

**LES FAIBLES DOSES DE RAYONNEMENT  
SONT-ELLES DANGEREUSES ?**

**E.V. BURLAKOV A, ÉDITEUR.**

**Nov A SCIENCE PUBLISHERS, INC.  
Huntington, New York**

Production éditoriale : Susan Boriotti  
Responsable du bureau : Annette Hellinger  
Graphique: Frank Grucci et Jennifer Lucas  
Rédacteur en chef des informations : Tatiana Chohov  
Production du livre : Donna Dennis, Patrick Davin, Cathy DeGregory et  
Lynette Van Helden  
Circulation: Latoya Clay, Anna Cruz et Lisa DiGangi

Données de catalogage avant publication de la Bibliothèque du  
Congrès disponibles sur demande

ISBN 1-56072-699-7

Droits d'auteur ! 2 000 \$ par Nova Science Puishers, Inc.  
227 Main Street, Suite 100  
Huntington, New York 11743 Tél.  
631-424-6682 Fax 631-424-4666  
courriel : Novascience@earthlink.net  
Courriel : Novascil@aol.com  
Site Web : <http://www.nexusworld.com/nova>

Tous droits réservés. Aucune partie de ce livre ne peut être reproduite, stockée dans un système de recherche documentaire ou transmise sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit : électronique, électrostatique, magnétique, sur bande magnétique, photocopie mécanique, enregistrement ou autre, sans l'autorisation des éditeurs.

Les auteurs et l'éditeur ont apporté le plus grand soin à la préparation de ce livre, mais n'offrent aucune garantie, expresse ou implicite, et déclinent toute responsabilité quant aux erreurs ou omissions. Aucune responsabilité n'est assumée pour les dommages accessoires ou indirects liés aux informations contenues dans ce livre.

Cette publication vise à fournir des informations exactes et faisant autorité sur le sujet traité. Elle est vendue étant entendu que l'éditeur ne fournit pas de services juridiques ni aucun autre service professionnel. Si une assistance juridique ou autre est requise, il convient de faire appel aux services d'une personne compétente. EXTRAIT D'UNE DÉCLARATION DES PARTICIPANTS, ADOPTÉ CONJOINTEMENT PAR L'ASSOCIATION DU BARREAU AMÉRICAIN ET L'ASSOCIATION DU BARREAU

ÉDITEURS.

Imprimé aux États-Unis d'Amérique

## Chapitre 19

# CONSÉQUENCES À DISTANCE DE TCHERNOBYL CATASTROPHE : BILAN APRÈS 13 ANS

RI Goncharova

Institut de génétique et de cytologie, Académie nationale des sciences de Biélorussie

L'évaluation des conséquences de l'accident de Tchernobyl se résume à l'évaluation des effets d'une faible irradiation chronique combinée (externe et interne) sur la santé humaine et le bien-être des organismes vivants. Cet article présente une analyse de la littérature et des résultats originaux d'études de laboratoire et d'études épidémiologiques accumulés pendant 13 ans concernant les conséquences à long terme de la catastrophe de Tchernobyl. Les paramètres suivants ont été pris en compte : estimations des doses de rayonnement reçues par la population ; effets biologiques d'une faible irradiation chronique ; effets stochastiques à long terme des rayonnements tels que le cancer de la thyroïde, la leucémie et les cancers solides ; effets génétiques sur les cellules somatiques et germinales ; augmentation de la morbidité chez les habitants des régions radio-contaminées.

## L'ANALYSE DES INFORMATIONS RECUEILLIES PERMET PRÉVISION DES RISQUES GRAVES DE RADIOACTION POUR LA POPULATION DE BIÉLORUSSIE

L'évaluation des conséquences de l'accident de Tchernobyl se réduit à l'estimation de l'effet des faibles doses de rayonnements combinés chroniques (externes et internes) sur la santé humaine et le bien-être des organismes vivants.

Selon les informations du Comité biélorusse d'hydrométéorologie et de l'Atlas de la contamination au césium de l'Europe après l'accident de Tchernobyl (Atlas ... , 1996), la quasi-totalité du territoire biélorusse s'est avérée contaminée à  $^{137}\text{Cs}$  au-dessus du niveau des retombées mondiales. Une densité de contamination égale à 37 kBq/m<sup>2</sup> est acceptée comme une valeur limite pour distinguer les régions dites propres des régions contaminées. Le niveau de radio-contamination dans les régions dites propres est inférieur à 37 kBq/m<sup>2</sup> (1 Ci/km<sup>2</sup>) et celui dans les régions radio-contaminées représentant 23 % du territoire du pays est supérieur à cette valeur.

La reconstitution des retombées de l'isotope  $^{131}\text{I}$  a montré que la quasi-totalité du pays était contaminée par cet isotope. Ainsi, l'ensemble de la population biélorusse (plus de 10 millions de personnes), ainsi que la flore et la faune, ont été exposés aux radiations dues à la catastrophe de la chimio-irradiation depuis 1986. Une compréhension claire de ce fait est essentielle pour interpréter les effets enregistrés. Les résultats des enquêtes épidémiologiques et de laboratoire accumulés pour les années permettent d'évaluer les conséquences à long terme de la catastrophe de Tchernobyl.

## ÉVALUATION DES DOSES DE RAYONNEMENT

L'évaluation des doses de radiation dues aux retombées de Tchernobyl est un problème complexe et non résolu.

Les données résumées ont été données dans le rapport de Cardis et al. et dans quelques autres à Vienne en 1996. D'après ces informations, les liquidateurs qui ont travaillé entre 1985 et 1987 ont reçu en moyenne une dose d'environ 100 mSv et certains d'entre eux ont reçu entre 250 et 500 mSv. La dose efficace moyenne calculée sur la période 1986-1995 pour la population des régions de contrôle strict avec un niveau de radio-contamination supérieur à  $550 \text{ kBq/m}^2$  ( $15 \text{ Ci/km}^2$ ) est de 50 à 60 mSv et celle pour la population vivant dans les zones les moins contaminées est de 6 à 20 mSv.

L'estimation de la dose collective équivalente pour 7 millions de personnes vivant en Biélorussie, en Ukraine et en Russie, dans les zones où le niveau de radio-contamination est supérieur à  $37 \text{ kBq/m}^2$ , s'élève à 35 000-100 000 homme-Sv. Parallèlement, selon les calculs de M.V. Malko (Malko, 1998), la dose collective équivalente totale de rayonnement, compte tenu de ses isotopes à courte durée de vie ( $^{131}\text{I}$ ) et les isotopes du Cs pour les habitants biélorusses vivant dans les zones avec une densité de contamination supérieure à  $37 \text{ kBq/m}^2$  constitueront  $11,85 \times 10^4$  homme-Sv sur 70 ans, dont  $6,35 \times 10^4$  homme-Sv dus à  $^{131}\text{I}$ ,  $4,25 \times 10^4$  human-Sv dus à  $^{137}\text{Cs}$  et  $0,86 \times 10^4$  Sv humain dus à  $^{134}\text{Cs}$ .

Les données de Kenigsberg et Minenko (1995) sur l'estimation de la dose efficace totale et de la dose efficace moyenne sur la période 1986-1995 pour la population totale de Biélorussie sont présentées dans la Partie 1. Les estimations de la dose moyenne pour les pays les personnes dans les zones les plus contaminées des régions de Gomel et de Mogilev étaient de 13,4 et 8,82 mSv respectivement.

Tableau 1. Dose de rayonnement globale et moyenne cumulative de groupe des habitants de Biélorussie au cours de la période 1986-1994

| Région, ville   | rayonnement total           | Doses cumulées de                   |                                     |
|-----------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|                 | dose, somme,<br>Personne-Sv | population rurale,<br>> 18 ans, mSv | population urbaine,<br>>18 ans, mSv |
| Région de Brest | 163                         | 1,90                                | 1.07                                |
|                 | 5                           |                                     |                                     |
| Vitebsk         | 213                         | 0,24                                | 0,20                                |
| Région          |                             |                                     |                                     |
| Région de Gomel | 100                         | 13h40                               | 7.42                                |
|                 | 05                          |                                     |                                     |
| Grodno          | 614                         | 0,74                                | 0,80                                |
| Région          |                             |                                     |                                     |
| Région de Minsk | 776                         | 0,69                                | 0,41                                |
| Mogouilev       | 420                         | 8,82                                | 1,88                                |
| Région          | ---                         |                                     |                                     |
| Brest           | 74                          |                                     | 0,32                                |
| Vitebsk         | 59                          |                                     | 0,19                                |
| Gomel           | 247                         |                                     | 5.53                                |
|                 | ---                         |                                     |                                     |
| Grodno          | 99                          |                                     | 0,41                                |
| Minsk           | 366                         |                                     | 0,26                                |
| Mogouilev       | 456                         |                                     | 1.42                                |

Extrait de : Conséquences écologiques, médico-économiques et socio-économiques de la catastrophe de la centrale nucléaire de Tchémobyl en Biélorussie. Éd., E. F. Konoplya, I. V. Rolevich, Minsk, 1996.

Malgré toute l'incertitude de ces estimations, l'estimation de la dose de rayonnement individuelle Ce qui a été reçu par le peuple en 1986 et 1987 est une question de la plus grande difficulté. Pour une estimation rétrospective de la dosimétrie de la population vivant dans des zones radiocontaminées, la méthode de dosimétrie ESR pour l'email a été développée à l'Institut de biophysique de Russie. Cette méthode, certifiée en métrologie, permet de déterminer avec précision la dose individuelle d'irradiation externe, depuis le niveau de fond jusqu'à quelques Gy (Keirim-Markus et al., 1995).

Selon l'étude de Keirim-Markus et al. (1995), la dose d'irradiation externe mesurée avec précision, reçue par la population en 1986-1987, s'est avérée plusieurs fois supérieure aux estimations maximales calculées. Ainsi, la dose médiane pour les habitants du district de Novozybkov, dans la région de Brest, était de 290 mGy, et les doses individuelles les plus élevées étaient 5 à 6 fois supérieures.

Il convient de noter que les régions de Gomel et de Moguilev en Biélorussie sont beaucoup plus contaminées que la région de Briansk. Par conséquent, les recherches de Keirim-Markus et al. ont montré la nécessité d'une réestimation rétrospective des doses accidentelles, les valeurs calculées se révélant très réduites.

Les travaux de recherche (Krivoruchko, Naumov, 1997 ; Dubina, Kulich, 1997) ont corroboré ce fait de manière convaincante. Selon leurs calculs, la population du district de Khoïniki a reçu une dose de 2 à 25 cGy pendant les 10 premiers jours.

### **EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS CHRONIQUES À FAIBLE DOSE**

La réalité des effets biologiques des doses faibles et extrêmement faibles d'irradiation, ainsi que la nature et la forme des relations dose-effet, restent floues. Cependant, de plus en plus d'informations sur les effets significatifs des faibles doses sont recueillies lors d'études en laboratoire et épidémiologiques, ainsi que lors d'études de populations naturelles chroniquement irradiées. Concernant l'évaluation des risques, les différents types de courbes dose-effet pourraient conduire à différents scénarios de risque pour la population humaine exposée aux retombées de Tchernobyl.

La situation écologique réelle nécessite de distinguer le rôle du facteur rayonnement dans les effets épidémiologiques et autres. C'est pourquoi l'étude des effets d'une exposition chronique à de faibles doses de rayonnement dans des conditions strictement contrôlées est essentielle.

Ainsi, nous avons étudié les paramètres de reproduction des carpes dénudées gardées dans l'étang radio-contaminé depuis 1986 (l'activité  $y$  pour le  $^{137}\text{Cs}$  dans les dépôts du fond était de 2812 Bq/kg) et défini les caractéristiques morphologiques et cytogénétiques de leur progéniture aux premiers stades de développement (embryons, larves de deux jours). Il convient de noter qu'aucune substance tensioactive, aucun métal lourd, aucun pesticide (aldrine, DDT, hexachlore, cyclohexane, hexachlorane, keltan, heptachlore) et herbicide (simazine), ni aucune trace d'engrais (ammoniac salé et albuminoïde, potassium), de produits pétroliers et de phénols n'ont été détectés. L'incubation en usine a été réalisée dans l'appareil de Weiss sous un contrôle strict de toutes les conditions technologiques d'incubation par le thermo-oxymètre Horiba U-7. Un groupe de femelles et de mâles du même âge, marqués avec un colorant spécial et numérotés, a été sélectionné parmi les poissons rayés afin d'évaluer leurs propriétés reproductives. Cela a permis d'étudier les propriétés reproductives de ces mêmes poissons rayés sur plusieurs années, ainsi que d'évaluer la qualité de la progéniture de chaque couple de parents. La liste des paramètres de reproduction des carpes d'étang rayées est présentée au tableau 2.

La figure 1 représente les coefficients de corrélation par paires et multiples des paramètres étudiés avec la teneur en radionucléides dans les œufs durs femelles, la laitance mâle, ainsi que dans les produits reproducteurs de chaque paire de parents.

Nous avons montré que les paramètres de reproduction des poissons carpes dénudés tels que la qualité de la laitance, le pourcentage de fécondation, le nombre de prélarves et de larves écloses, la survie des larves ainsi que la fréquence des anomalies morphologiques et des lésions cytogénétiques chez leur progéniture aux premiers stades de développement (embryons, larves de deux jours) dépendent de la concentration de radionucléides dans les produits de reproduction des poissons dénudés (48-157 Bq/kg dans les œufs durs, 133-281 Bq/kg dans la laitance) et, par conséquent, sont induits par l'effet des radiations. La dose absorbée due à l'irradiation interne et externe des cellules germinales des poissons dénudés était de 4,7-5,4  $\mu\text{Gy}$  par jour (Goncharova et al., 1997).

Une relation directe a été démontrée entre les valeurs des paramètres morphologiques et cytogénétiques des alevins de carpes, issus de poissons dépouillés et irradiés chroniquement et élevés dans des étangs radiocontaminés, et la concentration de radionucléides incorporés (la dose absorbée quotidienne calculée due à l'irradiation externe et interne était de 0,4 à 5,5  $\mu\text{Gy}$ ). La radiosensibilité génétique des poissons s'est révélée similaire à celle des mammifères (Shima, Shimada, 1988).

Une comparaison similaire entre les indices cytogénétiques et la concentration en radionucléides chez les animaux issus de populations naturelles a été réalisée par nous (Goncharova et al., 1997 ; Goncharova et al., 1999).

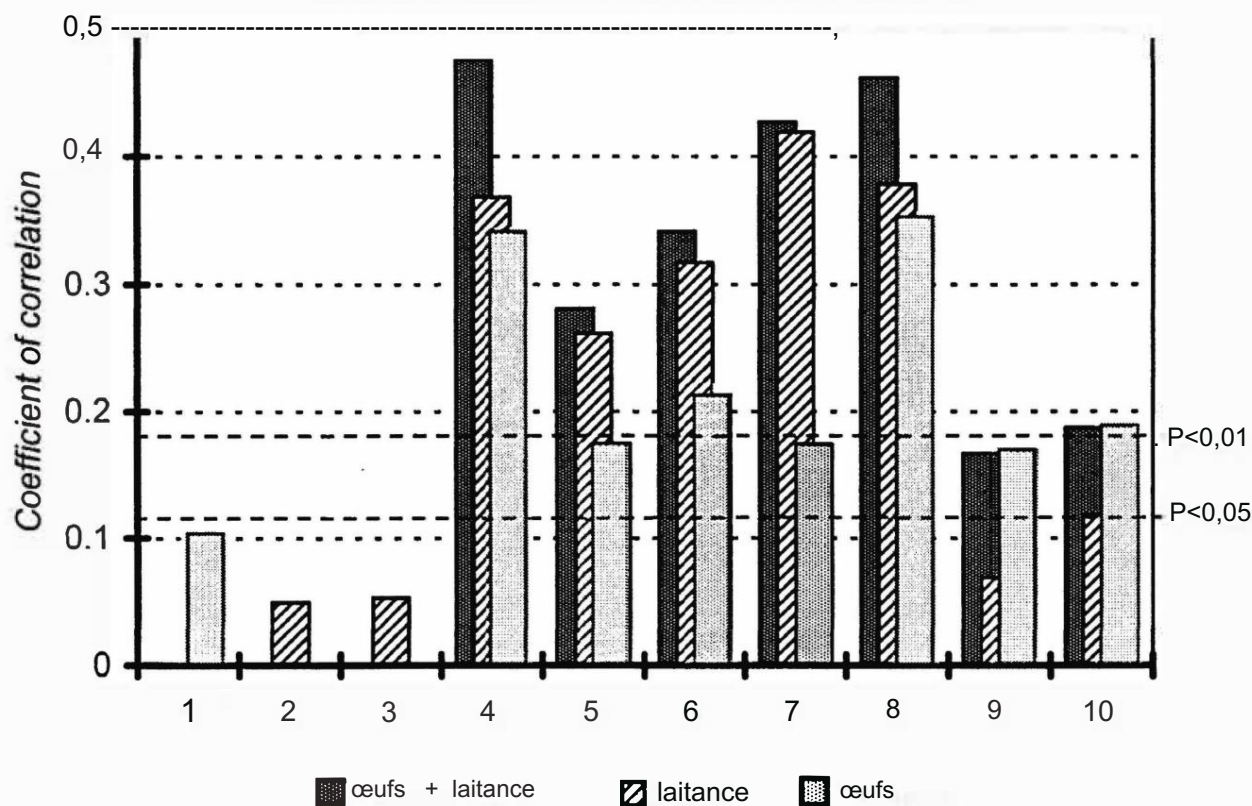
L'augmentation de la mutabilité des cellules somatiques chez le campagnol roussâtre, dont les populations vivent 1 à 8 ans sous un fond de rayonnement artificiellement augmenté (5 à 1526  $\text{kBq/m}^2$  pour  $^{137}\text{Cs}$ ), s'est avérée dépendre de faibles concentrations de radionucléides incorporés et du débit de dose absorbée (2 à 730  $\mu\text{Gy/jour}$ ) (Goncharova et al., 1999). Ce fait indique l'efficacité génétique de très faibles doses d'irradiation chronique pour les cellules somatiques de petits mammifères. L'analyse de régression a montré que la forme de cette relation est non linéaire et est mieux décrite par l'équation de parabole du second ordre (Goncharova, Smolich, 1998 ; Goncharova et al., 1999).

Les coefficients de détermination calculés à partir des équations de régression multiple montrent que la relation entre les effets biologiques et la teneur en radionucléides chez les carpes d'étang et les petits mammifères est, en règle générale, faible ou très faible. Ainsi, dans la région de faible dose, la part de l'influence du facteur de rayonnement chronique était mineure dans les effets enregistrés. Néanmoins, ces relations sont significatives et indiquent l'efficacité biologique de doses extrêmement faibles de l'ordre du  $\mu\text{Gy}$  d'irradiation chronique (Goncharova et al., 1997 ; Goncharova et al., 1999 ; Riabokon, 1999).

Tableau 2. Caractéristiques reproductives des parents carpes

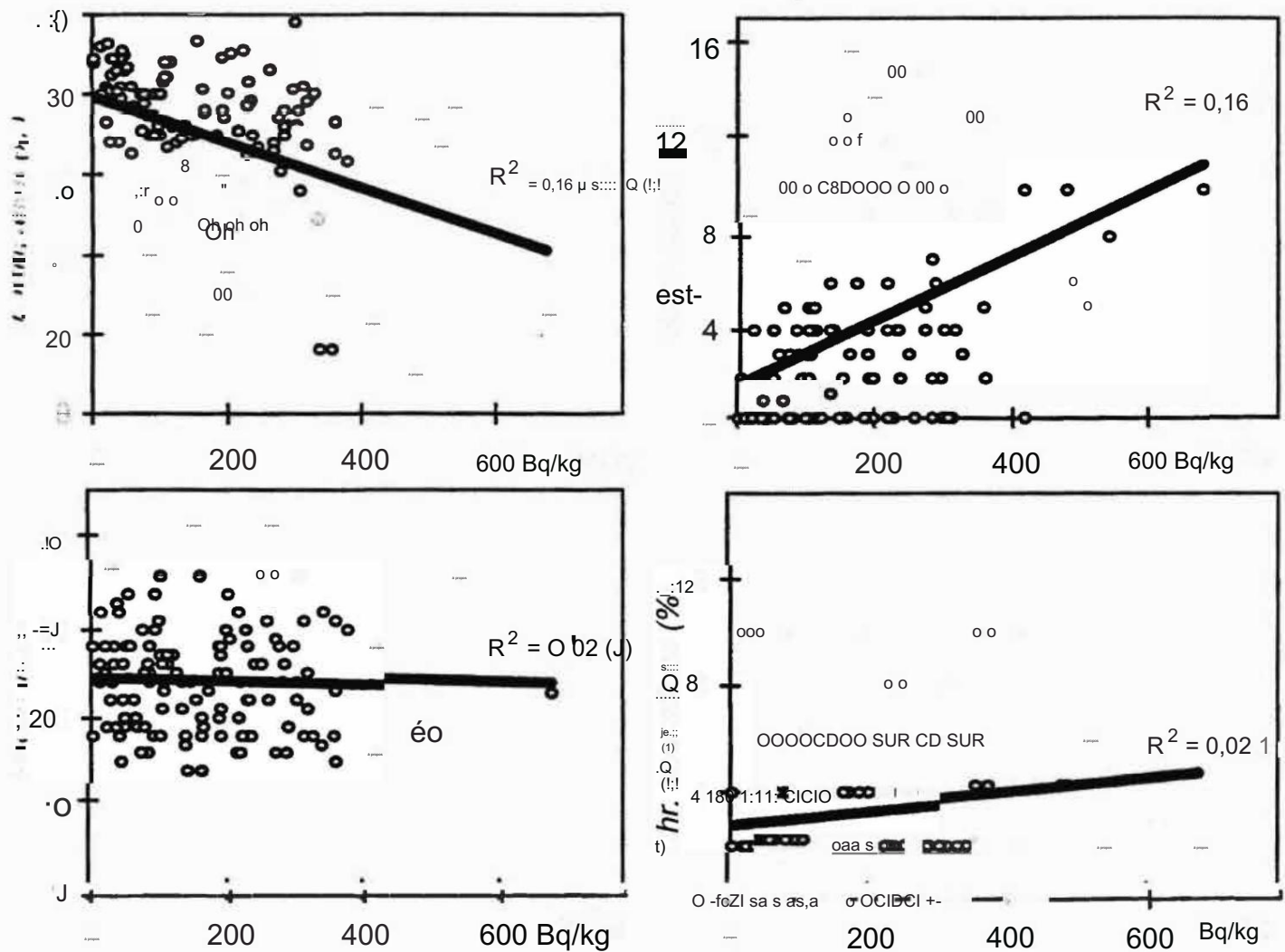
| nn | Caractéristiques                                                     | Unité de mesure |
|----|----------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1  | Nombre d'oeufs                                                       | ths par femelle |
| 2  | Quantité de laitance                                                 | ml pour le mâle |
| 3  | Qualité de la laitance                                               | marque          |
| 4  | Fertilisation                                                        | %               |
| 5  | Nombre de prélarves                                                  | ths par femelle |
| 6  | Nombre de larves                                                     | ths par femelle |
| 7  | Surveillance des larves                                              | %               |
| 8  | Fréquence des anomalies morphologiques                               | %               |
| 9  | Index mitotique                                                      | %               |
| 10 | Fréquence des abétisations chromosomiques à<br>stade d'astula tardif | %               |

Figure 1. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques reproductives des parents carpes et la concentration en radionucléides dans leurs produits génétiques (les coefficients de corrélation sont donnés en valeurs absolues). Les caractéristiques sont les mêmes que dans la Figure 2.



La forme de dépendance entre des paramètres tels que le pourcentage de fertilité chez les poissons carpes dépouillés ainsi que le nombre de malformations morphologiques, l'indice mitotique et la fréquence des cellules antigènes dans leurs progénitures et la concentration des radionucléides incorporés peuvent être jugées par des lignes de régression qui sont représentées sur la Fig. 2.

Figure 2. Relations entre les caractéristiques étudiées des poissons et la teneur en radionucléides de leurs parents.



Il convient de noter que les dépendances étaient bien décrites par les équations de régression linéaire pour la quasi-totalité des effets biologiques enregistrés. Cette dépendance était non linéaire et bien décrite par l'équation de la parabole du second ordre pour un paramètre tel que la qualité des œufs de poisson, déterminée par le taux de mobilité spennatozoïde.

Nous avons ainsi démontré les effets défavorables (négatifs) de très faibles doses d'irradiation interne aux premiers stades de développement des descendants dont les parents vivent dans des conditions d'irradiation chronique régulière.

Par conséquent, nos résultats et les faits scientifiques sur l'existence de dépendances linéaires (Streffer, Tanooka, 1996) dans la gamme de doses très faibles (2-45 mGy) apportent la preuve de

l'absence de seuil (Goncharova, 1998 ; Goncharova, 1999 ; Goncharova et al 1999).

## EFFETS SANITAIRES À LONG TERME

Selon les prévisions de l'Institut de biophysique de l'Académie des sciences de l'URSS (Iliin et al., 1989) et du Projet international Tchernobyl (Comité consultatif international, 1991), menée sous l'égide de l'AIEA, une légère augmentation du cancer de la thyroïde, difficilement distinguable d'une maladie spontanée, pourrait être le seul effet néfaste des retombées de Tchernobyl.

En réalité, une augmentation significative du cancer de la thyroïde chez les enfants en Biélorussie a commencé en 1990 et, en 1998, plus de 900 enfants ont été diagnostiqués et opérés. Une augmentation similaire, mais à un degré moindre, a été observée chez les enfants en Ukraine et en Russie. Il a fallu six ans aux organismes scientifiques internationaux pour reconnaître la réalité d'une augmentation aussi importante de l'incidence de ce cancer et le lien entre cette augmentation et les radiations dues à la catastrophe de Tchernobyl.

Cet écart important entre le nombre de cancers de la thyroïde apparus chez les enfants au moment de l'accident et le nombre prédit de ces cancers et leur durée de latence, sur la base de la dosimétrie thyroïdienne standard et des modèles actuels de projection du risque, a clairement révélé la crise profonde de la radio-biologie officielle. Les causes de cet échec ont été analysées en détail par M.V. Malko (Malko, 1998).

Les résultats d'une étude approfondie menée sur un large groupe de personnes (2 634) dont la région cervicale a été exposée à de faibles doses de radiations dans leur jeune âge sont connus depuis longtemps. Il convient de noter que l'irradiation du cou et de la tête était largement utilisée aux États-Unis et dans d'autres pays avant les années 60 pour soigner des maladies bénignes telles que l'amygdalite, les végétations adénoïdes et autres affections bénignes similaires. Ce traitement a eu des conséquences très graves que les experts devaient connaître. Un cancer de la thyroïde a été détecté chez 12 % des patients et des ganglions divers ont été observés chez 3,7 % d'entre eux, 60 % des tumeurs ayant été détectées chez des personnes dont la glande thyroïde avait été exposée à des radiations de 10 à 60 cGy dans leur jeune âge. Un pic de risque relatif d'apparition de tumeurs a été observé 25 ans après l'irradiation, mais les effets de l'irradiation du cou et de la tête chez les enfants ont été surveillés jusqu'à 40 ans (période d'observation) après l'exposition.

La principale conclusion tirée de ces examens est la suivante : le cancer de la thyroïde est l'indicateur le plus sensible de l'irradiation infantile, même avec des doses aussi faibles que 1 µGy (Tsyb, Poverenyi, 1996).

Nous présentons dans ce contexte les données connues de 250 mille mesures du taux de charge de dose sur la glande thyroïde des habitants biélorusses faites par les chercheurs de l'Institut de biophysique de l'URSS de mai à août 1986. La dose moyenne pour les adultes était égale à 154 cGy et pour les enfants - 310 cGy, avec plus de 5 % des enfants ayant absorbé plus de 1000 cGy sur la glande thyroïde et certains d'entre eux - plus de 5 000 cGy.

À la suite de discussions animées lors de sa participation au sous-comité du travail, de la santé et de l'éducation du Sénat américain, le directeur de l'Institut national du cancer, Richard Klausner, a dû admettre qu'environ 75 % des cas supplémentaires de cancer de la thyroïde peut survenir suite aux

essais nucléaires effectués au Nevada dans les années 1950. Cela concerne principalement les enfants lors de ces essais. L'étude des conséquences des explosions nucléaires au Nevada est menée par cet institut pour le compte du Congrès américain depuis 1982. La dose d'irradiation moyenne pour les Américains, calculée sur la base de 90 explosions, a été établie en 1994 et s'élevait à 2 rad (Wadnman, 1997).

Quant aux prévisions des conséquences de Chemobyl, elles sont les suivantes, selon une analyse indépendante de M.V. Malko (Malko, 1998a). La fréquence des cancers de la thyroïde chez les habitants des régions de Gomel, Mogilev et Brest en Biélorussie (à l'exception des liquidateurs) sera de 10 à 20 mille cas, dont 1 à 2 mille cas mortels. Il est donc clair qu'une grande proportion de cancers « non détectés » sera attendue à l'avenir. À mon avis, le deuxième pic de cancers de la thyroïde sera observé dans 20 à 25 ans après l'accident de Tchernobyl.

La leucémie est considérée comme un bon marqueur des radiations et au Japon comme un marqueur important une augmentation des leucoses a été observée depuis 1950.

Jusqu'en 1995, aucun excès d'hémostase après l'accident de Tchernobyl par rapport au niveau spontané n'avait été constaté dans trois pays touchés (Biélorussie, Ukraine et Russie), y compris les leucémies chez les enfants biélorusses (Ivanov et al., 1996, 1997). Sur cette base, il a été déclaré lors de la conférence internationale «Une décennie après Tchemobyl» (Vienne, 1996) : « En résumé, à ce jour, aucune augmentation significative n'a été observée, ni dans le taux de leucémies ni dans l'incidence des affections autres que les carcinomes thyroïdiens . »

Cependant, lors de cette conférence, A.E. Okeanov a présenté des données sur une augmentation de deux fois de la fréquence des leucémies et d'autres cancers chez les liquidateurs en Biélorussie, l'incidence observée du cancer de la vessie, du cancer de la thyroïde et des leucémies étant supérieure aux prévisions (Okeanov, Polyakov, 1996). De plus, dans la région de Gomel, la région la plus contaminée de Biélorussie, une augmentation de la morbidité et du coefficient de régression pour les tumeurs malignes du côlon, du rectum, des poumons, des glandes mammaires, de la vessie, des reins et de la thyroïde a été révélée (Okeanov, Yakimovich, 1996). Les mêmes auteurs (Okeanov, Yakimovich, 1999) ont révélé une corrélation statistiquement significative entre le nombre supplémentaire de maladies cancéreuses et la densité de radio-contamination des régions. Français Une telle relation est démontrée pour toutes les formes de cancer ainsi que pour des localisations telles que le carcinome de l'estomac, des poumons et des reins. Une augmentation significative de la leucémie causée par l'irradiation de Tchemobyl a été enregistrée parmi les liquidateurs en Russie (Tsyb, 1997). Il note que le pic de leucose radio-génique chez les liquidateurs, qui ont travaillé en 1986-1987, a été enregistré 4 à 5 ans après l'accident.

À l'heure actuelle, un cas sur deux de leucose révélé chez les liquidateurs est dû aux radiations. Des chercheurs grecs et américains ont rapporté que chez les nourrissons grecs exposés in utero aux rayonnements ionisants suite à l'accident de Tchernobyl, l'incidence de leucémie était 2,6 fois plus élevée que chez les enfants non exposés. Les enfants nés au cours du second semestre de 1986, du premier semestre de 1987 et la plupart de ceux nés au cours du second semestre de 1987 ont été considérés comme exposés aux radiations de Tchernobyl in utero, tandis que ceux nés entre 1980 et 1985 et ceux nés entre 1988 et 1990 ont été considérés comme non exposés (Petridou et al., 1996). L'auteur a révélé que les enfants nés dans des régions où les niveaux de contamination par les radionucléides étaient élevés présentaient une incidence plus élevée de leucémie. La leucémie infantile est connue comme

une forme distincte associée à une anomalie génétique spécifique dans la bande chromosomique 11-23. La contamination de la surface par le césium en Grèce était de 100 à 1 000 Bq/kg-1, soit 30 à 300 kBq/m<sup>2</sup> ; l'exposition moyenne a été estimée à environ 2 mSv. Les auteurs pensent donc que la leucémie aiguë myéloïde peut être causée par de très faibles doses d'irradiation intra-utérine.

À l'instar des résultats de Petridou et al., l'analyse du registre allemand du cancer de l'enfance a montré une incidence accrue de leucémie infantile dans une cohorte de naissance d'enfants nés après l'accident de Tchernobyl, par rapport à deux cohortes d'enfants nés avant ou au moins un an et demi après l'accident (Steiner et al., 1998). Cependant, les auteurs n'ont pas montré de tendance claire concernant l'exposition supplémentaire aux radiations due à l'accident de Tchernobyl.

Ainsi, nous disposons déjà de données contredisant les prévisions formulées à Vienne. À mon avis, la situation actuelle concernant l'apparition de leucémies et de carcinomes solides dans les zones radio-contaminées est similaire à celle de 1990, lorsque, pour la première fois, une augmentation des cancers de la thyroïde chez les enfants en Biélorussie a été enregistrée, contrairement aux prévisions du Projet international Tchernobyl. De fait, des informations ont récemment fait état d'une augmentation de la fréquence des états pré-leucocytaires chez les habitants adultes des régions de Mogilev, Gomel et Brest à partir de 1996 et de leur transformation rapide en différentes formes de leucose aiguë chez certains patients (Ivanov et al. 1998). On sait qu'au Japon, les leucoses aiguës induites par les radiations sont apparues d'abord sous la forme d'états pré-leucocytaires (syndromes myélo-dysplasiques). M.V. Malko (Malko, 1998a) a proposé une explication de la différence marquée dans la perception des effets stochastiques des radiations, tels que la leucémie et le cancer de la thyroïde, chez les habitants touchés de Biélorussie, de Russie et d'Ukraine, et chez ceux d'Hiroshima et de Nagasaki. Les Japonais, survivants des bombardements nucléaires, avaient absorbé pratiquement les mêmes doses de radiations sur la moelle osseuse et la thyroïde. On sait qu'au Japon, un pic de leucémie a été observé en 6 à 7 ans et une augmentation significative du cancer de la thyroïde en 10 ans. Il en résulte qu'avec une telle distribution des doses de radiation, la période de latence de la leucémie est bien plus courte que celle du cancer de la thyroïde. Selon les calculs de M.V. Malko pour le cas de Tchernobyl, les doses de radiations thyroïdiennes sont bien plus faibles, plus élevées que les doses de radiation sur la moelle osseuse. C'est pourquoi une forte augmentation de l'incidence du cancer de la thyroïde en Biélorussie et dans d'autres pays touchés a été la première manifestation des conséquences à distance de Tchernobyl.

En prenant en compte ces données et le fait qu'une dose mesurée avec précision d'irradiation externe y s'est avérée être plusieurs fois supérieure aux estimations maximales calculées (Keirim-Markus et al., 1995), il faut admettre l'existence d'un risque sérieux de rayonnement pour la population vivant dans les zones contaminées (Gontcharova, 1998, 1999).

Il faut néanmoins reconnaître que les prédictions de l'impact radiologique majeur des radiations de Tchernobyl (cas de cancer), faites sur la base d'études à fortes doses, sont vagues.

Jusqu'à présent, des questions ont été débattues sur l'existence d'une dose seuil et sur la linéarité de la courbe dose-effet dans la gamme des faibles doses. Selon les dernières informations sur la mortalité par cancer parmi les survivants des bombardements atomiques au Japon, la relation dose-effet pour le cancer solide semble assez linéaire jusqu'à environ 3 Sv tandis que pour la

leucémie, la non-linéarité apparente résulte du fait que le risque d'irradiation à 0,1 Sv représente 1/20 de celui dû à une dose d'irradiation de 1 Sv (Pierce et al., 1996).

Les enquêtes épidémiologiques ont montré une augmentation significative de la cancéro-génèse après des expositions aux rayonnements dans une gamme de doses égales ou supérieures à 100 mSv (Streffer, Tanooka, 1996). Il convient également de noter que Hatch et al. (1990) et Wing et al. (1997) qui ont réévalué l'incidence du cancer près de la centrale nucléaire de Three Mile Island, sont arrivés à la même conclusion : une association positive entre une dose accidentelle (1 mSv) et tous les cancers ainsi que le cancer du poumon et la leucémie de l'adulte a été révélée.

Wing et al. (1997) considèrent que leurs résultats confirment l'hypothèse d'une relation entre une incidence accrue de cancer autour de la centrale nucléaire et les doses d'irradiation accidentelles. Cependant, les estimations de la valeur de la « dose accidentelle » diffèrent considérablement. Les fréquences des aberrations chromosomiques instables et stables (translocations, méthode FISH) ont été analysées dans un groupe de personnes affectées en 1994-1995. Une estimation rétrospective de la valeur moyenne de la dose d'irradiation pour ce groupe examiné n'était pas inférieure à  $0,3 \pm 0,1$  Gy (Shevchenko, Snigireva, 1996).

Pobel et Viel (1997) ont obtenu des preuves concluantes de la causalité de la fréquence d'apparition de la leucémie chez les jeunes (moins de 25 ans) qui vivent à proximité de l'usine de traitement nucléaire française en Normandie, avec un effet de rayonnement supplémentaire une augmentation exceptionnelle de la leucémie infantile a été observée à proximité de la centrale nucléaire allemande de Krimmel (Schmitz-Feuerhake et al., 1997).

Il existe un débat houleux sur les foyers de leucémie infantile, en particulier sur les foyers de leucémie autour des installations nucléaires en Grande-Bretagne, puis en Allemagne et en France (Burkart, 1998 ; Alexander, 1998).

Les études réalisées dans le cadre du programme IRPNESA ont détecté un retard du développement mental et des déviations des réponses comportementales et émotionnelles chez les enfants exposés in utero (Kreisel et al., 1996). Cependant, l'importance de cet effet post-Tchernobyl réel n'a pas été pleinement appréciée en raison de l'absence de résultats de dosimétrie individuelle. La conséquence directe de l'exposition aux rayonnements est connue : la cataracte. L'augmentation de cette maladie a été révélée chez des personnes ayant survécu au bombardement atomique au Japon.

Il convient de noter qu'une incidence primaire élevée de cataracte a été constatée en 1993 et 1994 dans la population de Biélorussie vivant dans des zones contaminées. Comme le montre le tableau 3, les personnes évacuées et les liquidateurs présentent les valeurs les plus élevées, suivies des personnes vivant dans des régions contaminées (Conséquences écologiques, médico-biologiques et socio-économiques de la catastrophe de la centrale nucléaire de Tchernobyl en Biélorussie, 1996). À l'heure actuelle, on dispose de davantage d'informations indiquant que la cataracte due aux radiations est d'origine stochastique plutôt que déterministe (Worgul et al., 1996). La dose induisant une cataracte est considérée comme égale à 2 Gy lors d'une seule irradiation aiguë. Cependant, l'examen de personnes exposées à la tomodensitométrie a montré qu'une irradiation X de l'ordre de 0,10 à 0,30 Gy peut être cataractogène (Worgul et al., 1996).

Tableau 3. Cataracte initiale (chute de la tête) chez les habitants touchés en Biélorussie (pour 100 000)

| Années | Biélorussie<br>(adultes et<br>adolescents) | Liquidateurs | Évacués | Les personnes vivant dans<br>zones contaminées |                         |
|--------|--------------------------------------------|--------------|---------|------------------------------------------------|-------------------------|
|        |                                            |              |         | 1>15 Ci/km <sup>2</sup>                        | 1-15 Ci/km <sup>2</sup> |
| 1993   | 136,2                                      | 281,4*       | 354,9*  | 225,8*                                         | 189,6*                  |
| 1994   | 146,1                                      | 420,0*       | 425,0*  | 365,9*                                         | 196,0*                  |

\* Différence par rapport à la valeur moyenne représentative 1s significatif  
 De : Conséquences écologiques, médico-biologiques et socio-économiques de la catastrophe de la centrale nucléaire de Tchernobyl en Biélorussie. Éd. EF Konoplya, IV Rolevitch, Minsk, 1996

À cet égard, il convient de noter qu'une dépendance linéaire de la fréquence d'opacité des lentilles chez la souris a été détectée dans une gamme de doses allant jusqu'à 101, v, à savoir 2 à 45 mGy d'irradiation X (Streffer, Tanooka, 1996). Pratiquement toute la population biélorusse a reçu des doses d'irradiation supplémentaire identiques ou supérieures au cours de la période écoulée.

Compte tenu de l'incertitude de la relation dose-effet dans la gamme des faibles doses d'irradiation chronique (Ofstedal, 1991 ; Burlakova et al., 1996) et du fait que la population entière de la Biélorussie est exposée à des radiations supplémentaires depuis 1986, une surveillance à long terme de la quasi-totalité de la population de la Biélorussie avec la reconstruction des doses individuelles de radiation accumulées pendant une longue période devrait être effectuée pour une estimation précise de l'effet des retombées de Tchernobyl sur la fréquence du cancer et d'autres maladies.

### EFFETS GENETIQUES DANS LES CELLULES GERMINALES

La surveillance génétique nationale en Biélorussie a été élaborée par le professeur G. Lazjuk et fonctionne depuis 1979. La surveillance biélorusse peut être comparée à la surveillance des registres Eurocat et International Clearinghouse par la liste des anomalies congénitales du développement soumises à un contrôle strict (anencéphalie, méningocèle, fente labiale et/ou palatine, polydactylie, défaut de réduction des membres, atrésie de l'oesophage et de l'anus, syndrome de Down et, séparément, le groupe des anomalies multiples) et par la méthode de leur enregistrement. Les recherches menées par G. Lazjuk (1996) dans le cadre du programme national de surveillance génétique biélorusse ont révélé que « la fréquence des malformations congénitales obligatoirement enregistrées a augmenté de manière significative depuis 1986 dans toutes les régions de Biélorussie, étant plus prononcée chez les embryons, les fœtus et les nouveau-nés des zones contaminées par le <sup>137</sup>Cs à 15 Ci/km<sup>2</sup> (555 kBq/m<sup>2</sup>). L'augmentation de la fréquence des malformations congénitales chez les nouveau-nés dépasse considérablement les prévisions faites par la Commission internationale de protection radiologique (Lazjuk, 1996).

Comme le montre le tableau 4, une augmentation du nombre d'enfants atteints de malformations congénitales et héréditaires dans les régions dites propres a atteint 24 %, dans les régions avec des densités de contamination de  $^{137}\text{Cs}$  de 1 à 5 Ci/km<sup>2</sup> les malformations congénitales étaient de 30 % et dans les zones avec une densité de contamination de 15 Ci/km<sup>2</sup> et plus a atteint 83 %. Une augmentation annuelle de tous les malformations observées a également été révélée..

Tableau 4. Fréquences (pour 1 000 naissances) des malformations congénitales du développement (MCD) sous contrôle strict dans 3 zones de Biélorussie (1982-1992)

| une oreille d'observation  | Zones de contamination   |                      | Groupe témoin |
|----------------------------|--------------------------|----------------------|---------------|
|                            | 1 à 5 Ci/km <sup>2</sup> | >15 ppm <sup>2</sup> |               |
| 1982                       | 5,74                     | 3,06                 | 5,62          |
| 1983                       | 3,96                     | 3,58                 | 4,52          |
| 1984                       | 4,32                     | 3,94                 | 4,17          |
| 1985                       | 4,46                     | 4,76                 | 4,58          |
| 1982-1985                  | 4,61                     | 3,87                 | 4,72          |
| 1987                       | 5,54                     | 8,14                 | 5,94          |
| 1988                       | 4,62                     | 8,61                 | 5,25          |
| 1989                       | 6,3 2                    | 6,50                 | 5,80          |
| 1990                       | 7,98                     | 6,00                 | 6,76          |
| ... 1991                   | 5,65                     | 4,88                 | 5,52          |
| 1992                       | 6,22                     | 7,77                 | 5,89          |
| 1987-1992                  | 6,01*                    | 7,09*                | 5,85*         |
| Coefficient d'augmentation | 1.3                      | 1.8                  | 1.2           |

\*P<0.05

(Extrait de : Lazjuk et al., 1996)

Les données des statistiques officielles (Gae 5) sur l'enregistrement des nourrissons atteints de malformations congénitales (MC) dans les établissements obstétricaux de toute la République de Biélorussie montrent une forte augmentation de la fréquence des MC (de 12,5 pour 1 000 nourrissons en 1985 à 17,7 pour 1 000 nourrissons en 1994 (Lazjuk et al., 1996 ; Lazjuk et al., 1998). Cependant, si l'on prend en compte le nombre de grossesses interrompues pour des raisons génétiques (plus de 1 500 grossesses sur la période 1991-1994), la fréquence des troubles du développement embryonnaire ne s'est pas stabilisée. Elle continue d'augmenter (de 18,2 en 1992 à 22,4 en (1994).

Lazjuk G. a comparé les doses moyennes, c'est-à-dire la somme des doses équivalentes efficaces d'irradiation externe et interne pour les localités où vivaient les parents, avec la fréquence des CDM chez leurs enfants (Taïe 6) (Lazjuk, 1996). Aucune relation directe n'a été observée entre la fréquence des CDM et la dose absorbée par l'un ou les deux parents avant la conception du fœtus. Il convient toutefois de noter que l'étude sur la fonction de la distribution des doses individuelles pour la population des zones radiocontaminées a montré que les doses individuelles peuvent être 5 à 6 fois supérieures aux valeurs de dose moyenne (Keirim-Markus et al., 1995).

Compte tenu de l'absence de corrélation significative entre la fréquence des malformations congénitales du développement et la dose de Tchernobyl, ainsi que de l'augmentation des malformations du développement dans les régions « propres », Lazjuk G. suppose que « les données données, en particulier une forte augmentation des malformations d'origine multifactorielle, indiquent que l'augmentation des troubles du développement embryonnaire dans la population de Biélorussie est causée non seulement et, probablement, pas tant par les rayonnements ionisants, mais par des facteurs supplémentaires ». Ces facteurs supplémentaires peuvent être les suivants : une mauvaise alimentation, des polluants chimiques environnementaux, l'alcoolisation de la population en âge de procréer et bien d'autres.

Tableau 5. Nombre absolu et fréquence des malformations congénitales du développement (MCD) chez les enfants en Biélorussie (données des statistiques officielles)

| Année | Nombre absolu de MDP | Fréquence pour 1 000 naissances |
|-------|----------------------|---------------------------------|
| 1985  | 2101                 | 12,5                            |
| 1986  | 2273                 | 13,2                            |
| 1987  | 2262                 | 13,8                            |
| 1988  | 2276                 | 13,9                            |
| 1989  | 2273                 | 14,8                            |
| 1990  | 2395                 | 16,8                            |
| 1991  | 2146 (261)*          | 16,2 (18,2)**                   |
| 1992  | 2180 (367)*          | 17,0 (19,9)**                   |
| 1993  | 2009 (400)*          | 17,0 (20,4)**                   |
| 1994  | 1968 (523)*          | 17,7 (22,4)**                   |

\* c'est le nombre d'avortements dus à des indications génétiques ;

\*\* est la fréquence totale du CDM (données de l'Institut de recherche sur les maladies congénitales et héréditaires) Maladies au Ministère de la Santé Publique de la République de Biélorussie).

Tableau 6. Fréquence des malformations congénitales du développement (MCD) en fonction de la contamination par le  $^{137}\text{Cs}$ 

| Dose prise pendant la période puerpérale<br>(1986-1988) | Fréquence du CDM pour 1 000 naissances<br>(1987-1989) |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 0,8-1,4                                                 | 7.02                                                  |
| 1.4--2.3                                                | 8,67                                                  |
| 2.4--8.14                                               | 8.14                                                  |

(De : Lazjuk et al., 1996)

Cependant, l'interprétation de la forte augmentation des malformations du développement sous contrôle strict après 1986 et de l'augmentation annuelle de toutes les malformations du développement enregistrées devrait être très différente, à mon avis. Mon opinion est basée sur les aspects suivants :

Les régions dites « propres » de Biélorussie sont également radio-contaminées. Le mythe de la propreté de la région affecte grandement les chercheurs.

Les formes des relations dose-effet dans la gamme des faibles doses d'irradiation chronique prolongée restent incertaines. Il existe des preuves de l'existence d'un phénomène de plateau sur les courbes de dose. Par conséquent, dans la gamme des faibles doses, une augmentation monotone de la fréquence des malformations congénitales du développement avec l'augmentation de la dose pourrait ne pas se produire.

Le type d'alimentation de toute la population en Biélorussie est pratiquement similaire, même si dans les années 1986-1989 des tentatives ont été faites pour améliorer l'alimentation des personnes vivant dans les régions les plus contaminées.

La quantité de polluants chimiques a été considérablement réduite en raison de la crise économique et une augmentation annuelle des malformations du développement embryonnaire est toujours observée.

Ce qui précède permet, à juste titre, de considérer comme un fait incontestable l'augmentation spectaculaire des malformations congénitales du développement comme une conséquence évidente de l'irradiation par Tchernobyl (Gontcharova, 1998, 1999).

Les résultats de la comparaison des fréquences de CDM sur la période de 1982 à 1995 chez les habitants des régions de Gornel et de Mogilev (les plus contaminées par l'accident de la CNPP) avec les doses moyennes cumulatives de groupe et collectives absorbées par la population de ces régions sont présentés dans le tableau 7 (Lazjuk et al., 1998, 1999). À titre de contrôle, des paramètres similaires ont été examinés dans la campagne de la région de Vitebsk, que les auteurs considéraient comme non contaminée par l'accident de Tchernobyl.

Tableau 7. Comparaison des fréquences CDM avec les doses de rayonnement supplémentaires obtenues auprès de la population rurale de Béjarus âgée de 18 ans et plus

| Région sous observation | Fréquence de COM pour 1 000 naissances          | Calcul moyen dose de Cbemobyl (mSv) | Dose cumulée par % d'augmentation de CDM (mSv /%) |
|-------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|
|                         | 1982-1985 1 1987-1995                           | 1986-1994                           |                                                   |
| Région de Gomel         | 4,06 ± 0,39 7,45 ± 0,24<br>Augmentation : 87 %  | 13,4                                | 0,31                                              |
| Région de Moguilev      | 3,50±0,53 6,41 ± 0,30<br>Augmentation : 83 %    | 8,82                                | 0,20                                              |
| Région de Vitebsk       | 3,60 ± 0,63 4,75 ± 0,27<br>Augmentation : 4,7 % | 0,24                                | -                                                 |

(De : Lazjuket et al., 1998, 1999)

Comme le montre le tableau 7, le gain de SDM pour les habitants de la région de Vitebsk a atteint 47 % et, selon les auteurs, n'était pas lié à l'impact des rayonnements ionisants. Par conséquent, ils supposent que « seule l'augmentation de CDM dans les provinces de Gomel et de Mogilev, respectivement de 40 % et 36 % (87-40 % et 83-47 %), peut être considérée comme une conséquence supplémentaire des rayonnements ionisants » (Lazjuk et al., 1999).

Français Les auteurs notent l'existence d'une corrélation positive entre la fréquence du CDM et les doses de rayonnement collectives et moyennes de groupe, ainsi que l'absence de relation dose-effet linéaire. Ils pensent qu'un facteur de rayonnement joue un certain rôle dans la dynamique du CDM. Cependant, comme mentionné ci-dessus, toute la République de Biélorussie, y compris la région de Vitebsk, est radio-contaminée (Atlas, ... 1998). La valeur de  $^{137}\text{Cs}$ , due aux retombées de Tchernobyl, pour les objets environnementaux, les manuels et les habitants de la région de Vitebsk corrobore bien ce fait (Harlenok et al., 1999 ; Goncharova, Riabokon, 1998). Ainsi, je pense que la présence de la corrélation positive démontrée dans les travaux de Lazjuk et al. (1998, 1999) confirme que l'augmentation des fréquences de CDM en Biélorussie après 1986 était due à l'impact des faibles doses de rayonnement dues à l'accident de Tchernobyl. Quant à la forme de dépendance à la dose pour les effets génétiques sur les cellules germinales humaines dans la gamme des faibles doses, il s'agit d'un autre problème qui nécessite des études supplémentaires.

L'écart entre les données de Lazjuk et al. (1996) et celles des enfants dont les parents avaient souffert des bombardements atomiques au Japon semble être dû à des conditions de radiation différentes résultant de la catastrophe de Tcheboksary et des explosions atomiques. Les travaux de recherche conjoints de chercheurs anglais, russes et biélorusses (Duurova et al., 1996) sur la fréquence des mutations chez les enfants dont les deux parents ont résidé en permanence dans la région radio-contaminée de Moguilev, en Biélorussie, depuis le moment de la catastrophe, est d'un grand intérêt. La zone contaminée variait de 1 à 15 Ci/km<sup>2</sup>.

La dose exacte reçue par les parents était inconnue. Le niveau de contamination au césium 137 de la zone constituait cependant un indicateur satisfaisant d'une dose collective de rayonnement modérée. Le groupe étudié était composé d'enfants nés entre février et septembre 1994 dans 79 familles. La Biélorussie étant entièrement radio-contaminée, les enfants de 105 familles britanniques constituaient le groupe témoin. La fréquence des mutations dans les loci minisatellites des enfants de la région de Mogilev s'est avérée deux fois plus élevée ; le nombre total de mutations dans les régions les plus contaminées était 1,5 fois supérieur à celui des régions moins contaminées. Il a donc été démontré que la fréquence des mutations était corrélée au niveau de contamination au césium de la zone.

Quelle est la dose absorbée par les gens dans la région de Mogilev au cours des années 1986-1994 ? Sa valeur exacte est inconnue. Cependant, selon l'évaluation réalisée en Biélorussie (Kenigsberg, Minenko, 1996), une dose équivalente individuelle due à l'irradiation externe et interne est inférieure à 5 mSv par an (0,5 rem). Une dose accumulée sur 9 ans atteint environ 45 mSv ou 4,5 rem. La reconstruction des doses cumulées de chaque paire familiale a permis à Dubrova et al. (Dubrova et al., 1999) de prouver une relation statistiquement significative entre les fréquences de mutation observées dans les loci minisatellites des enfants et la valeur de la dose familiale absorbée par l'irradiation chronique au  $^{137}\text{Cs}$  depuis le moment de l'accident jusqu'à la conception de l'enfant. La valeur de dose familiale a été déterminée comme la valeur moyenne respective des doses paternelle et maternelle. La dose principale pour les familles étudiées était de  $27,6 \pm 3,3$  mSv.

Ces travaux de recherche ont présenté des données statistiquement significatives sur une multiplication par deux de la fréquence des mutations dans les cellules germinales de parents irradiés. La fréquence des modifications moléculaires dans les loci minisatellites a été considérablement augmentée chez les enfants de liquidateurs (Weinberg et al., 1997). Il convient de noter que les fréquences de mutabilité des mutations sous l'influence des radiations sont étonnamment élevées. La valeur d'une double dose pour les mutations dans les cellules germinales humaines entraînant de graves conséquences pour la santé de la progéniture est de 1 Gy (United Nations, Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation, 1988). L'origine des changements moléculaires dans les locus minisatellites n'a pas été établie de manière incomplète, en particulier leur origine de recombinaison est discutée (Buard, Vergnaud, 1994 ; Jeffreys et al., 1998). On suppose que les mutations dans les séquences répétitives en tandem des minisatellites se produisent à la suite de cassures du double brin d'ADN (Buard, Vergnaud, 1994).

Il s'agit d'une dose très faible en comparaison de la valeur de la dose du double brin pour les cellules germinales humaines égale à 1 Gy.

Dubrova et al. admettent que les estimations de la dose absorbée sont plutôt réduites ou que de faibles doses d'irradiation chronique sont des inducteurs de mutations beaucoup plus efficaces que de fortes doses d'irradiation aiguë. Aussi réduites soient-elles, les estimations des doses absorbées resteront néanmoins bien inférieures à la valeur acceptée de la double dose (Effets sur la santé..., 1990).

Je développe depuis longtemps l'idée d'une efficacité bien supérieure de l'irradiation chronique combinée externe et interne induite par le radionucléide par rapport à l'irradiation aiguë ou prolongée (Goncharova, Riabakon, 1995 ; Goncharova, 1996 ; Goncharova et al., 1999).

Une augmentation significative de la fréquence des pathologies congénitales et héréditaires chez les enfants de la première génération irradiée ainsi qu'une augmentation de la fréquence des

mutations des minisatellites dans les cellules génétiques (Dubrova et al., 1996) à de faibles doses équivalentes efficaces reçues par leurs parents indique un effet mutagène des faibles doses de rayonnement Chemobyl.

Français Il existe de fortes raisons de supposer que la valeur d'une double dose calculée sur la base des données obtenues pour les doses de rayonnement élevées est bien supérieure à une double dose calculée à partir des effets génétiques des faibles doses. Par conséquent, lors de l'estimation du risque génétique de la catastrophe de Tchernobyl, il ne faut pas se baser entièrement sur les données obtenues pour le Japon. Maintenant que des informations confidentielles sur l'obésité des personnes exposées à une irradiation chronique de longue durée dans l'Oural, le Kazakhstan, l'Altai et de nombreux autres endroits de l'ex-URSS sont devenues disponibles, des recherches ont été lancées pour déterminer les valeurs de risque des effets cancérogènes de l'irradiation chronique (Gusev et al., 1998 ; Kossenko et al., 1999).

La simple détermination des coefficients de risque pour les populations chroniquement irradiées de l'ex-URSS et les personnes exposées aux radiations suite à l'accident de Chemobyl (Jacob et al., 1996) donnera une réponse à la question de savoir si les coefficients de risque diffèrent pour l'irradiation aiguë et l'irradiation chronique à long terme dans la gamme des doses faibles et moyennes.

Des études à long terme menées par T. Nornura (1982, 1984, 1988) sur des souris ont montré que :

- a) des mutations entraînant des anomalies phénotypiques (anomalies héréditaires transplacentaires) apparaissent dans les cellules génétiques sous l'influence des radiations ;
- b) la fréquence d'apparition de telles mutations est 4 à 40 fois plus élevée que celle des autres types de mutations
- c) les profils de sensibilité des cellules génétiques des souris et de l'ARN à l'émergence d'anomalies phénotypiques héréditaires selon les données de Nomura sont similaires.

En tenant compte des points mentionnés ci-dessus, de la radio-sensibilité accrue des générations humaines ultérieures à l'effet mutagène des radionucléides illustrée par nous (Goncharova, Ryabokon, 1995 ; Goncharova et al., 1996) et de quelques autres aspects, je pense que dans les conditions de Tchernobyl (irradiation constante d'un certain nombre de générations), une fréquence accrue de défauts héréditaires chez les enfants restera dans la génération irradiée actuelle et après 1996, mais elle augmentera dans les générations suivantes jusqu'à atteindre un état d'équilibre (Goncharova, 1996, 1998, 1999).

## EFFETSGÉNÉTIQUES SUR LES CELLULESSOMATIQUES

L'étude de la dynamique du processus de mutation dans les populations de campagnols roussâtres habitant les régions radiocontaminées de Biélorussie a montré qu'au cours de la période 1986-1996, c'est-à-dire au cours de plusieurs générations (1-22), des niveaux accrus (par rapport aux niveaux d'avant l'accident) d'aberrations chromosomiques et de mutations génomes (polyploidie) qui se produisent à chaque génération de novo ont été observés dans les cellules de moelle osseuse des animaux (Goncharova et al., 1996). Les fréquences des mutations génomiques ont augmenté progressivement et considérablement jusqu'en 1991 dans les populations de toutes les stations étudiées, atteignant 14-15 % dans les régions fortement radiocontaminées (Goncharova, Ryabokon, 1995 ; Goncharova, Riabokon, 1998). Nous avons révélé une radiosensibilité accrue des structures héréditaires des cellules somatiques du campagnol roussâtre des générations suivantes (animaux de 1989-1991) en comparaison avec les générations précédentes (animaux de 1986-1988) ont été

exposées à l'influence mutagène des retombées de Chemobyl (Goncharova, Ryabokon, 1995 ; Goncharova et al., 1999). Nos travaux de recherche, ainsi que d'autres, montrent que l'irradiation chronique de diverses espèces animales vivant dans des zones radiocontaminées produit des effets cytogénétiques mesurables sur les cellules somatiques à de très faibles doses absorbées (d'après Cristaldi et al., 1991, pour le campagnol roussâtre en Suède -  $4\text{-}40 \times 10^{-6}$  Gy/jour, et selon nos données (Goncharova, Smolich, 1998) pour la même espèce animale de Biélorussie, elle est de  $(2,4\text{-}41,2) \times 10^{-6}$  Gy par jour ou par cycle cellulaire).

De nombreuses données ont montré que des fréquences accrues de dommages cytogénétiques sont caractéristiques, au cours de certaines années, des cellules souches des personnes vivant dans les territoires radio-contaminés.

Les résultats de l'examen de 80 personnes ayant vécu à Mozyr, Gomel (densité de contamination de 37 à 185 kBq/m<sup>2</sup>), Bobruisk et Kiev (densité de contamination inférieure à 37 kBq/m<sup>2</sup>) en 1986, puis ayant émigré aux États-Unis entre 1989 et 1991, sont plutôt révélateurs. Peu après leur arrivée aux États-Unis, ces personnes ont été examinées de manière approfondie : afin de déterminer la concentration des isotopes de césium incorporés dans l'organisme, d'analyser les micro-noyaux des lymphocytes et les mutations génétiques du locus glycophorine des érythrocytes chez les individus hétérozygotes M/N (Livingston et al., 1997).

Français Après avoir utilisé l'analyse de régression multiple des données obtenues pour les 80 personnes examinées, les auteurs ont établi que la fréquence des lymphocytes micro-nucléaires dépendait de la concentration de radio-césium (0-56,8 Bq/kg) et de la dose absorbée interne (0,6-9,2 mGy). La fréquence des mutations génétiques dans les érythrocytes rouges dépendait également de manière significative des concentrations de césium incorporé.

Ainsi, Livingston et al. (Livingston et al., 1997) ont démontré une augmentation de la fréquence des mutations chromosomiques et génétiques dans les cellules somatiques de personnes ayant vécu 3 à 5 ans dans des zones faiblement contaminées et ont prouvé leur causalité radiologique. Il convient donc de noter que les experts du Projet international Tchernobyl (Comité consultatif international ..., 1991) n'ont pas révélé d'augmentation de la fréquence des aberrations chromosomiques et des mutations génétiques dans le locus glycophorine des habitants de régions beaucoup plus contaminées. Ainsi, pendant longtemps, une mutabilité accrue des cellules somatiques s'est révélée être spécifique aux mammifères et aux personnes exposées à l'effet chronique des radionucléides et absorbant de faibles doses. L'extrapolation ne permet pas de prédire de tels résultats.

La radio-sensibilité génétique des mammifères et de l'homme est considérée comme relativement proche. Compte tenu de ce qui précède et de la radio-sensibilité accrue des animaux des générations suivantes, on peut supposer qu'une fréquence accrue de différents types de lésions cytogénétiques dans les cellules somatiques des personnes vivant dans des régions radio-contaminées persistera assez longtemps après 1996. Les aberrations chromosomiques étant un test pronostique, il faut s'attendre à une fréquence accrue et à d'autres types de mutations (mutations génétiques, mutations de viabilité, etc.) (Goncharova, 1996).

Les conséquences d'un tel niveau de mutation des cellules somatiques constamment accru sur la viabilité des objets vivants sont examinées ci-dessous.

## ÉTAT DE SANTÉ DE LA GÉNÉRATION IRRADIÉE ACTUELLE

Des enquêtes épidémiologiques ont montré qu'après l'accident, la population biélorusse vivant dans les régions radiocontaminées a connu une augmentation constante de la morbidité globale, tant chez les enfants, les femmes enceintes et en âge de procréer que dans l'ensemble de la population. Selon les données du Registre national biélorusse des régions contaminées, les indices de morbidité globale sont supérieurs à la moyenne nationale. L'augmentation des maladies de la thyroïde, de l'appareil circulatoire, du système cardiovasculaire (notamment l'ischémie cardiaque), du foie et du pancréas est particulièrement marquée. Une tendance à la hausse de la mortalité infantile est apparue. Une augmentation de l'incidence du diabète a été observée chez les liquidateurs, la hausse maximale étant enregistrée dans la tranche d'âge de 30-39 ans. (Conséquences écologiques, médico-biologiques et socio-économiques de la catastrophe de la centrale nucléaire de Tchernobyl en Biélorussie, 1996)

Il existe différents points de vue sur les raisons de l'augmentation de la morbidité des personnes exposés à des radiations chroniques supplémentaires.

Un niveau accru de dommages cytogénétiques dans les cellules somatiques a été observé chez les personnes vivant dans des zones radiocontaminées. L'influence d'une fréquence accrue de mutations de différents types dans les cellules somatiques sur la santé des personnes n'est pas encore élucidée. Cependant, on dispose désormais de plus d'informations sur la contribution des mutations des cellules somatiques à l'apparition de maladies telles que l'athérosclérose, les maladies cardiaques, le diabète, l'emphysème, etc.

Cela nous permet de proposer une hypothèse sur le lien entre l'augmentation de la morbidité et la diminution de la stabilité des personnes et l'influence de facteurs de stress, avec une mutabilité accrue de leurs cellules somatiques. En ce sens, l'irradiation supplémentaire des personnes vivant dans des zones radio-contaminées contribue à accroître leur sensibilité à tout effet indésirable.

Je pense donc que l'augmentation du taux de maladie de la population vivant dans des zones radio-contaminées est une conséquence de l'exposition chronique à de faibles doses de rayonnement (Goncharova, 1996, 1998).

En fait, les recherches menées sous la direction de Yu.I. Bandazhevsky à l'Institut médical de Gomel ont montré le lien entre les modifications morpho-fonctionnelles des reins et du myocarde entraînant de graves lésions de ces organes vitaux, et la concentration de radio-césium incorporé chez l'homme (Bandazhevsky et al., 1999). Le lien entre les modifications morpho-fonctionnelles du système reproducteur, les troubles de l'homéostasie hormonale et la teneur en isotopes de césium dans l'organisme des jeunes femmes n'ayant pas donné naissance a également été mis en évidence (Yagodvik IN, 1998). La pathologie de la cascade de lipoperoxydes et des bio-antioxydants irremplaçables chez les enfants des régions radio-contaminées suite à l'accident de Tchernobyl a été prouvée comme étant d'origine radio-génique (Neifakh et al., 1998).

Une association statistiquement significative entre la mortalité non cancéreuse et les doses de radiation chez les survivants de la bombe atomique au Japon est également démontrée depuis un certain temps. Ainsi, Mabuchi K. (Mabuchi, 1998) a rapporté une relation dose-réponse significative avec la mortalité par accident vasculaire cérébral et maladies cardiaques, respiratoires et digestives.

## REFERENCES

- Abelin Th., R.I. Goncharova, V. Grynychyn, J.-P. Revel, F. Ronerio, M. Wys-Chodat (1999). What scientific approach for uncertainties? "Health and information: from uncertainties to interventions in the Chernobyl contaminated regions": 2<sup>nd</sup> *International scientific conference on consequences of Chernobyl catastrophe*. Geneva, 1997. University of Geneva, 1999, pp. 63–73.
- Alexander F. (1998). Clustering in childhood acute leukemia. The EUROCLUS project. *Radiat. Environ. Bioph.*, Vol. 37, no. 2: pp. 71–74.
- Atlas of caesium deposition on Europe after the Chernobyl accident (1998). Eds., M.De Cort, G. Dubois, Sh.P.Fridman, M.G.Germenchuk, Yu.A.Izrael, A.Janssens, A.R.Jonse, J.M.Kelly, E.V.Kvashnikova, I.J.Matveenko, J.M.Nasarov, Yu.M.Pokumeiko, V.A.Sitak, E.D.Stukin, L.Ya.Tabachny, Yu.S.Tsaturov, S.T.Avdychin. Luxemburg, 1998. Office for Official Publications of the European Communities.
- Bandazhevsky Yu.I., A.M. Perepletchikov, A.A. Mishin (1999). Health decrease at incorporation of radionuclides in human body. Chernobyl: *Ecology and Health*. Gomel (Belarus), no. 2(6): 95–96 (in Russian).
- Burkart W. (1998). Forcing a link? *Radiation Environmental Biophysics*, Vol. 37, no. 2: pp. 69–70.
- Burkart J., Vergnaut G. (1994). Complex recombination events at the hypermutable minisatellite CEB1 (D2S90). *EMBO J.*, Vol. 13: pp. 3203–3210.
- Burlakova E.B., A.N. Goloshchapov, N.V. Gorbunova et al.(1996). Peculiarities of biological effects of low radiation doses. [*Radiatsionnaya biologiya. Radioekologia*], Vol. 36, no. 4: 610–631 (in Russian).
- Cardis E., L. Anspaugh, V.K. Ivanov, I.A. Likhtarev, K. Mabuchi, A.E. Okeanov, A.E. Prisyazhniuk (1996). Estimated long-term health effects of the Chernobyl accident. One Decade After Chernobyl. Summing up the Consequences of the Accident. Proceedings of an International Conference, Vienna, pp. 241–271.
- Cristaldi M., L.A. Ieradi, D. Mascanzoni, T. Mattei and S. Von Bothmer (1991). Environmental impact of the Chernobyl fallout: Mutagenesis in bank vole from Sweden. *Int. J. Radiat. Biol.*, Vol. 59, no. 1: 31–40.
- Dubina Yu.V., S.B. Kulich. (1997). Analysis of external irradiation dose formation in Khoiniki and Bragin Regions in the first months following the Chernobyl accident. *Proceeding of the International symposium «Actual Problems of Dosimetry»*, Minsk, pp. 177–181.
- Dubrova Yu.E., V.N. Nesterov, N.G. Krouchinsky, V.A. Ostapenko, R. Neumann, D.L. Neil, A.J. Jeffreys (1996). Human minisatellite mutation rate after the Chernobyl accident. *Nature*, Vol. 380: 683–686.
- Dubrova Yu.E., M. Plumb, J. Brown, A.J. Jeffreys (1999). Radiation-induced mutations in mammalian minisatellite loci. *Int. J. of Radiat. Medicine*, Vol. 1, no. 1: 90–100.

- Ecological, medicobiological and socio-economic consequences of the Chernobyl NPP Disaster in Belarus*. Eds., E.F.Konoplya, I.V.Rolevich (Minsk), 1996 (in Russian).
- Goncharova R.I. (1996). Attempt to predict the genetic consequences of the Chernobyl disaster. *One Decade after Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident*. International Conference, Austria Centre Vienna, pp. 138–141.
- Goncharova R.I. (1998). Remote consequences of Chernobyl disaster: assessment after 11 years. Proceedings of YI International Scientific-practical conference on “Human Ecology in the Post-Chernobyl Period”, March 25–27, 1998. *Ecological Antropology. Annual*. Minsk, pp. 215–224 (in Russian).
- Goncharova R.I. (1999). Ionizing radiation effects on human genome and its transgeneration consequences. “Health and information: from uncertainties to interventions in the Chernobyl contaminated regions”: *2<sup>nd</sup> International scientific conference on consequences of Chernobyl catastrophe*. Geneva, 1997. University of Geneva, 1999, pp. 49–62.
- Goncharova R., N. Riabokon (1998). Results of long-term genetic monitoring of animal populations chronically irradiated in the radiocontaminated areas. Research activities about the radiological consequences of the Chernobyl NPS accident and social activities to assist the sufferers by accident. Report of an International collaborative work under the research grant of the Toyota Foundation in 1995–1997, Ed. T. Imanaka. Research Reactor Institute, Kyoto University. March 1998, pp. 194–202.
- Goncharova R., N. Riabokon, I. Smolich (1999). Biological effects of low-dose chronic irradiation in somatic cells of small mammals. Proc. of 9<sup>th</sup> Annual Conference “*Risk Analysis: Facing the New Millennium*”, Rotterdam, 1999. Ed., L.H.J.Gossens. Delft University Press, 1999, pp. 710–714.
- Goncharova R.I., N.I. Ryabokon (1995). Dynamics of cytogenetic injuries in natural populations of bank vole in the Republic of Belarus. *Radiat. Protec. Dosimetry*, Vol. 62, no. 1/2: 37–40.
- Goncharova R.I., N.I. Ryabokon, A.M. Slukvin. (1996). Dynamics of mutability in somatic and germ cells of animals inhabiting the regions of radioactive fallout. [*Tsitologia i genetika*] (Kiev), Vol. 30, no. 4: 35–41.
- Goncharova R.I., N.I. Ryabokon, A.M. Slukvin, B.Yu. Anoshenko, I.I. Smolich (1997). Study of biological effects of chronic low-dose irradiation. Proceeding of the International symposium “*Actual Problems of Dosimetry*”, Minsk, p. 100.
- Goncharova R.I., I.I. Smolich (1998). Chronic irradiation over many generations induces cytogenetic effects in populations of small mammals. Proc. of Intern. Conf. “*Agricultural biotechnology*”, December 14–17 1998, *Gorki*, pp. 216–219.
- Gusev B.I., R.I. Rosenson, Z.N. Abylkassimova (1998). The Semipalatinsk nuclear test site: a first analysis of solid cancer incidence (selected sites) due to test-related radiation. *Radiat. and Environ. Bioph.*, Vol. 37, no. 3: 209–214.
- Harlenok Y.N., S.V. Zhavoronok, L.M. Kirillov, Y.V. Krylov, V.N. Lektorov, P.P. Lakisiv, M.M. Makarov, P.V. Nikolsky, V.V. Panashchenko, A.V. Semenov, N.P. Smirnova, Y.V. Frolov. The distribution of <sup>137</sup>Cs in human organism in Vitebsk Region. [*Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*], Vol. 39, no. 4: 468–470 (in Russian).

- Hatch M.C., J. Beyea, J.W. Nieves, M. Susswr (1990). Cancer near the Three Mile Island Nuclear Plant: radiation emissions. *Am. J. Epidemiol.*, Vol. 132: 397–412.
- Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation (BEIR V). Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, *National Research Council*, National Academy Press, Washington, D.C., 1990, 421 p.
- International Advisory Committee. The International Chernobyl Project: Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures, *Technical Report, IAEA*, Vienna (1991).
- Ivanov E.P., G.V. Tolochko, I.P. Shuvaeva, S. Becker, E. Nekolla, A.M. Kellerer (1996). Childhood leukaemia in Belarus before and after the Chernobyl accident. *Radiat. Environ. Biophys.*, Vol. 35: 75–80.
- Ivanov E.P., V.E. Ivanov, U. Shuvaeva, G. Tolochko, S. Becker, A.M. Kellerer, E. Nekolla (1997). Blood disorders in children and adults in Belarus after the Chernobyl nuclear power plant accident. International Conference «One decade after Chernobyl: Summing up the consequences of the accident». *Poster presentations*, Vol. 1, Vienna, pp. 111–125.
- Ivanov V.E., L.P. Shuvaeva, G.V. Tolochko, K.V. Salnikov, T.I. Terekhovitch, L.V. Kolbasko, V.V. Nechai, E.P. Ivanov (1998). An increase in the frequency of pre-leukosis states (myelodysplastic syndrome (MDS)) in Mogilev and Gomel Regions. Proc. of Intern. Scient. Conf. on Fundamental and Applied Aspects of Radiobiology: Biological Effects of Low Doses and Environmental Radiocontamination (*Radioecological and Medicobiological consequences of the Chernobyl Accident*). 16–17 April, 1998. Minsk, p. 93 (in Russian).
- Jacob P., G.Goulko, W.E. Heidenreich, I. Likhtarev, I. Kairo, N.D. Tronko, T.I. Bogdanova, J. Kenigsberg, E. Buglova, V. Drozdovitch, A. Golovneva, E.P. Demidchik, M. Balonov, I. Zvonova, V. Beral (1996). Thyroid cancer risk to children calculated. *Nature*, Vol. 392, no. 6671: 31–32.
- Jeffreys A., D.L. Neil, R. Neumann (1998). Repeat instability at human minisatellites arising from meiotic recombination. *EMBO J.*, Vol. 17, no. 14: 4147–4157.
- Keirim-Markus I.B., E.D. Kleshchenko, K.K. Kushnereva (1995). Distribution of individual dose for the population in different regions with radioactive contamination. [*Atomnaya energiya*], Vol. 78, no. 3: 204–207 (in Russian).
- Kenigsberg Y.I., V.F. Minenko (1995). Collective exposure doses of population of Belarus after the Chernobyl accident and prognosis of stochastic effects. Nine years after Chernobyl: *Medical consequences*, Ministry of Health, Minsk, pp. 61–69 (in Russian).
- Kossenko M.M., A.V. Akleyev, N.V. Startsev, M.O. Degteva (1999). Epidemiological analysis of remote cancerogenesis effects on populations with chronic exposure to radiation in the Urals Region. *Int. J. of Radiat. Medicine*, Vol. 2, no. 2: 34–41.
- Kreisel W., A. Tsyb, N. Krishenko, O. Bobyleva, N.P. Napalkov, T. Kjellstrom, R. Schmidt, G. Souchkevitch (1996). WHO updating report on the WHO conference on “Health consequences of the Chernobyl and other radiological accidents”, including results of the IPHECA Programme. «One Decade After Chernobyl. Summing up the

- Consequences of the Accident». *Proceedings of an International Conference*, Vienna, pp. 85–99.
- Krivoruchko K., A. Naumov. (1997). Reconstruction of dose loads on population in the initial period of the Chernobyl accident and estimation of thyroid cancer risk in Belarus. *Proceeding of the International symposium "Actual Problems of Dosimetry"*, Minsk, p. 167–173 (in Russian).
- Lazjuk G. (1996). Dynamics of hereditary pathology in Belarus and Chernobyl disaster. Ecological, medicobiological and socio-economic consequences of the Chernobyl NPP Disaster in Belarus, Eds., E.F.Konoplya and I.V.Rolevich. Minsk, pp. 162–169 (in Russian).
- Lazjuk G., D. Nikolaev. I. Novikova (1996). Dynamics of Congenital and Hereditary Pathology in Belarus in view of the Chernobyl Catastrophe. *Medicine*, Vol. 3, no. 12: 7–8.
- Lazjuk G.I., D.L. Nikolaev, I.V. Novikova, A.D. Polityko, R.D. Khmel (1999). Belarussian population radiation exposure after Chernobyl accident and congenital malformations dynamics. *Int. J. of Radiat. Medicine*, Vol. 1, no. 1: 63–70.
- Lazjuk G., Yu. Satov, D. Nikolaev, I. Novokova (1998). Genetic consequences of the Chernobyl accident for Belarus Republic, Research activities about the radiological consequences of the Chernobyl NPS accident and social activities to assist the sufferers by accident. *Report of an International collaborative work under the research grant of the Toyota Foundation in 1995–1997*, Ed. T.Imanaka. Research Reactor Institute, Kyoto University. March 1998, pp. 174–177.
- Livingston G.K., R.H. Jensen, E.B. Silberstein, J.D. Hinnefeld, G. Pratt, W.L. Bigbee, R.G. Langlois, R. Shukla (1997). Radiobiological evaluation of immigrants from the vicinity of Chernobyl. *Int. J. Radiat. Biol.* Vol. 72, no. 6: 703–713.
- Mabuchi K. Cancer and non-cancer risks in atomic bomb survivors / *Program and book of abstracts. Diagnosis and treatment of radiation injury: International conference*, 30 August – 3 September 1998, Rotterdam. – Rotterdam, 1998.
- Malko M.V. (1998a). Assessment of the Chernobyl Radiological Consequences, Research activities about the radiological consequences of the Chernobyl NPS accident and social activities to assist the sufferers by accident. *Report of an International collaborative work under the research grant of the Toyota Foundation in 1995–1997*, Ed. T.Imanaka. Research Reactor Institute, Kyoto University. March 1998, pp. 65–89.
- Malko M.V. (1998b). Chernobyl accident: the crisis of the International Radiation Community, Research activities about the radiological consequences of the Chernobyl NPS accident and social activities to assist the sufferers by accident. *Report of an International collaborative work under the research grant of the Toyota Foundation in 1995–1997*, Ed. T.Imanaka. Research Reactor Institute, Kyoto University. March 1998, pp. 5–17.
- Neifakh E.A., A.I. Alimbekova, G.F. Ivanenko (1998). Development of E and A hypovitaminoses in children correlates with Chernobyl radioloads of their mothers. [*Biokhimiya*]. Vol. 63, no. 10: 1339–1344 (in Russian).

- Nomura T. (1982). Parental exposure to X rays and chemicals induces heritable tumours and anomalies in mice. *Nature*, Vol. 296, no. 5857: 575–577.
- Nomura T. (1984). High sensitivity of fertilized eggs to radiation and chemicals in mice: comparison with that of germ cells and embryos at organogenesis. *Cong. Anom.*, Vol. 24: 329–337.
- Nomura T. (1988). X-ray and chemically induced germ-line mutation causing phenotypical anomalies in mice. *Mut. Res.*, Vol. 198: 309–320.
- Oftedal P. (1991). Biological low-dose radiation effects. *Mut. Res.*, Vol. 258, no.2: 191–205.
- Okeanov A.E., G.V.Yakimovich (1996). Epidemiological assessment of induced malignant neoplasms in Belarus following the Chernobyl accident. One decade after Chernobyl: Summing up the consequences of the accident. *Poster presentations*, Vol. 1, Vienna, pp.126–129.
- Okeanov N.N., A.V. Yakimovich (1999). Incidence of malignant neoplasms in population of Gomel Region following the Chernobyl accident. *Int. J. of Radiat. Medicine*, Vol. 1, no. 1: 49–54.
- Okeanov A.E., S.M. Polyakov (1996). Risk of oncological diseases among the liquidators. One decade after Chernobyl: Summing up the consequences of the accident. *Poster presentations*, Vol. 1, Vienna, pp. 130–133.
- One Decade After Chernobyl. Summing up the Consequences of the Accident. *Proceedings of an International Conference*, Vienna (1996).
- Petridou E., D. Trichopoulos, N. Dessypris, V. Flytzant, S. Haidas, M. Kalmanti, D. Koliousskas, H. Kosmidis, F. Piperopoulou, F. Tzortzatou (1996). Infant leukaemia after in utero exposure to radiation from Chernobyl. *Nature*, Vol. 382: 352–353.
- Pierce D.A., Y. Shimizu, D.L. Preston, M. Vaeth, K. Mabuchi (1996). Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, part 1. *Cancer: 1950–1990. Radiat. Res.*, Vol. 146, no. 1: 1–7.
- Pobel D., J.-F. Viel. (1997). Case-control study of leukaemia among young people near La Hague nuclear reprocessing plant: the environmental hypothesis revisited. *BMJ*, Vol. 314: 101–106.
- Riabokon N.I. (1999). Assessment of relationship of dose-effect for cytogenetic injuries in somatic cells of small mammals under chronic irradiation at low doses, *Proceedings of YI International Scientific-practical conference on "Human Ecology in the Post-Chernobyl Period"*, September 27–29, 1999. *Ecological Anthropology. Annual*. Minsk, pp. 315–322 (in Russian).
- Schmitz-Feuerhake I., B. Dannheim, A. Heimers, B.Oberheitmann, H. Schröder, H.Ziggel. (1997). Leukaemia in the proximity of a German boiling-warter nuclear reactor: evidence of population exposure by chromosome studies and environmental radioactivity. *Environ. Health Perspectives*, Vol. 105, no.1: 1499–1504.
- Shevchenko V.A., Snigireva G.P. (1996). Cytogenetic consequences of ionizing radiation effect on human populations. *Consequences of the Chernobyl Accident: Human Health*. Ed., E.B.Burlakova. Moscow, pp. 24–49 (in Russian).
- Shima A., A. Shimada (1988). Induction of mutations in males of the fish *Oryzias latipes* at a specific locus after irradiation. *Mut. Res.*, Vol. 198: 93–98.

- Steiner M., Burkart W., Groscher B., Kaletsch U., Michaelis J. (1998). Trends in infant leukaemia in West Germany in relation to in utero exposure due to the Chernobyl accident. *Radiat. and Environ. Bioph.*, Vol. 37, no. 2: pp. 87–94.
- Streffer C., H. Tanooka (1996). Biological effects after small radiation doses. *Int. J. Radiat. Biol.*, Vol. 69, no. 2: 269–272.
- The International Advisory Committee. The International Chernobyl Project: Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures, Technical Report, *IAEA*, Vienna, 1991.
- Tsyb A.F. (1997). Medical consequences of the Chernobyl accident. *The Third Internat. Congress on Radiation Research. Abstracts*, Vol. 1, Moscow, pp. 15–16.
- Tsyb A.F., A.M. Poverenyi (1996). Injuries in thyroid gland during the Chernobyl accident: probable consequences. *Consequences of the Chernobyl Accident: Human Health*. Ed. E.B. Burlakova. Moscow, pp. 219–228 (in Russian).
- United Nations. Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988, *Report of the General Assembly, with annexes*. United Nations, New York, 1988(1): 35–44.
- Wadman M. (1997). NCI apologizes. *Nature*, Vol. 389, no. 6651: 534.
- Weinberg H.-S., E. Nevo, A. Korol, T. Fahima, G. Rennert, S. Shapiro (1997). Molecular changes in the offspring of liquidators who emigrated to Israel from the Chernobyl disaster area. *Environ. Health Perspectives*, Vol. 105, supplement 6: 1479–1481.
- Wing S., D. Richardson, D. Armstrong, D. Crawford-Brown (1997). A reevaluation of cancer incidence near the Three Mile Island Nuclear Plant: The Collision of Evidence and Assumptions. *Environ. Health Perspectives*, Vol. 105, no. 1: 52–7.
- Worgul B.V., Y. Kundiev, I. Likhachev, N. Sergienko, A. Wegener, C.P. Medvedovsky. (1996). Use of subjective and nonsubjective methodologies to evaluate lens radiation damage in exposed populations - an overview. *Radiat. Environ. Bioph.*, Vol. 35, no. 3: 137–44.
- Yagovdik I.N. (1998). Menstrual function under radiocaesium incorporation conditions. Chernobyl: *Ecology and Health*. Gomel (Belarus), 1999, no. 2(6): 88–94 (in Russian).