B.Arkhangel'skaya (1995) Cytogenetic study of children living in St.Peterburg region, who have suffered from the Chernobyl accident. The rate of unstable chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes. *Radiation biology. Radioecology*, 1995, 35(5): 630-635 (in Russian).
- Voropaev E.V., Matveev V.A., Zhavoronok S.V., Naral'nikov V.A. (1996) Activation of Herpesvirus infection after the Chernobyl' accident. *Sci. conf. “10 years after the _Chernobyl' accident: scientific aspects”*, Abstracts, Minsk, p. 65 (in Russian).
- Vyatleva O.A., Katargina T.A., Puchinskaya L.M., Yurkin M.M. (1997) Electrophysiological characterization of the functional state of the brain in mental disturbances in workers involved in the clean-up following the Chernobyl atomic energy station accident. *Neurosci Behav Physiol*, 27 (2): 166–172.
- Weinberg H., Korol A., Nevo E., Piatak O., Stepanova E., Skvarkaja E. (2001) Very high mutation rate in offspring of Chernobyl accident liquidators: *Proc.R.Soc.Land.B*, 268,p.1001-1005

- World Health Organization (1996) Health consequences of the Chernobyl accident. Results of the IPHECA pilot projects and related national programmes. Geneva, World Health Organization World Health Organization (2001) World Health Report 2001. Mental health: New understanding, new hope. Geneva: World Health Organization.
- World Health Organization (2005) Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group «Health» (EGH), Working Draft, August 31, 2005, 179 p. <http://www.iaea.org/NewsCenter/Focus/Chernobyl/index.shtml>
- Yaar I, Ron E, Modan B, Rinott Y, Yaar M, Modan M (1982) Long-lasting cerebral functional changes following moderate dose X-radiation treatment to the scalp in childhood: an electroencephalographic power spectral study. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 45 (2): 166–169.
- Yaar I, Ron E, Modan M, Perets H, Modan B (1980) Long-term cerebral effects of small doses of X-irradiation in childhood as manifested in adult visual evoked responses. *Ann. Neurol.* 8: 261–268. 129
- Yablokov A.V. 2001. Myth on insignificance of the Chernobyl catastrophe consequences. Moscow< Center for Russ. Ecol. Policy Publ., 112 p. (in Russian).
- Yablokov A.V. (2000). Myth about environmental purity of the nuclear power industry. Moscow, Russian Ecological Policy Centre, p. 88.
- Yakimenko D.M. Digestive system. In: Bar'yakhtar V.G. (Ed.). 1995. The Chernobyl accident. Kiev, Naukova Dumka” Publishing House, pp. 468 - 469.
- Yamada M, Izumi S (2002) Psychiatric sequelae in atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki two decades after the explosions. *Soc. Psychiatry Psychiatr. Epidemiol.* 37: 409–415
- Yamada M, Kasagi F, Sasaki H, Masunari N, Mimori Y, Suzuki G (2003) Association between dementia and midlife risk factors: the radiation effects research foundation adult health study. *J Am Geriatr Soc* 51(3):410–414.
- Yamada M, Sasaki H, Mimori Y, Kasagi F, Sudoh S, Ikeda J, Hosoda Y, Nakamura S, Kodama K (1999) Prevalence and risks of dementia in the Japanese population: RERF’s adult health study Hiroshima subjects. *Radiation Effects Research Foundation. J Am Geriatr Soc* 47(2):189–195.
- Yamada M, Wong FL, Fujiwara S, Akahoshi M, Suzuki G (2004) Noncancer disease incidence in atomic bomb survivors, 1958–1998. *Radiat. Res.*, 161: 622–632.
- Yurchenko O.V., Tregubova N.A., Khaetsky I.K., Lypska A.I., Pinchuk V.G. Nikitchenko V.V., Pinchuk V.G. (2001) Morphological changes of internal organs of the animals held at the Chornobyl exclusion zone. Collection of scientific papers “Chornobyl. Exclusion zone” . Publ. “Naukova Dumka”, Kiev, pp 509-520 (en ukrainian)
- Zabolotny D.I., Shidlovskaya T.V., Rimar V.V. (2001). Long-tern haemodynamic disorders of the carotid and vertebral-basilar systems in the Chernobyl accident victims with normal hearing and various hearing impairments. *Journal of ENT Diseases*, No 4. P. 5 - 13
- Zachary, I. (2005) Neuroprotective role of vascular endothelial growth factor: signalling mechanisms, biological function, and therapeutic potential. *Neurosignals* 14: 207-21
- Zadorozhnaya T.D., Lukyanova E.M., Yeschenko O.I., Hanshow, Antipkin J.G. (1993) Structural changes of fetoplacental complex under influence of small doses of ionizing radiation, influence over health of children // *Oycumena*, N° 2.-p.93-99.
- Zalutskaya A., Bornstein S.R, Mokhort T., Garmaev D. 2004. Did the Chernobyl incident cause an increase in Type 1 diabetes mellitus incidence in children and adolescents? *Diabetologia*, vol. 47, pp. 147-148.
- Zhavoronkova L.A., Holodova N.B., Harchenko V.P., et al. (1993) EEG, neurologic and emission one-photon computer estimation of the status of participants of liquidation of the accident at the Chernobyl atomic power station // *Social-psychological and psycho-neurological aspects of consequences of the accident at Chernobyl atomic power station: Materials of scientific conference of the CIS countries with the international participation.* - Kiev, 1993. - p.228.
- Zhavoronkova L.A., Gabova AV, Kuznetsova GD, Sel'skii AG, Pasechnik VI, Kholodova NB, Ianovich AV (2003) Post-radiation effect on the interhemispheric asymmetry in EEG and thermography characteristics. *Zh Vyssh Nerv Deiat Im I P Pavlova* 53 (4): 410–419 (in Russian).
- Zhavoronkova L.A., Gogitidze NV, Kholodova NB (1996) The characteristics of the late reaction of the human brain to radiation exposure: the EEG and neuropsychological study (the sequelae of the

- accident at the Chernobyl Atomic Electric Power Station) Zh Vyssh Nerv Deiat Im I P Pavlova 46 (4): 699–711 (in Russian)
- Zhavoronkova L.A., Gogitidze NV, Kholodova NB (2000) Postradiation changes in the brain asymmetry and higher mental functions of right- and left-handed subjects (the sequelae of the accident at the Chernobyl Atomic Electric Power Station) Zh Vyssh Nerv Deiat Im I P Pavlova 50 (1): 68–79 (in Russian).
- Zhavoronkova L.A., Kholodova NB, Gogitidze NV, Koptelov IuM (1998) A dynamic assessment of the reaction of the human brain to radiation exposure (the aftermath of the accident at the Chernobyl Atomic Electric Power Station). Zh Vyssh Nerv Deiat Im I P Pavlova 48 (4): 731–742 (Article in Russian).
- Zhavoronkova L.A., Kholodova NB, Gogitidze NV, Koptelov IuM (1998) A dynamic assessment of the reaction of the human brain to radiation exposure (the aftermath of the accident at the Chernobyl Atomic Electric Power Station). Zh Vyssh Nerv Deiat Im I P Pavlova 48 (4): 731–742 (Article in Russian).
- Zhavoronkova L.A., Kholodova NB, Gogitidze NV, Koptelov IuM (1998) A dynamic assessment of the reaction of the human brain to radiation exposure (the aftermath of the accident at the Chernobyl Atomic Electric Power Station). Zh Vyssh Nerv Deiat Im I P Pavlova 48 (4): 731–742 (Article in Russian).
- Zhavoronkova L.A., Kholodova NB, Zubovskii GA, Smirnov IuN, Koptelov IuM, Ryzhov NI (1994) The electroencephalographic correlates of neurological disorders in the late periods of exposure to ionizing radiation (the aftereffects of the accident at the Chernobyl Atomic Electric Power Station) Zh Vyssh Nerv Deiat Im I P Pavlova 44 (2): 229–238 (in Russian).
- Zhavoronkova L.A., Kholodova NB, Zubovskii GA, Smirnov YuN, Koptelov YuM, Ryzhov NI (1995a): Electroencephalographic correlates of neurological disturbances at remote periods of the effect of ionizing radiation (sequelae of the Chernobyl' NPP accident). *Neurosci Behav Physiol* 25 (2): 142–149.
- Zhavoronkova L.A., Kholodova NB, Zubovsky GA, Gogitidze NV, Koptelov YM (1995b) EEG power mapping, dipole source and coherence analysis in Chernobyl patients. *Brain Topogr*, 8 (2): 161–168.
- Zozulia I.S., Polishchuk M.Ie. (1995) The characteristics of cerebrovascular disorders in persons exposed to the effect of ionizing radiation as a result of the accident at the Chernobyl Atomic Electric Power Station. *Lik Sprava* 1995; N3-4: 26-29.
- Zozulya Yu.P (ed.) (1998) Chronic influence of small doses of ionizing radiation: experimental studies and clinical observations. Kiev, Publishing House Chernobylinterinform (in Ukrainian).
- Zubovich V.K., Petrov G.A, Beresten' S.A., Kil'chevskaya E.V., Zemskov V.N. (1998) Human milk characters and babies health in the radioactive polluted areas of Belarus. *Public Health*, N° 5, pp. 28-30 (in Russian).
- Zubovsky G.A., Tararuhina O.B. (1991) The state of a hypophysis-thyroid system during treatment I-131. // *The Medical Radiology*. N 3. p.32-35.
- Zubovsky G.A., Tararuhina O.B (2006) Morbidity among people, having been exposed to radiation as a result of the accident at the Chernobyl nuclear reactor, Moscow, in press
- Zubovsky, G.A. & Smirnov, Yu.N. (1999) Radiation Induced Diseases as a Result of the Accident at the Chernobyl NPP, according to the Russian Regional Inderdepartamental Panel. *Book of Works on 75th Anniversary of the Russian Scientific Center of Roentgenology and Radiology*. Moscow, P.3-8.
- Zubovsky, G.A. & Smirnov, Yu.N. (1999) Radiation Induced Diseases as a Result of the Accident at the Chernobyl NPP, according to the Russian Regional Inderdepartamental Panel. *Book of Works on 75th Anniversary of the Russian Scientific Center of Roentgenology and Radiology*. Moscow, P.3-8.

4. PROBLEMES SANITAIRES DANS LES PAYS AUTRES QUE L'UKRAINE, LA RUSSIE ET LE BELARUS

Bien que la contamination de l'environnement et l'impact sur la santé humaine soient ressentis le plus fortement en Ukraine, en Russie et au Bélarus, ce n'est pas pour autant que d'autres pays n'en soient pas affectés. Une large part du ¹³⁷Césium de Tchernobyl (les estimations varient de 53 à 67% ; Fairlie & Sumner, 2006) est tombé hors du Bélarus, de l'Ukraine et de la Russie, principalement dans d'autres pays européens. Le Tableau 4.1 ci-dessous résume les concentrations maximales du ¹³⁷Cs enregistrées dans d'autres pays. On a retenu le seuil de 2-4 kBq/m² pour la contamination globale qui subsiste des essais atomiques en atmosphère, effectués pour la plupart en 1961 et 1962 (UNSCEAR 2000).

Pays (région)	Concentration maximale (kBq/m ²)	Référence
Grèce	35-65	Simopoulos 1989, Kritidis <i>et al.</i> 1990
Autriche, Suède, Finlande, Norvège, Slovénie, Pologne, Roumanie, Hongrie, Suisse, République Tchèque et Grèce	40-185	De Cort 2001
Royaume-Uni (Ecosse, Pays de Gales, Nord-Ouest et Sud-Est de l'Angleterre), Italie, Estonie, République slovaque, Irlande, Allemagne et France	10-40	De Cort 2001
Lettonie, Danemark, Pays Bas, Belgique et Lituanie	2-10	De Cort 2001
Espagne et Portugal	< 2	De Cort 2001
France (Alpes de Provence)	~45	CRIIRAD et Paris 2002
France (Corse)	> 20	CRIIRAD et Paris 2002
Israël (centre du pays)	115 Bq/kg	Neeman et Steiner 2001
Israël (Montagnes du Golan)	38,0 Bq/kg	Neeman et Steiner 2001

Tableau 4.1. Concentrations maximales du ¹³⁷Cs dans le sol en Europe et au Moyen-Orient.

La Législation nationale en Ukraine, en Russie et au Belarus fixe à 1Ci/m² ou 37kBq/m² la définition officielle de «contaminé». Si l'on reprend cette définition, beaucoup de pays mentionnés dans le Tableau 4.1 ci-dessus ont un territoire contaminé, et le Tableau 4.2 ci-dessous montre que plusieurs pays Européens présentent des étendues de terres dont les relevés dépassent cette limite.

Pays	Zone contaminée 37-185 kBq/m ²
Suède	12 000 km ²
Finlande	11 500 km ²
Autriche	8 600 km ²
Norvège	5 200 km ²
Bulgarie	4 800 km ²
Suisse	1 300 km ²
Grèce	1 200 km ²
Slovénie	300 km ²
Italie	300 km ²
République de Moldavie	60 km ²
Total	45 260 km ²

Tableau 4.2. Surfaces des terres dans les pays européens répondant à la définition «contaminées», utilisée par l'Ukraine, la Russie et le Belarus (UNSCEAR 2000)

Selon De Cort *et al.* (1998), c'est plus de 40% de l'Europe qui est polluée par les retombées de Tchernobyl, avec des niveaux supérieurs à 4 000 Bq/m² (4 kBq/m²).

Des effets sanitaires, qui s'étendent des aberrations chromosomiques aux malformations congénitales et au cancer de la thyroïde, ont été enregistrés depuis la Norvège jusqu'en Turquie. D'autres pays peuvent avoir été affectés, mais n'ont pas fait l'objet d'études. Des aberrations chromosomiques ont été enregistrées à l'ouest de Tchernobyl, en Autriche et Allemagne, ainsi qu'au nord, en Norvège (Tableau 4.3.). Le peuple Lapon, qui vit en nomade avec le renne, compte parmi les populations contaminées.

Région	Exemple	Date	Méthode	Augmentation moyenne	Référence
Salzbourg, Autriche	17 adultes	1987	Dics + cring	Approximativement 4 fois	Pohl-Rüling <i>et al.</i> 1991
Allemagne, régions du Sud	29 enfants + adultes	1987-1991	Dics + cring	Approximativement 2,6 fois	Stephan, Oestreicher 1993
Norvège, régions sélectionnées	44 Lapons nomades 12 éleveurs de moutons	1991	Dics + cring	10 fois	Brogger <i>et al.</i> 1996

Tableau 4.3. Aberrations chromosomiques dans les lymphocytes des personnes vivant dans les régions de l'Europe de l'ouest contaminées par le nuage de Tchernobyl : chromosomes dicentriques (dics), anneaux centriques (cring) (Schmitz-Feuerhake 2006).

À travers l'Europe de l'ouest et la Scandinavie, de nombreuses études ont identifié l'exposition aux radiations de Tchernobyl *in utero* comme cause des avortements spontanés accrus, poids de naissance insuffisants et survie infantile réduite (Tableau 4.4.).

Pays	Effets	Références
Europe: Grèce, Hongrie, Pologne, Suède	Mortinaissances	Scherb <i>et al.</i> 1999b, 2000b, 2003
Pologne	Mortalité infantile	Korblein 2003a
Norvège	Avortements spontanés	Ulstein <i>et al.</i> 1990
Hongrie	Faible poids à la naissance	Czeisel 1988
Finlande	Naissances prématurées et malformations à la naissance	Harjulehto <i>et al.</i> 1989
Finlande	Taux des naissances réduit, mortinaissances	Harjulehto <i>et al.</i> 1989, Scherb, Weigelt 2003
Allemagne (RFA + RDA)	Morts périnatales	Korblein, Kuchenhoff 1997 ; Scherb <i>et autres.</i> 2000a, 2003
Allemagne du Sud	Morts néonatales précoces	Lüning <i>et al.</i> 1989
Bavière	Morts périnatales, mortinaissances	Grosche <i>et al.</i> 1997; Scherb <i>et al.</i> 1999a, 2000a, 2003
Bavière	Taux des naissances réduit	Korblein 2003a

Tableau 4.4. Accroissement observe des mortinaissances, des morts néonatales, des avortements spontanés et des faibles poids à la naissance, après exposition *in utero* du fait de l'accident de Tchernobyl accident. *) Les morts périnatales rassemblent les mortinaissances et les morts dans les 7 jours après la naissance. **) La réduction du taux des naissances est prise comme moyen de mesure des avortements spontanés (Schmitz-Feuerhake 2006).

Vers l'Ouest et le Sud, de l'Allemagne à la Bulgarie et la Turquie en passant par la Croatie, des malformations congénitales en augmentation sont enregistrées chez les enfants irradiés avant leur naissance (voir le Tableau 4.5.). Scherb & Weigelt (2002) constatent des élévations significatives de l'incidence des mortinaissances et des difformités en Bavière, y compris les malformations cardiaques. Ils estiment qu'entre octobre 1986 et décembre 1991, Tchernobyl peut être tenue pour responsable de 1 000 à 3 000 malformations congénitales dans la région; et que les recherches doivent être poursuivies. Dans une étude ultérieure, ces mêmes auteurs (Scherb & Weigelt 2003), sur la base des données de Bavière, de l'ex-RDA, de Berlin-Ouest, de Pologne, de Lettonie, de Hongrie, du Danemark, de Suède, de Norvège et d'Islande, estiment le risque relatif des mortinaissances à 1 0061 par kBq/m² ou 1,3 mSv/a (p=0.000026). Des accroissements significatifs dans les malformations congénitales enregistrées en Moldavie sont attribués aux effets combinés de la pollution par les pesticides et celle de Tchernobyl. Cependant, des recherches complémentaires sont nécessaires pour confirmer la contribution de chacune de ces pollutions sur ces pathologies (Grigory *et al.* 2003).

Pays/Région	Effets	Références
Turquie	Anencéphalie, spina bifida	Akar <i>et al.</i> 1988/89; Caglayan <i>et al.</i> 1990; Güvenc <i>et al.</i> 1993; Mocan <i>et al.</i> 1990
Bulgarie, région de Pleven	Malformations du coeur et du système nerveux central, malformations multiples	Moumdjiev <i>et al.</i> 1992
Croatie	Malformations à l'autopsie d'enfants mort-nés et de cas de morts précoces	Kruslin <i>et al.</i> 1998
Allemagne		
Ex-République Démocratique Allemande, Registre central	Fissure du palais et/ou bec-de-lièvre	Zieglowski & Hemprich 1999
Allemagne: Bavière	Fissure du palais et/ou bec-de-lièvre, malformations congénitales	Scherb & Weigelt 2004 Korblein 2003a, 2004; Scherb & Weigelt 2003
Allemagne: Rapport Sanitaire Annuel de Berlin-Ouest 1987	Malformations des enfants mort-nés	Strahlentelex 1989
Allemagne: Ville de Iéna (Registre des malformations congénitales)	Malformations isolées	Lotz <i>et al.</i> 1996

Tableau 4.5. Accroissement observé des malformations congénitales après exposition *in utero* lors de l'accident de Tchernobyl, hors du Bélarus, de l'Ukraine et de la Russie (Schmitz-Feuerhake 2006)

Le syndrome de Down apparaît généralement à raison de 1 naissance pour 1 000, mais il est devenu plus fréquent en Europe de l'Ouest (Figure 4.1.) et en Scandinavie (Tableau 4.6.). Une augmentation statistiquement significative de la fréquence se manifeste en janvier 1987, correspondant aux enfants conçus pendant la période où les retombées de Tchernobyl ont été les plus importantes (Sperling *et al.*, 1994b).

Région	Résultats	Références
Suède	'Légère' augmentation dans les zones les plus exposées (30%)	Ericson, Kallen 1994
Ecosse, région de Lothian (0,74 million d'habitants)	Pic d'augmentation en 1987 (2 fois significatif)	Ramsay <i>et al.</i> 1991
Allemagne du Sud	La plupart des enfants conçus au moment de l'accident	Sperling <i>et al.</i> 1991
Berlin-Ouest	Forte augmentation après 9 mois	Sperling <i>et al.</i> 1991, 1994a&b

Tableau 4.6. Accroissement du syndrome de Down après exposition *in utero* lors de l'accident de Tchernobyl (d'après Schmitz-Feuerhake 2006).

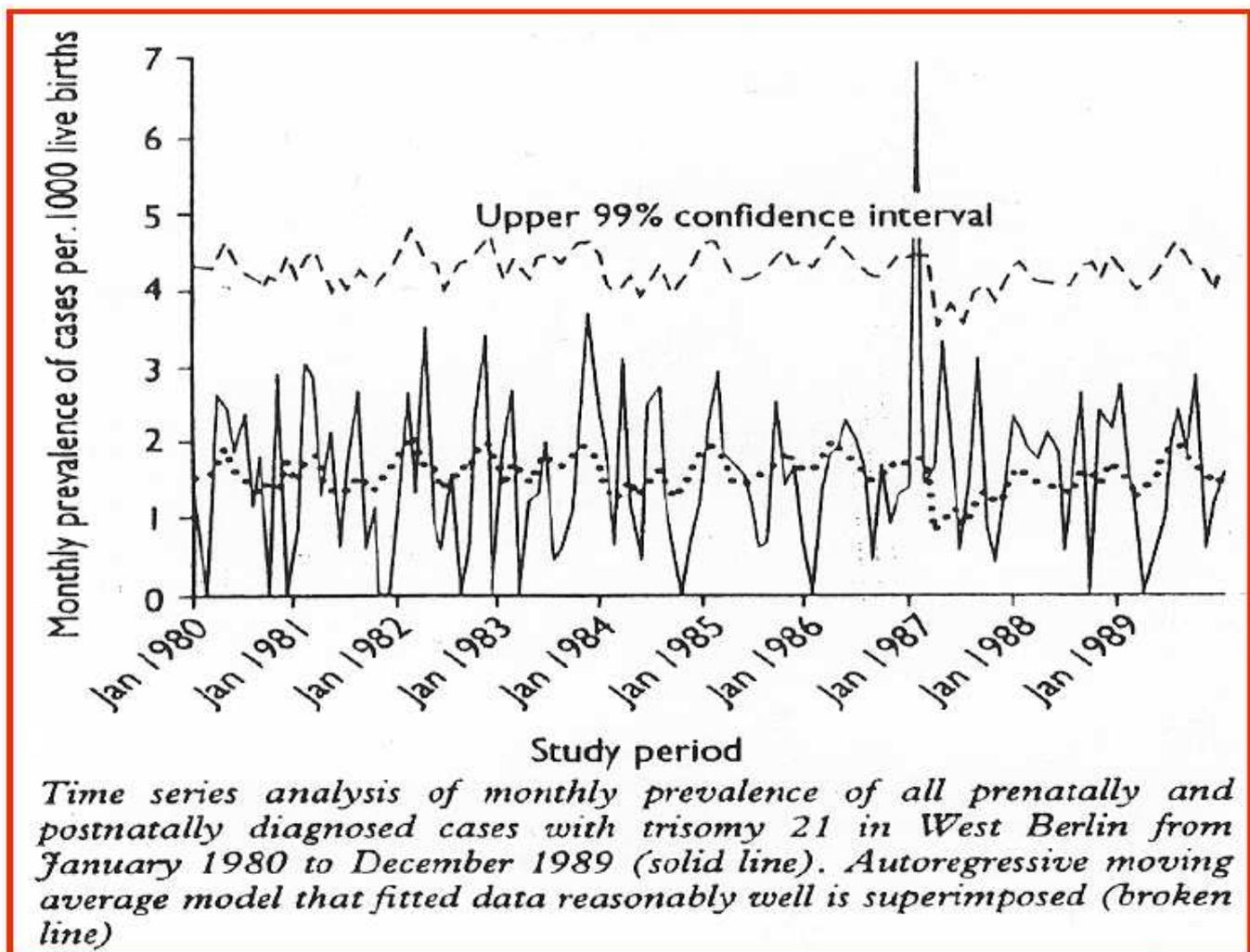


Fig.4.1. Fréquence des nouveau-nés présentant le syndrome de Down à Berlin-Ouest, 1980 – 1989.

L'asthme est aussi constaté chez les enfants exposés *in utero*, qui ont par la suite quitté les zones irradiées en Israël (Tableau 4.7).

Région	Résultats	Références
Immigrants des zones contaminées en Israël	Asthme	Kordysh <i>et al.</i> 1995

Tableau 4.7. Problèmes de santé constaté chez les enfants ayant été irradiés *in utero* lors de l'accident de Tchernobyl, à l'exception des malformations et du syndrome de Down (Schmitz-Feuerhake 2006)

En Suède, une étude faite à partir de données de 1986-1989 sur une cohorte de plus d'un million de personnes dans les zones les plus lourdement contaminées du pays montre une légère augmentation des morts par cancers. Selon les auteurs du rapport, ce sont 300 cancers qui sont à prévoir sur la base de la dose totale reçue (Tondel *et al.* 2004).

Les recherches sur la contamination et les conséquences sanitaires de Tchernobyl en Autriche sont réunies par le Ministère de l'Environnement (1995) et par Mraz (1988).

Le niveau moyen de contamination de l'Autriche par le ^{137}Cs était de 23,4 kBq/m². L'air contaminé de Tchernobyl est arrivé en Autriche par deux vagues: la première dans le Sud-Est de l'Autriche est passée par la Turquie et la Roumanie, et la seconde dans les Alpes du Nord est venue de l'Est. La distribution géographique correspond significativement aux pluies de fin avril-début mai 1986, résultant dans la contamination actuelle qui varie de presque nil (pas de pluie) à 200 kBq/m² (violents orages).

Au cours des semaines qui ont suivi l'accident, les légumes comme les épinards et les salades ont été interdits à la vente dans l'Est de l'Autriche. Le lait, spécialement dans les régions alpines, est resté contaminé pendant plus d'un an.

Dans les régions qui n'ont pas connu de précipitations, spécialement dans l'Est de l'Autriche, les concentrations d' ^{131}I dans l'air ont été élevées pendant un ou deux jours, au moment du passage du nuage radioactif. Les médecins de la région rapportent un nombre de gens malades de la thyroïde, en augmentation depuis 1990.

Une analyse de données existantes pour le cancer de la thyroïde faite par l'Institut autrichien pour l'Ecologie Appliquée en 1998 indique que, dans les régions où il y a eu une forte dose de radiation gamma les premiers jours après l'accident, le taux d'incidence du cancer de la thyroïde en 1995 est plus élevé que dans les autres régions de l'Autriche.

En 1997 et 1998, certains médias autrichiens ont rapporté une augmentation du cancer thyroïdien, de la leucémie et du lymphome non hodgkinien. Cependant, en dépit des nombreuses données sanitaires fournies par les statistiques autrichiennes pour rechercher les corrélations possibles avec l'exposition de la population aux radiations de Tchernobyl, le Ministère Fédéral autrichien de la Santé n'a pas étudié les taux d'incidence du cancer thyroïdien ou de la leucémie en référence à l'impact de Tchernobyl en Autriche.

Les enfants nés dans l'est de la Roumanie entre le 1er juillet et le 31 décembre 1987 sont significativement davantage susceptibles de souffrir de leucémie infantile que ceux qui sont nés avant ou après cette période (Davidescu *et al.* 2004).

Environ 3 000 liquidateurs sont venus d'Arménie, quatre-vingt enfants de ces hommes ont été examinés et constatés de santé généralement faible, souffrant de maux comme la pyélonéphrite secondaire, les problèmes gastro-intestinaux, la tonsillite, les convulsions hyperthermiques et l'épilepsie. Seulement quinze enfants (27,3%) ont été décrits comme «cliniquement sains» (Hovhannisyan & Asryan 2003).

La République Tchèque a reçu des retombées avec des niveaux de contamination maximale à 185 kBq/m², sauf certaines localisations où les relevés sont inférieurs. Les concentrations moyennes à travers la plus grande partie du pays sont de 5,3kBq/m², à l'exception de la Bohême occidentale, moins contaminée à 2.3-2.8 kBq/m². Une étude sur le cancer de la thyroïde couvrant 247 millions d'années-personnes montre qu'entre 1976 et 1990, le taux d'augmentation du cancer de la thyroïde est de 2% par an. En outre, on observe depuis 1990 un excès significatif de l'incidence du cancer thyroïdien qui s'ajoute à cette augmentation de 2%. Ceci ne semble pas lié à l'âge, mais les femmes sont visiblement plus touchées que les hommes. L'augmentation additionnelle des femmes souffrant de cancer thyroïdien après 1990 est de 2.9% par an, et de 1.8% pour les hommes (Murbeth *et al.* 2004). Puisque certaines régions moyennes de la

République Tchèque – par exemple : la Bavière et des zones de l'ex-Allemagne de l'Est – connaissent des relevés de contamination similaires (Murbeth *et al.* 2004), il est raisonnable d'affirmer qu'elles peuvent également enregistrer des augmentations similaires de l'incidence du cancer de la thyroïde.

Le cancer de la thyroïde est significativement élevé dans le nord de l'Angleterre (rapport de proportion: 2,2 ; IC à 95% = 1,3 ; 3,6); particulièrement élevé en Combrie, la région qui a reçu le plus de retombées de l'accident (12.19% ; IC à 95% = 1.5 ; 101.20) (Cotterill *et al.* 2001). L'incidence en Combrie avant Tchernobyl était inférieure à la normale et une recherche à long terme était envisagée pour clarifier la situation (Cotterill *et al.* 2001, Stiller 2001).

En Grèce, plusieurs laboratoires de physique nucléaire ont réalisé des recherches sur la contamination immédiatement après l'accident de Tchernobyl. L'objet principal de ce travail porte sur l'analyse de la contamination radioactive de milliers d'échantillons de terre, plus particulièrement par le ^{137}Cs .

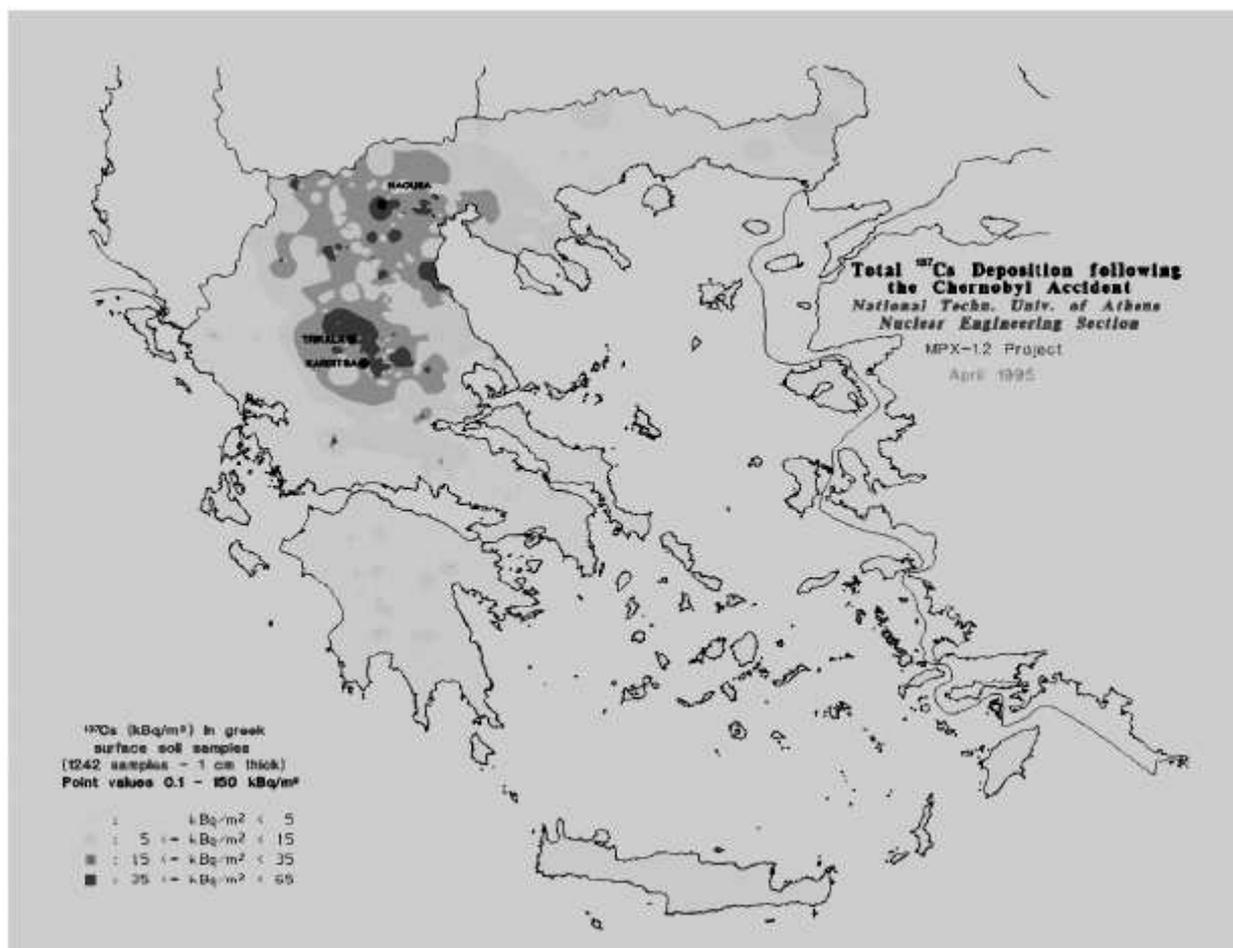


Figure 4.2. Niveaux de contamination du sol en surface par le $^{137}\text{Césium}$ en Grèce (Simopoulos 1989)

Deux grands laboratoires parmi d'autres, exposent les résultats de leurs études de manière accessible, en présentant une distribution géographique du $^{137}\text{Césium}$ déposé en surface (Simopoulos 1989, Kritidis *et al.* 1990). Les niveaux enregistrés les plus élevés (35-65 kBq/m²) se trouvent autour de Thessalonique dans le Nord et en Thessalie, dans la région du centre. Cependant, malgré cette preuve de contamination significative et les rapports événementiels des conséquences sanitaires en Grèce, la recherche fait défaut au plan national, et reste à venir.

CONCLUSIONS

Sur la base des informations présentées ci-dessus, il est raisonnable de conclure que l'accident de Tchernobyl a causé et continuera de causer une morbidité et une mortalité en quantité significative à travers l'Europe : de la Scandinavie à travers l'Europe de l'Ouest ; au Sud, jusqu'où la Turquie marque la frontière entre l'Europe et l'Asie ; et même au-delà. Dans beaucoup de pays de l'hémisphère Nord, les données concernant les doses font défaut. En raison de la courte période de certains radio-isotopes critiques, particulièrement l'¹³¹Iode, il sera impossible de calculer après coup l'irradiation à la quelle ont été exposées les populations. Cependant, la coordination d'études rétrospectives et prospectives solidement fondées devraient permettre de clarifier, autant que possible, l'étendue de la morbidité et de la mortalité résultant de l'accident de Tchernobyl.

RÉFÉRENCES

- Akar N., Cavdar A.O. & Arcasoy A. (1988). High incidence of Neural Tube defects in Bursa, Turkey. *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* 2: 89-92.
- Akar N., Ata Y. & Aytekin A.F. (1989). Neural Tube defects and Chernobyl? *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* 3:102-103.
- Brogger A., Reitan J.B., Strand P. & Amundsen I. (1996). Chromosome analysis of peripheral lymphocytes from persons exposed to radioactive fallout in Norway. *Mutat. Res.* 361: 73-79.
- Bundesministerium für Umwelt (1995) Caesiumbelastung der Boeden in Österreich - Bundesministerium für Umwelt UBA. Monographien Nr.60, Wien.
- Caglayan S., Kayhan B., Menteshoglu S. & Aksit S. (1990). Changing incidence of neural tube defects in Aegean Turkey. *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* 4: 264-268.
- CRIIRAD & Paris, A. (2002) Status of Cs-137 contamination of French soils in 2000. Publ: éditions Yves Michel, 200pp.
- Cotterill S.J., Pearce M.S. & Parker L. (2001) Thyroid cancer in children and young adults in the North of England. Is increasing incidence related to the Chernobyl accident. *Eur. J. Cancer* 37: 1020-1026
- Czeisel A.E. & Billege B. (1988). Teratological evaluation of Hungarian pregnancy outcomes after the accident in the nuclear power station of Chernobyl. *Orvosi Hetilap* 129: 457-462 (Hungarian).
- Davidescu D., Iacob O., Miron I. & Georgescu D. (2004). Infant leukaemia in Eastern Romania in relation to exposure in utero due to the Chernobyl accident. *Int. J. Rad. Med.* 6(1-4): 38-43
- De Cort M., Dubois G., Fridman Sh.D., et al. (1998). Atlas of Caesium 137 Deposition on Europe after the Chernobyl Accident. Official Publ. of European Commission, ISBN 92-828-3140-X, 66 p.
- De Cort M. (2001). Atlas of Caesium 137 Deposition on Europe after the Chernobyl Accident - CD-ROM Version. EUR Report 19801, EN/RU, EC. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. ISBN 92-894-1004-3.
- Ericson A. & Kallen B. (1994). Pregnancy outcome in Sweden after Chernobyl. *Environ. Res.* 67:149-159
- Fairlie I., Sumner D. (2006). The Other Report of Chernobyl (TORCH). Berlin, 91 pp. (http://www.greensefa.org/cms/topics/dokbin/118/118499.the_other_report_on_chernobyl_torch@en.pdf).
- Grigory E.A., Stratulat P.M. & Getcoi Z.V. (2003) Genetic monitoring of congenital malformations in the population of Republic of Moldova connected with environmental pollution. *Int. J. Rad. Med.* 5(3): 50-51.
- Grosche B., Irl C., Schoetzau A. & van Santen E. (1997). Perinatal mortality in Bavaria, Germany, after the Chernobyl reactor accident. *Rad. Environ. Biophys.* 36: 129-136.
- Güvenc H., Uslu M.A., Güvenc M., Ozkici U., Kocabay K. & Bektas S. (1993). Changing trend of neural tube defects in Eastern Turkey. *J. Epidemiol. Community Health* 47: 40-41.
- Harjulehto T., Aro T., Rita H., Rytomaa T. & Saxen L. (1989) The accident at Chernobyl and outcome of pregnancy in Finland. *Brit. Med. J.* 298: 995-997.

- Harjulehto T., Rahola T., Suomela M., Arvela H. & Saxén L. (1991). Pregnancy outcome in Finland after the Chernobyl accident. *Biomed & Pharmacother* 45: 263-266.
- Hovhannisyán N., Asryan, K.V. (2003). Health effects of Chernobyl accident for Children in Armenia. *Int. J. Rad. Med.* 5(3): 55-56.
- Kritidis P., H. Florou, & E. Papanicolaou. (1990) Delayed and Late Impact of the Chernobyl Accident on the Greek Environment. *Radiation Protection Dosimetry* 30:187-190, 1990.
- Körblein A. & Kuchenhoff, H. (1997). Perinatal mortality in Germany following the Chernobyl accident. *Rad. Environ. Biophys.* 36: 3-7.
- Körblein A. (2003a). Säuglingssterblichkeit nach Tschernobyl. *Berichte Otto Hug Strahleninstitut* 24: 6-34.
- Körblein A. (2004). Fehlbildungen in Bayern nach Tschernobyl. *Strahlentelex No. 416-417*: 4-6.
- Kordysh E.A., Goldsmith J.R., Quastel M.R., Poljak S., Merkin L., Cohen R. & Gorodischer R. (1995). Health effects in a casual sample of immigrants to Israel from areas contaminated by the Chernobyl explosion, *Environ. Health Persp.* 103: 936-941.
- Kruslin B., Jukic S., Kos M., Simic G. & Cviko A. (1998). Congenital anomalies of the central nervous system at autopsy in Croatia in the period before and after Chernobyl. *Acta Med. Croatica* 52: 103-107.
- Lotz B., Haerting J. & Schulze E. (1996). Veränderungen im fetalen und kindlichen Sektionsgut im Raum Jena nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl, Oral presentation at the International Conference of the Society for Medical Documentation, Statistics, and Epidemiology, Bonn, Germany (available on request).
- Lüning G., Scheer J., Schmidt M. & Ziggel H. (1989). Early infant mortality in West Germany before and after Chernobyl. *Lancet* II: 1081-1083.
- Mocan H., Bozkaya H., Mocan Z.M., Furtun E.M. (1990). Changing incidence of anencephaly in the eastern Black Sea region of Turkey and Chernobyl. *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* 4: 264-268.
- Moumdjiev N., Nedkova V., Christova V., Kostova Sv. (1992). Influence of the Chernobyl reactor accident on the child health in the region of Plevén, Bulgaria. In: 20th Int. Congr. Pediatrics Sept. 6-10, 1992 in Brasil, p.57. Cited by Akar N. (1994). Further notes on neural tube defects and Chernobyl (Letter), *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* 8: 456-457.
- Mraz G. (1988) .Tschernobylfolgen in Oesterreich - Bericht über die Datenlage, Publ: Austrian Institute of Applied Ecology, <http://www.ecology.at> .
- Murbeth S., Rousarova M., Scherb H. & Lengfelder E. (2004). Thyroid cancer has increased in the adult populations of countries moderately affected by Chernobyl fallout. *Med. Sci. Monit.* 10(7): CR300-306.
- Neeman & Steiner (2001). Ionizing Radiation in Israel. Environmental Report 1999-2001. Publ: Office of Radiation and Noise Protection at the Ministry of the Environment, Israel, 69pp.
- Pohl-Rüling J., Haas O., Brogger A., Obe G., Lettner H., Daschil F., Atzmüller C., Lloyd D., Kubiak R. & Natarajan A.T. (1991). The effect on lymphocyte chromosomes of additional burden due to fallout in Salzburg (Austria) from the Chernobyl accident. *Mutat. Res.* 262: 209-217.
- Ramsay C.N., Ellis P.M. & Zealley H. (1991). Down's syndrome in the Lothian region of Scotland – 1978 to 1989. *Biomed. Pharmacother.* 45: 267-272.
- Scherb H. & Weigelt E. (1999a). Spatial-temporal logistic regression of the cesium contamination and the time trends in annual stillbirth proportions on a district level in Bavaria, 1980-1993, in: Proceedings of the 14th international workshop on statistical modelling, H. Friedl et al., ed., Technical University Graz, Graz, Austria, pp.647-650.
- Scherb H. & Weigelt E. (2002). Is increased reproductive failure in Germany and Europe after the Chernobyl accident causally related to radioactive fallout? Paper Presented at IBC2002: XXIst International Biometric Conference.
- Scherb H., Weigelt E. & Brüske-Hohlfeld, I. (1999b). European stillbirth proportions before and after the Chernobyl accident. *Int. J. Epidemiol.* 28: 932-940.
- Scherb H., Weigelt E. & Brüske-Hohlfeld, I. (2000a) Regression analysis of time trends in perinatal mortality in Germany, *Environ. Health Persp.* 108: 159-165.

- Scherb H. & Weigelt E. (2000b) Spatial-temporal change-point regression models for European stillbirth data, in: 30th Ann. Meeting Europ. Soc. Radiat. Biol., Warszawa, Poland, August 27-31, Abstracts, p.14. <http://www.tschernobylhilfe.ffb.org/dokumente/warschau.pdf>.
- Scherb H. & Weigelt E. (2003). Congenital malformation and stillbirth in Germany and Europe before and after the Chernobyl nuclear power plant accident. *Environ. Sci.& Pollut.Res.* 10 Special (1): 117-125.
- Scherb H. & Weigelt E. (2004). Cleft lip and cleft palate birth rate in Bavaria before and after the Chernobyl nuclear power plant accident. *Mund Kiefer Gesichtschir.* 8: 106-110 (in German).
- Schmitz-Feuerhake I. (2006). Anstiege bei Fehlbildungen, perinataler Sterblichkeit und kindlichen Erkrankungen nach vorgeburtlicher Exposition durch Tschernobylfallout. *Umwelt-medizin-gesellschaft* 19/2. Schmitz-Feuerhake I. (2006). Teratogenic Effects After Chernobyl. In: Busby C.C., Yablokov A.V. (Eds.).
- ECRR Chernobyl: 20 Year On. Health Effects of the Chernobyl Accident. Doc. Of the ECCR. 2006, # 1, pp. 105-117.
- Simopoulos S.E. (1989). Soil Sampling and Cs-137 Analysis of the Chernobyl Fallout in Greece. *Appl. Radiat. Isot.* Vol. 40, No. 7, pp. 607-613, 1989.
- Sperling K., Pelz, J., Wegner R.-D., Schulzke I. & Struck E. (1991). Frequency of trisomy 21 in Germany before and after the Chernobyl accident. *Biomed. Pharmacother.* 45: 255-262.
- Sperling K., Pelz J., Wegner R.-D., Dörries A., Grüters A. & Mikkelsen M. (1994a). Bewertung eines Trisomie 21 Clusters. *Med. Genetik* 6: 378-385.
- Sperling K., Pelz J., Wegner R.-D., Dorries A., Gruters A. & Mikkelsen M. (1994b) Significant increase in trisomy 21 in Berlin nine months after the Chernobyl reactor accident: temporal correlation or causal relation. *BMJ* 309: 158-161.
- Stephan, G. & Oestreicher, U. (1993) Chromosome investigation of individuals living in areas of Southern Germany contaminated by fallout from the Chernobyl reactor accident. *Mutat. Res.* 319: 189-196.
- Stiller C.A. (2001). Thyroid cancer following Chernobyl. *Eur. J. Cancer* 37: 945-947.
- Strahlentelex 55 (1989). Säuglinge starben vermehrt oder wurden tot geboren, Berlin, Germany, p. 6.
- Tondel M., Hjalmarsson P., Hardell L., Carlsson G. & Axelson O. (2004). Increase of regional total cancer incidence in north Sweden due to the Chernobyl accident? *J. Epidemiol Community Health* 58: 1011–1016.
- Ulstein M., Jensen T.S., Irgens L.M., Lie R.T. & Sivertsen E.M. (1990). Outcome of pregnancy in one Norwegian county 3 years prior to and 3 years subsequent to the Chernobyl accident. *Acta Obstet. Gynecol Scand.* 6: 277-280.
- UNSCEAR (2000) UNSCEAR 2000 report to the General Assembly. Annex J, Exposures and effects of the Chernobyl Accident. *Int. J. Rad. Med.* 2-4(6-8).
- Ziegłowski V. & Hemprich A. (1999). Facial cleft birth rate in former East Germany before and after the reactor accident in Chernobyl, *Mund Kiefer Gesichtschir.* 3: 195-199 (in German).