

ANNALEN  
VAN  
DE BELGISCHE VERENIGING  
VOOR  
STRALINGSBESCHERMING

---

---

VOL. 16, N° 2

2e trim. 1991

Driemaandelijkse  
periodiek  
1050 Brussel 5

Périodique  
trimestriel  
1050 Bruxelles 5

---

---

ANNALES  
DE  
L'ASSOCIATION BELGE  
DE  
RADIOPROTECTION

Hoofdredacteur

Dr. M.H. FAES  
Fazantendreef, 13  
3140 Keerbergen

Rédacteur en chef

Redactiesecretariaat

Mme Cl. STEVENART  
14, rue Juliette Wytsmanstraat  
1050 Bruxelles - Brussel

Secrétaire de rédaction

Publikatie van teksten in de Annalen gebeurt onder volledige verantwoordelijkheid van de auteurs.

Nadruk, zelfs gedeeltelijk uit deze teksten, mag enkel met schriftelijke toestemming van de auteurs en van de Redactie.

Les textes publiés dans les Annales le sont sous l'entière responsabilité des auteurs.

Toute reproduction, même partielle, ne se fera qu'avec l'autorisation écrite des auteurs et de la Rédaction.

## SOMMAIRE

Ce numéro contient les textes des exposés présentés le 26 avril 1991 lors d'une réunion organisée par l'A.B.R. consacrée à:

### **TCHERNOBYL, 5 ANS APRES**

#### **- R.J.C. KIRCHMANN**

Aspects radioécologiques de l'accident de Tchernobyl

69 - 95

#### **- C. MYTTENAERE**

Conséquences de l'accident nucléaire de Kyshtym sur l'homme et sur l'environnement

97 - 110

#### **- F. LUYKX**

E.G. Stralingshygiëne na Tsjernobyl

111 - 117

#### **- J. SINNAEVE**

Programme de recherche en radioprotection

119 - 128

## INHOUD

Dit nummer bevat de teksten van de uiteenzettingen gedaan op 26 april 1991 ter gelegenheid van een vergadering van de B.V.S.gewijd aan:

### **TSJERNOBYL, 5 JAAR LATER**

## ASPECTS RADIOECOLOGIQUES DE L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL

Kirchmann, R.J.C.

UNION INTERNATIONALE DES RADIOECOLOGISTES  
5, rue Cardinal Cardijn  
B-4680 OUPEYE

Texte de l'exposé du 26 avril 1991

### Résumé.

L'auteur donne un bref aperçu du terme source (70 PBq de  $^{137}\text{Cs}$  libérés dans l'atmosphère au cours des 9 jours de rejet).

Une superficie totale d'environ 130.000 km<sup>2</sup> a été contaminée au dessus de 1 Ci.km<sup>-2</sup> en  $^{137}\text{Cs}$ , en territoire soviétique.

L'impact radiologique sur les écosystèmes terrestres s'est manifesté au niveau des pins et des animaux des litières forestières. (20 - 30 Gy). Les écosystèmes aquatiques ont peu souffert au plan radiologique.

L'évolution de la contamination radioactive des divers compartiments des écosystèmes terrestres et aquatiques ainsi que les contre-mesures visant à diminuer les transferts de radionucléides dans les chaînes alimentaires sont succinctement décrits.

### 1. INTRODUCTION

Un des problèmes majeurs auxquels furent confrontées les Autorités soviétiques au cours des semaines et des mois qui ont suivi l'accident était la limitation de l'exposition radiologique de la population par l'irradiation externe et par la consommation des denrées agricoles produites localement. Afin d'appréhender correctement l'ampleur de ces problèmes, nous avons jugé utile de rappeler les éléments d'information de base quant au terme-source, les surfaces contaminées et les niveaux de radioactivité mesuré.

Dans certaines régions d'Ukraine, de Biélorussie et de la Fédération Soviétique, la contamination radioactive de l'environnement a atteint un tel niveau qu'actuellement encore la présence des radionucléides à longue vie ( $^{137}\text{Cs}$   $^{90}\text{Sr}$ ) est la facteur déterminant le maintien ou non de populations dans ces régions.

C'est pourquoi, immédiatement après l'accident, un programme de recherche radioécologique à grande échelle a été mis sur pied afin: d'étudier, d'évaluer et d'établir un pronostic pour les caractéristiques de migration de radionucléides dans le écosystèmes naturels et agricoles.

Cette recherche radioécologique couvre 2 groupes principaux de problèmes:

-1. L'étude détaillée des caractéristiques de contamination radioactive du sol et des surfaces (ex: dispersion, composition, densité des radionucléides déposés).

La prévision du changement de ces caractéristiques au cours du temps, notamment des niveaux d'exposition externe dû au rayonnement gamma.

-2. L'étude de la contamination radioactive des compartiments des écosystèmes naturels et agricoles, notamment pour la prévision des caractéristiques de migration des divers radionucléides dans le système sol-plante.

### **1.1. Terme-source.**

Selon Margoulis (1988) au moment de l'explosion thermique du réacteur de la centrale nucléaire de Tchernobyl, le combustible dispersé par la destruction du réacteur a été rejeté jusqu'à une hauteur d'environ 1 km. Le plus fort courant de produits radioactifs gazeux et sous forme d'aérosols a été observé pendant les premiers 2-3 jours après l'accident dans la direction du nord, où le niveau de rayonnement s'est élevé à 1000 mR/h le 27 avril et 500 mR/h le 28 avril, à une distance de 5-10 km de l'endroit de l'accident, à une hauteur de 200 m. L'activité des produits de fission, sans les gaz inertes radioactifs, rejetée par le réacteur s'élevait à  $7,4 \cdot 10^2 - 8 \cdot 10^2$  PBq, (recalculée au 6 mai en tenant compte de la décroissance:  $4,4 \cdot 10^2$  PBq). Puisque le réacteur accidenté est resté pendant un temps relativement long (8-10 jours) une source intense de rejets de produits radioactifs dans l'atmosphère, l'image de la contamination du territoire, en ce qui concerne les niveaux de l'activité déposée et la composition des radionucléides, avait un caractère complexe par suite des changements survenus dans le temps, des conditions météorologiques, de la hauteur et de l'intensité du rejet.

En particulier, on a observé la formation de fortes contaminations localisées à des parties très limitées du territoire.

Un aspect unique a été la présence de "particules chaudes" dont la nature et le devenir constituent une des énigmes majeures de cet accident (E.D. STUKIN, 1990).

### **1.2. Zones contaminées**

#### **1.2.1. Description physique et géographique des régions contaminées.**

La centrale électro-nucléaire de Tchernobyl est située dans la République socialiste soviétique d'Ukraine (Uk.S.S.R.), à une distance d'environ 120 km au N-O de Kiev et à environ 310 km au S-E de Minsk, capitale de la Biélorussie.

En ce qui concerne le relief, la région concernée est plate, l'altitude maximale ne dépasse pas 200 m. Le climat est modéré-continentale, avec un été chaud et un hiver relativement doux, la quantité annuelle moyenne des précipitations varie de 500-650 mm, environ 2/3 des précipitations tombent dans la période chaude de l'année.

Dans le sol de couverture des régions du sud de la Biélorussie prédominent des sols sodo-podzoliques et tourbeux-marécageux, dans les régions du sud-est, on rencontre des sols sodo-podzoliques, argileux et argilo-sablonneux.

La région boisée (région sud de la province de Gomel, région nord des provinces de Kiev et de Zhitomir) se caractérise par une large extension de sols marécageux sodo-podzoliques sablonneux et argilo-sablonneux en combinaison avec des grandes tourbières massives en dépression. Des

sols de composition mécanique légère occupent 58% de la surface. Tous les sols sodopodzoliques de la région boisée se distinguent par une fertilité naturelle peu élevée, en général acides (pH 4-5,5), faiblement pourvus de substances minérales nutritives (notamment en potassium, phosphore et magnésium). La division du relief n'est pas grande, seulement un micro-relief fortement marqué, principalement dans la région boisée biélorusse, ce qui, combiné avec l'état marécageux, détermine la petite taille des exploitations agricoles.

Le défrichage du territoire constitue près de 25%. Jusqu'à 50% des parcelles agricoles sont occupées par du fourrage naturel (prairie de graminées et de laiches). Un tel milieu naturel a formé des types spécifiques de production. Dans la région s'est développé l'élevage laitier et pour la viande (jusqu'à 60 vaches sur 100 ha); une place significative est prise par la plantation de pommes de terre (près de 8% des parcelles), de cultures fourragères (35-40%), de céréales (près de 50%), de lin à longue fibre (jusqu'à 5%).

Dans le sud de la région boisée ukrainienne commence une zone de steppe boisée (branche sud de la trace) dans la couverture de sol de laquelle prédominent les terres noires (tchernoziom) podzolisées et des sols gris et gris-clair sur les dépôts forestiers. Les espèces prédominantes dans les forêts de la région boisée ukrainienne sont des pins avec présence de bouleaux et de chênes; dans les régions de steppes boisées ce sont des massifs de forêts de chênes, charmes, tilleuls.

De l'analyse des données, caractérisant la distribution des territoires contaminés selon la mise en valeur économique, on voit qu'environ la moitié des terres contaminées de Biélorussie coïncident avec des terrains agricoles (41-50%) et jusqu'à 50% avec des complexes naturels (forêts, marais, plans d'eau).

En Ukraine la partie du territoire coïncidant avec des couverts naturels diminue de 46% dans le nord (région de Tchernobyl) jusqu'à 10-12% dans la région sud.

### **1.2.2. Superficies contaminées et niveaux mesurés**

Les zones principales de contamination radioactive du terrain immédiatement après l'accident ont eu lieu dans les directions Ouest, Nord-Ouest et Nord-Est et plus tard, dans une moindre mesure, dans la direction Sud.

Dans les centres habités à l'intérieur des limites de la zone de 30 km, les niveaux maximaux de rayonnement ont atteint 10-15 mR/h. Le 5 mai ils avaient diminué d'un facteur 2-3.

Au-delà des limites de la zone de 30 km, les niveaux de rayonnement étaient significativement plus bas. En particulier, après le 10 mai 1986, l'intensité du rayonnement gamma dans la zone exposée à 60 km de la centrale nucléaire atteignait 0,3 mR/h, et à Kiev, 0,32 mR/h.

Sur le site et à proximité immédiate de celui-ci, du fait de l'intense contamination radioactive, le rayonnement atteignait quelques centaines de mR/h pendant le premier jour. Il était causé par des débris de graphite et de combustible nucléaire, rejetés par le réacteur et retombés sur le toit de la salle des machines et sur le troisième bloc et par le dépôt des plus grosses particules du plumet d'aérosols radioactifs.

La superficie totale du territoire soviétique qui est contaminé au-dessus de 1 Ci <sup>137</sup>Cs km<sup>2</sup> est de 130.000 km<sup>2</sup> environ dont 3100 km<sup>2</sup> au-dessus de 40 Ci <sup>137</sup>Cs km<sup>2</sup> (R.M. ALEXAKHIN, 1991).

## **2. IMPACT DE LA CONTAMINATION RADIOACTIVE SUR LES ECOSYSTEMES TERRESTRES**

### **2.1. Effets de la contamination radioactive sur le milieu naturel**

Les effets de l'action directe des radiations sur les communautés végétales et animales conduisant à la destruction des forêts de conifères à une modification remarquable de la faune du sol sont apparus dans une zone limitée de forte contamination radioactive à une distance de quelques kilomètres de la centrale de Tchernobyl. La plus grande sensibilité à la contamination radioactive a été manifestée, comme prévu, par les forêts de pins. Des effets létaux de l'irradiation des pins (80-100 Gy) se sont manifestés visuellement vers la fin de l'été 1986. La parcelle de massif forestier mort contiguë à l'ouest à la parcelle industrielle de la centrale de Tchernobyl, comprenait 400 ha. Les espèces boisées feuillues (représentées dans la zone de forte contamination radioactive autour de la centrale principalement par des bouleaux, des trembles, des chênes) n'ont presque pas souffert, du fait que leur résistance aux rayonnements est de 10 fois plus élevée que pour les conifères. On n'a pas décelé dans cette zone des changements morphologiques chez les plantes herbacées (Yu. A. IZRAEL et al, 1987).

A des doses sublétales (environ 8 à 10 Gy) quelques arbres, principalement âgés de 10 à 12 ans, moururent et 90 à 95% des jeunes arbres manifestèrent des nécroses. Des changements morphologiques ont été observés sur les sites ayant une exposition moyenne (environ 3 à 4 Gy), la plupart des pins de ces sites étaient souvent tordus et épaissis, portant des rameaux avec des aiguilles partiellement préservées.

L'effet génétique de l'exposition apparaît à une débit de dose de 5mR/h et au-delà. Une évaluation de la qualité des semences de 29 espèces de plantes sauvages appartenant à 29 familles a été faite. La masse de 1.000 graines, le pouvoir germinatif et la germination en laboratoire ont été pris comme critères majeurs. Dans les semences formées sous différentes conditions d'irradiation (de 10 à 250 mR/h) une diminution de la masse des 1.000 graines et de la germination en laboratoire a été observée (USSR Report to UNSCEAR, 1987).

A l'extérieur de cette petite zone, des effets visibles de dégâts par les radiations à la flore et à la faune n'ont pas été remarqués.

### **2.2. Ecosystèmes agricoles**

#### **2.2.1. Effets des retombées de Tchernobyl sur le bétail (UNSCEAR, 1987)**

L'élevage dans la zone contaminée a été sous la dépendance à un degré important des mesures prises pour la protection de la population. En effet, l'évacuation de la population de la zone de 30 km effectuée après l'accident, en plusieurs étapes, a été accompagnée par l'évacuation simultanée et la relocalisation du bétail dans des régions plus "propres" (du point de vue radiologique). A noter qu'un nombre important d'animaux ont été abattus par la suite et la viande contaminée a été stockée en chambre frigorifique en attendant une décision des autorités. Les études dosimétriques démarrées dans les premiers jours après l'accident ont permis d'établir la loi de la décroissance du taux d'exposition et de la formation des doses absorbées à partir de

l'irradiation gamma externe des animaux sous différentes conditions de maintenance. Les concentrations mesurées des produits de fission dans le fourrage, le contenu du tractus gastro-intestinal, les organes des animaux et les tissus ont permis de calculer les doses gamma interne au tractus gastro-intestinal, et à la thyroïde sur la base de modèles dosimétriques. Les valeurs des doses absorbées par les vaches de 3 groupes:

animaux évacués de la zone de 30 km durant les 9 premiers jours , ceux évacués 90 jours après l'accident et trouvés pâturant dans la zone contaminée , et les animaux qui n'ont jamais été dans la zone des 30 km , ont été calculées. Un exemple de résultats est donné dans la figure 1.

### **Résultats d'observations cliniques.**

-----

Les observations cliniques périodiques des animaux évacués et ceux situés en dehors de la zone des 30 km n'ont pas révélé de dommages pathologiques typiques dus aux rayonnements. Une étude clinique détaillée sur le bétail, les chevaux, et les moutons a été effectuée de novembre 1986 à mars 1987 dans le but d'estimer l'état de santé des animaux exposés aux rayonnements.

Aucun changement clinique significatif n'a été observé durant la période considérée. Durant cette période, 2 des 15 vaches ont vêlé, et chez deux autres animaux, lorsqu'ils ont été abattus, des foetus normalement développés ont été trouvés. Aucun changement clinique n'a été observé aussi chez les chevaux. Une jument a pouliné normalement, chez 3 autres, abattues, des foetus normalement développés ont été trouvés. Des groupes d'animaux évacués des zones proches du site de Tchernobyl en juillet et août 1986 ont été identifiés dans 2 fermes en novembre et décembre 1986 . Avant leur évacuation, ces animaux ont pâture librement sur les pâtures contaminées. Selon les données radiologiques locales, le niveau de contamination de l'herbe de ces pâtures était compris entre 40 et 60 MBq/kg (au 1er mai 1986).

Les symptômes observés chez ces animaux furent ceux de mys-oedèmes, les poils allongés, (spécialement à la base du cou), l'épaississement de la peau sur la nuque, et dans certains cas des signes d'exophtalmie, une respiration "ronflante" et un abaissement de la température du corps jusqu'à 34-35°C.

Dans ce groupe, plusieurs animaux manifestant une hypothyroïde et des signes de mys-oedèmes radioinduits moururent.

### **2.2.2. Contamination des végétaux des prairies**

Les graphiques (fig 2,3) établis à partir des données de V.A. VETROV (1990) donnent, respectivement pour juillet 1986 et juillet-août 1988, les valeurs de Kt pour les principaux radionucléides à longues vie de Tchernobyl groupés dans les trois zones de contamination radioactive (fig,4):

I.- La trace nord, les régions sud Biélorussie, 50-250 km de la source, sol tourbeux podzolique sur dépôts alluviaux avec divers degrés de podzolisation;

II.- La trace proche, surfaces des zones boisées ukrainiennes et de la Polésie Biélorusse, jusqu'à 100 km de la source, podzol tourbeux et sol gazonneux;



III.- La trace sud, 100-300 km de la source, sol podzolique sur dépôts de loess et zone de tchernozyms avec steppe-forêt.

L'examen des données relatives à juillet 1986 indique qu'aucune différence significative n'a été observée dans l'absorption des radionucléides individuels de Tchernobyl dans les plantes herbacées à l'intérieur d'une même zone. En même temps, Kt a montré une tendance nette d'augmentation lorsque l'on se déplace du nord vers le sud, variant de  $(10-90) \times 10^{-9} \text{ km}^2/\text{kg}$  dans la région Mogilev à  $(200-1000) \times 10^{-9} \text{ km}^2/\text{kg}$  dans la partie sud de la région de Kiev (voir la fig.2). Cela est attribué à la contamination prédominante aérienne (extra-racinaire) de l'herbe par la retombée atmosphérique durant le temps où la source était active (fin avril jusqu'au début mai 1986) lorsque la densité de la phytomasse dans le sud était significativement plus grande que dans le nord où la phytomasse a continué à augmenter rapidement pendant les 1-1,5 mois suivants. Lorsque les échantillons d'automne furent prélevés en 1986, la contamination générale des végétaux des pâtures dans les zones I et II était approximativement la même que durant l'été. Durant les saisons végétatives suivantes (1987,1988), il y a eu une réduction notable des coefficients Kt pour la contamination des plantes des prairies comparativement avec 1986; en même temps, les valeurs Kt différaient selon les différents radionucléides de Tchernobyl. Les valeurs maximales observées pour Kt l'ont été pour les radionucléides du césium, du strontium et de l'argent (1987); les valeurs les plus basses observées l'ont été pour le ruthénium. La figure 5 montre l'évolution du transfert des radiocésium de 1986 à 1989 dans les herbages naturels, dans la région de Gomel (zone I).

D'une façon générale, l'analyse de la contamination radioactive de la végétation des pâtures durant 1986 à 1988 a permis les conclusions suivantes:

1) la route principale de contamination durant la période de végétation (1986) a été la rétention aérienne produisant une contamination de la surface des végétaux et conduisant à des coefficients d'absorption Kt s'élevant à 0,5-3% de la quantité totale de radioactivité déposée sur la surface. Les valeurs typiques de Kt pour la contamination totale de la biomasse végétale se situe entre  $(10-90) \times 10^{-9} \text{ km}^2/\text{kg}$  dans le nord et  $(200-1000) \times 10^{-9} \text{ km}^2/\text{kg}$  dans le sud, dépendant de la densité de la phytomasse pendant la période de retombée et, probablement, du type de retombée (humide,sèche);

2) pendant les seconde et troisième périodes de végétation après les retombées (1987,1988) la teneur en radionucléides de Tchernobyl dans les plantes des pâturages a été réduite par un facteur de 10 comparativement avec la contamination aérienne initiale durant le printemps et l'été de 1986, et il y eut des différences significatives dans les valeurs de Kt pour les radionucléides individuels de Tchernobyl. Ces deux effets confirment que l'absorption racinaire a contribué significativement à l'absorption des radionucléides de Tchernobyl dans la biomasse des plantes durant cette période;

3) le fait qu'il n'y ait pas eu de différence significative en 1987-1988 dans les coefficients d'absorption observés pour les radionucléides de Tchernobyl dans les trois zones sol-climat indique que la variabilité élevée de Kt (par un facteur de 10-1000) est due aux caractéristiques

agro-chimiques différentes du sol dans les sites d'observation de chaque zone. Les facteurs sol-climat caractérisant chaque zone jouent d'une façon évidente un rôle secondaire.

### 2.2.3. Contamination des plantes agricoles

Un réseau de stations radioécologiques a été établi dans les régions nord de l'Ukraine où les niveaux de contamination en césium 137 variaient de 37 GBq à 555 GBq km<sup>-2</sup> et au-delà. Dans ces régions, des cultures de céréales à haute valeur économique sont produites (principalement le blé d'hiver), des betteraves sucrières, pommes de terre et légumes sont aussi produits. Une proportion significative des terres cultivées est utilisée pour produire des plantes fourragères: maïs, prairies temporaires, betteraves fourragères.

Les observations à ces stations ont commencé en août 1986. Dans chaque champ expérimental une parcelle typique qui mesure approximativement 300 x 500 m<sup>2</sup> a été sélectionnée et la teneur en radionucléides de Tchernobyl dans la couche labourée a été mesurée une à deux fois par saison (les couches 0-5, 5-15, 15-25, 25-35 cm ayant été mesurées séparément).

Les échantillons de la biomasse des plantes agricoles ont été prélevés sur la même parcelle de la manière suivante: les graminées, le maïs et les pois ont été échantillonnés lorsque le feuillage était pleinement développé et au moment de la récolte (le grain); 3-4 coupes d'herbe perenne (matière verte) ont été prélevées entre mai et août; le restant des cultures a été échantillonné avant la récolte.

Afin de déterminer la contamination en surface, tous les échantillons végétaux ont été analysés de deux manières - dans leur état naturel (prêt pour le marché) et après qu'ils aient été lavés sous une abondante quantité d'eau.

De même que les teneurs en radionucléides de Tchernobyl ont été déterminées dans les sols et échantillons végétaux, des mesures ont aussi été effectuées sur les pluies; l'humidité du sol, les caractéristiques agro-météorologiques principales, et la récolte à toutes les stations agro-écologiques ont été déterminées. En outre, les caractéristiques agro-chimiques de tous les champs expérimentaux furent déterminés régulièrement: composition mécanique, pH, teneur en humus, teneur en éléments nutritifs etc ...

Les caractéristiques générales de contamination des principales cultures agricoles en 1988 (basées sur des observations faites sur l'entièreté du réseau des stations agro-écologiques), sont données dans le tableau 1 sous forme de gammes de fluctuation typique pour les coefficients d'absorption Kt. (S.K. FIRSAKOVA et al. 1991).

Par ailleurs, les teneurs similaires des différents radionucléides de Tchernobyl (excepté pour le <sup>90</sup>Sr) observée dans les organes végétatifs des plantes montrent que, pour les radionucléides de Tchernobyl, la contamination en surface restait le principal facteur de la contamination totale des plantes agricoles durant 1987-1988. Cette déduction est confirmée par les résultats d'expériences où les échantillons végétaux furent lavés. Donc, en 1987, pas plus de 50% du césium radioactif n'a été absorbé dans la biomasse végétale via l'absorption racinaire.

### 3. IMPACT SUR LES ECOSYSTEMES AQUATIQUES

Le milieu aquatique joue un rôle spécial dans la redistribution des radionucléides puisque les processus de migration et d'accumulation des radionucléides dans ces écosystèmes se déroulent plus intensément que dans le milieu terrestre.

Parmi les radioéléments dispersés après le 26 avril 1986 quelques uns sont bien visibles dans le milieu aquatique. On notera l'importance de  $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{Te}$ ,  $^{103+106}\text{Ru}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  et surtout  $^{134+137}\text{Cs}$ , ce dernier devenant vite dominant partout. Les transuraniens et le strontium associés aux particules de combustible prédominent près de la centrale, ce sont "les particules chaudes" qui contiennent de l'uranium 235, environ 50%, du  $^{144}\text{Ce}$  et du ruthénium; on détecte aussi dans cette zone  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{154+155}\text{Eu}$ . La composition en radionucléides est variable dans l'espace ainsi que les formes chimiques, en particulier le partage des formes particulières (Cs, Ru, Ag, Ce...) et dissoutes (Te, I, Ru, Cs...). On distingue des formes cationiques, peu mobiles et fortement fixées ( $\text{Cs}^+$ ,  $\text{RuNO}_3^+\dots$ ) et anioniques mobiles et peu adsorbées (I, Sb,  $\text{HTeO}_4$ ,  $\text{RuO}_2\dots$ ). (L. FOULQUIER et al., 1990).

#### 3.1. Radioactivité de l'eau

Les produits de fission, au contact de l'eau, se libèrent partiellement de la matrice et passent à un état plus mobile, soluble ou faiblement soluble sous forme de complexe organique ou non. La composition de la matière organique joue un rôle très important: les complexes organiques et non organiques en suspension sont la forme principale de migration des radioéléments dans l'eau. Par exemple le ruthénium a une grande capacité à former des complexes, et a une grande possibilité de migration (30 à 40% sont sous forme soluble); le césium est essentiellement associé aux matières en suspension, il est fixé dans les feuillets des argiles, environ 10% sont sous forme dissoute. En période de crue les processus migratoires augmentent.

Le réservoir le plus contaminé est l'étang de refroidissement de la centrale de Tchernobyl. En juillet-août 1986 des valeurs de  $500 \text{ Bq.l}^{-1}$  ont été trouvées pour le  $^{137}\text{Cs}$  et  $220 \text{ Bq.l}^{-1}$  pour le  $^{134}\text{Cs}$ ; la teneur en strontium était en août de la même année de  $900 \text{ mBq.l}^{-1}$ .

Dans la zone du réservoir de Kakhovka, bas Dniepr, en 1986 pour les  $^{134+137}\text{Cs}$  les valeurs se situent dans une fourchette de  $10 \text{ mBq.l}^{-1}$  à  $74 \text{ mBq.l}^{-1}$  et de  $19$  à  $860 \text{ mBq.l}^{-1}$  pour le  $^{90}\text{Sr}$ .

#### 3.2. Radioactivité dans les sédiments

L'une des plus importantes formes de migration des radioéléments dans les plaines d'Ukraine et de Biélorussie est le transport par les matières en suspension des cours d'eau. En octobre 1988 la teneur en  $^{137}\text{Cs}$  dans les sédiments de fonds du réservoir de refroidissement de la centrale n'avait pratiquement pas diminué par rapport à l'été 1986; dans la couche 0-5 cm on note encore des valeurs de  $0,2$  à  $0,35 \text{ MBq.kg}^{-1}$  sec. On remarque la diminution de la radioactivité quand on s'enfonce dans le sédiment pour le  $^{137}\text{Cs}$ ; pour le  $^{106}\text{Ru}$  c'est la couche de 4-8 cm qui est la plus contaminée. Dans le réservoir de Kiev, en 1987, pour les sédiments de fonds les valeurs étaient beaucoup plus faibles,  $2180 \text{ Bq.kg}^{-1}$  sec et  $620 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , respectivement pour les  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{90}\text{Sr}$ .

### 3.3. Radioactivité dans les poissons

Par leur place dans les chaînes alimentaires et la consommation humaine, l'étude radioécologique des poissons présente un grand intérêt. Nous disposons à ce sujet des informations les plus nombreuses. Quelques radionucléides ont été détectés; les ruthéniums 106 et 103, l'argent 110m et surtout le césium 137; en URSS on remarque la présence du strontium 90 (dans des brochets du Dniepr en 1987 on trouvait  $155 \text{ Bq.kg}^{-1}$  frais). Les valeurs maximales dans les rivières, pour le  $^{137}\text{Cs}$ , sont observées dans les poissons ( $1850 \text{ Bq.kg}^{-1}$  frais dans la rivière Pripyat dans la zone des 30 Km).

Dans les lacs, les valeurs sont plus dispersées. Les poissons planctonophages se sont contaminés au cours de la première année qui a suivi l'accident tandis que les prédateurs se sont contaminés plus lentement de façon plus durable jusqu'en 1988. (L. FOULQUIER et al., 1989).

La figure 6 montre les teneurs en  $^{90}\text{Sr}$  de l'eau et des poissons mesurées dans des échantillons prélevés dans le lac de refroidissement de la centrale de Tchernobyl jusqu'à l'estuaire du Dniepr. (G. G. POLIKARPOV, 1991).

## 4. CONTRE-MESURES AGRICOLES

### 4.1. Contre-mesures agrotechniques (UNSCEAR, 1987)

La retombée radioactive de la catastrophe de Tchernobyl a contaminé les terres agricoles et, en conséquence, les produits de la ferme contenant des radionucléides sont devenus une source d'irradiation additionnelle. La contribution de l'irradiation suite à la dose totale la consommation d'aliments locaux la dose totale peut varier à différents stades de la période post-accidentelle. Une chose en outre doit être notée: l'irradiation à partir de l'ingestion d'aliments contaminés est la plus contrôlable en comparaison avec les autres sources d'expositions additionnelles (p.e.: l'irradiation externe).

Par conséquent, la diminution de l'engagement de l'équivalent de dose efficace collective est déterminée dans une large mesure par les possibilités de limiter les doses internes dues à l'ingestion d'aliments.

Ainsi que de nombreuses recherches l'ont montré, une des façons les plus efficaces de réduire le transfert du césium-137 du sol aux plantes (pour les sols acides légers de faible fertilité), est d'appliquer des engrais minéraux (spécialement des potassiques considérant l'antagonisme du césium-137 et de son analogue chimique, le potassium) et le chaulage.

En outre, on arrive à diminuer le transfert de radionucléides (en particulier le césium-137) dans les végétaux lorsque des minéraux argileux du type zéolites sont ajoutés aux sols légers herbeux sodo-podsoliques. Dans ce cas, le sol est enrichi par des fractions finement dispersées d'argile ayant une haute capacité d'échange assurant la fixation de césium-137 et la conversion en une forme relativement difficile pour l'absorption par les végétaux.

Les expériences sur végétaux ont prouvé que l'application de chaux, d'engrais minéraux et de zéolites entraînent généralement une diminution de l'absorption de césium-137 par les végétaux. Le plus efficace sous ce rapport est l'addition de quantités accrues d'engrais potassiques ( la diminution maximale, d'un facteur d'environ 3,5, est observée dans les grains des récoltes provenant des podsolherbeux, aréno-argileux et des sols sablonneux). En moyenne, des quantités accrues d'engrais potassiques entraînent une diminution de 3,5 du facteur de transfert au grain et à la biomasse verte de toutes les cultures étudiées. La réponse des végétaux, exprimée par le changement de l'absorption du césium-137 à partir du sol, suite à l'apport de chaux, d'engrais minéraux et de zéolites n'est pas observée chez tous les types de sol étudiés. Par exemple, le chaulage et l'application d'engrais et de zéolites ne produisent pas une réduction du transfert du césium-137 chez les plantes dans le cas de sols herbeux podzols aréno-argileux et sablonneux. L'addition de zéolites est efficace seulement chez un des 4 types de sols étudiés et seulement pour certaines cultures, avec une diminution maximale de l'absorption de césium-137 chez le froment (2,5 pour le grain). Dans un nombre de cas, l'addition de zéolites induit un transfert accru du césium-137 dans les végétaux. L'efficacité des contre-mesures dépend donc des caractéristiques biologiques des plantes et du moment de l'interaction du produit avec le sol. Par exemple, chez le pois (la graine et la fane) et chez le maïs (feuillage) l'apport de chaux, d'engrais et de zéolite, n'ont pas diminué essentiellement le transfert du césium-137 dans les végétaux. Le transfert du césium-137, représenté comme le rapport entre la concentration du radionucléide dans la plante et dans le sol, pour un sol herbeux podzologique-sablonneux-argileux et sablonneux varie de 0,13 à 0,26 dans la graine de pois, 0,009 à 0,030 dans le grain de blé et 0,012 à 0,042 dans le grain d'avoine. Pour une seule et même culture l'absorption du césium-137 dépend des caractéristiques du sol et peut varier de 4 à 5 fois. Il doit être noté que, du point de vue de la réduction de l'absorption du césium-137, il est raisonnable d'estimer l'efficacité de l'apport de zéolites après une période suffisamment longue d'interaction de la zéolite avec la phase solide du sol.

Afin d'obtenir des produits alimentaires convenables, un système de mesures agrotechniques et agrochimiques ont été prises en Biélorussie, en Ukraine et dans la R.S.F.S.R. Un labour plus profond avec addition de quantités accrues d'engrais minéraux a été exécuté dans la zone contaminée. Le travail d'amélioration en profondeur et en surface des prairies et pâtures est aussi en cours. Dans le but de diminuer le transfert des substances radioactives du sol aux végétaux, sur les parcelles attenantes aux maisons, le sol est chaulé, des engrais phosphoriques et potassiques et quelques absorbants (zéolite) sont appliqués aux sols. Afin d'améliorer les conditions radiologiques et pour obtenir des produits agricoles convenant pour une consommation illimitée, les contre-mesures suivantes ont été prises, jusqu'à présent:

- en Ukraine: traitement chimique, chaulage de 51.000 hectares avec 4.200 hectares de parcelles attenantes aux maisons, apport aux sols d'engrais phosphoriques et potassiques (26.600 tonnes dont 2.000 tonnes sur les parcelles attenantes aux maisons) l'apport de 25.000 tonnes de zéolites est aussi envisagé;
- en Biélorussie: chaulage de 214.500 hectares, apport aux sols de quantités accrues d'engrais phosphoriques et potassiques (256.200) hectares, dont 14.200 hectares sur les parcelles attenantes

aux maisons. La diminution des surfaces pour légumineuses, de 7.100 hectares, ceux pour les pommes de terre de 6.000 hectares, ceux pour les racines comestibles de 921 hectares (dus à leur capacité d'accumuler des quantités accrues de radionucléides) a été exécutée dans un nombre de régions. La production de légumes en plein air a été réduite tandis que la production sous abri a été augmentée;

la figure 7 montre l'influence des contre-mesures sur le transfert des radiocésiums. (N.V. GREBENSCHOKOVA et al., 1990).

- dans la R.S.F.S.R., dans la région la plus contaminée de Bryansk: chaulage de plus de 65% des sols acides, fumure de 90% des terres labourées avec des engrais organiques et 80% des terres agricoles avec des engrais phosphoriques et potassiques. Le chaulage du sol et l'apport de zéolite, d'engrais phosphoriques, potassiques et organiques, rendus possible déjà au cours de la première année après le début de ces contre-mesures, a conduit à une diminution de la teneur des substances radioactives dans les produits agricoles de 1,5 à 3 fois.

Afin de diminuer la contamination des prairies permanentes destinées au fauchage et aux pâtures, le labour répété de ces zones avec semis d'un mélange pour pâtures peut être effectué. Le niveau de contamination d'un mélange de vesce et avoine était de 8 à 10 fois plus bas que celui de l'herbe des zones non traitées. La majorité des radionucléides reste dans la partie inférieure du sol pendant la période entière de végétation, alors qu'environ 90% de la quantité totale de radionucléides et plus de 60% du césium-137 étaient accumulés dans les parties basales (0-5 cm) de l'herbe au moment de la seconde coupe. Ainsi, l'absorption de radionucléides à partir de la partie basale des plantes des prairies à faucher peut constituer une contribution supplémentaire à la contamination de l'herbe au cours de la première et des années suivantes.

Le tableau 2 montre l'efficacité comparative des divers types de traitements. (S.K. FIRSAKOVA et al., 1991).

#### **4.2. Contamination de l'élevage et contre-mesures. (N.A. Korneev et al., 1987)**

Un des plus importants maillons dans le cycle biogéochimique des radionucléides artificiels est constitué par les animaux. La figure 8 reprend les données sur les transferts de radionucléides depuis la ration des animaux dans la viande, les oeufs et le lait. Pour divers radionucléides et espèces animales ils oscillent de 0.0001 jusqu'à 440%/kg, soit une gamme de 6 ordres de grandeurs.

L'élevage dans les régions contaminées peut être reprofilé vers la viande avec une alimentation finale, avant abattage, avec de la nourriture "propre", importée de régions non contaminées. Il est possible de donner de la nourriture contaminée au-dessus des normes admissibles pendant le stade de lactation, pendant lequel on obtient du lait que l'on transforme en beurre.

La transformation de beaucoup de productions agricoles conduit à une diminution du contenu de radionucléides dans les produits finals. Ainsi après écrémage 85 - 90% des  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  contenus dans le lait entier restent dans le petit-lait et 8 - 15% dans la crème. Un lavage double ou triple de la crème avec de l'eau chaude et du lait écrémé abaisse encore son contenu en  $^{90}\text{Sr}$  de 50 à 100 fois.

La refonte du beurre permet d'en éliminer pratiquement l'entièreté du strontium et du césium. Au cours de la cuisson de la viande, jusqu'à 90% du  $^{137}\text{Cs}$  passe dans le bouillon. La refonte du lard s'accompagne du transfert de plus de 95% du  $^{137}\text{Cs}$  dans la couenne.

C'est pourquoi la possibilité d'obtenir une production "propre" dans le processus de transformation doit être prise en compte au cours de la planification de la production agro-alimentaire sur les territoires contaminés.

### 4.3. Eaux de surface: Contre-mesures.

Dès les premiers jours, une attention particulière a été portée aux systèmes aqueux dont la contamination, spécialement pour la rivière Dniepr, pouvait aggraver les conséquences radiologiques de l'accident.

Après un mois, l'activité des produits de fission rejetés par le réacteur, qui se trouvaient sur la surface du sol, s'est abaissée d'un facteur voisin de 6. Sur le site, là où la concentration des matériaux radioactifs rejetés par le réacteur, était particulièrement grande, les terrains, les toits des bâtiments et les murs, les bords des routes ont été traités par des solutions polymérisantes, ce qui a exclu la dispersion des substances radioactives. En même temps, un complexe d'installations hydrauliques a été construit pour la protection contre la contamination radioactive des eaux souterraines et des cours d'eau en surface, en premier lieu dans la région de Pripjat. De cette manière, la contamination radioactive des eaux des rivières et des réservoirs d'eau était limitée à la retombée des aérosols depuis le nuage. Du fait des mesures prises, la concentration de substances radioactives dans les eaux potables n'a pas dépassé les niveaux admissibles réglementaires. (A.V. KONOPLEV et al., 1988)

### 4.4. Aspects socio-économiques

La contamination radioactive du sol et des produits agricoles locaux ont provoqué des altérations considérables du mode de vie des populations rurales. Ces personnes ne sont désormais plus à même de travailler leurs terres, ni de manger ou de vendre leurs produits. Bien que des aliments non contaminés soient importés dans ces zones, les habitants sont parfois amenés à consommer des aliments contaminés en raison de pénurie d'aliments "propres". Dans les régions où le dépôt au sol de césium-137 est supérieur à  $40 \text{ Ci.km}^{-2}$ , les habitants reçoivent une indemnité mensuelle de 30 roubles pour compenser le coût supplémentaire des aliments. Dans les régions contaminées entre 15 et  $40 \text{ Ci.km}^{-2}$  l'indemnité est de 15 roubles.

La situation socio-économique est de plus compliquée par l'interdépendance des villages et des champs. Un village non contaminé peut devoir cultiver des champs contaminés ou vice-versa. Un village non contaminé peut dépendre pour ses facilités, telles qu'école et magasins, d'une communauté d'une zone contaminée et qui doit être relogée. Le gagne-pain des habitants est menacé parce qu'ils ne peuvent plus vendre leurs produits.

En bref, la vie est parfois possible en zone contaminée mais avec trop de contraintes pour permettre un mode de vie acceptable.

## 5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

### A. Production agricole

Une conclusion générale qui émerge du volumineux dossier des données matérielles, est que les produits végétaux ayant des teneurs inférieures aux limites fixées peuvent être obtenus dans les terres de Polésie ukrainienne ayant des niveaux de contamination du sol en  $^{137}\text{Cs}$  inférieure à 40 Ci.km<sup>-2</sup>. L'exploitation agricole des sols avec des niveaux de contamination supérieure a été arrêtée, tandis que des forêts ont été plantées sur les terres dont le niveau de contamination excède 80 Ci.km<sup>-2</sup>.

De 1987 à 1989, il n'y a plus eu de diminution significative du taux de transfert du  $^{137}\text{Cs}$  du sol aux plantes. Par conséquent, la contamination des produits agricoles va décroître lentement dans les années à venir en raison de la décroissance radioactive et des processus de migration.

### B. Coût de la réhabilitation

Le gouvernement d'Ukraine a mis sur pied programme pour éliminer les conséquences de l'accident, le but étant la création des conditions pour une vie sûre (safe) et permettre des activités aux populations situées dans toutes les zones sous contrôle radiologique.

Le coût des opérations d'urgence s'est élevé à 2,3 milliards de roubles, supporté par le budget de l'Etat central.

L'état sanitaire de la population préoccupe les autorités: en 1987-1989 une recrudescence de maladies respiratoires, digestives, des cas d'anémie, de désordre chez les femmes enceintes et de l'hyperplasie de la glande thyroïde ont été observés. Actuellement 309800 personnes dont 67400 enfants sont sous contrôle médical régulier dans la République d'Ukraine. Ce programme de réhabilitation comporte 15 volets dont un concerne l'industrie agro-alimentaire pour laquelle plus d'1 milliard de roubles est prévu au budget de la République ukrainienne. Un autre volet a trait à l'organisation du monitoring radiologique, à l'évaluation de la qualité des produits agricoles et des aliments et à la protection de l'environnement. Un budget global de 280 millions de roubles est prévu pour ce volet qui comprend en particulier la construction de plusieurs laboratoires radiologiques.

Au total plus de 6 milliards de roubles sont prévus pour le période 1990-2000 pour les investissements.

### C. Aspects politiques

Lors d'une récente réunion scientifique organisée à Gomel, un député du Soviet Suprême d'Ukraine a attiré l'attention sur les conséquences possibles de l'instabilité sociale et politique actuelle en Union Soviétique sur la situation découlant de l'accident de Tchernobyl. A la fois le financement et la volonté politique pour la recherche, l'assainissement, un monitoring efficace à long terme et l'application systématique des règlements sont en jeu.

On espère que le manque apparent de coordination dans la publication des résultats et l'unification des règlements dans les années passées - ce qui n'a pas renforcé l'image des autorités, des



scientifiques ni de l'énergie nucléaire auprès du public - s'améliorera à l'avenir.

Mais si les Républiques concernées continuent sur la voie de l'indépendance, il est possible que les régions contaminées ainsi que la responsabilité unique actuelle soient fragmentées. Il en appelle à l'établissement d'un organe indépendant qui aurait un support international et un financement pour couvrir tous les aspects de l'accident et appliquer les règles acceptées internationalement.

#### **D. Collaboration internationale**

Après un accident radiologique, un problème typique est celui des surfaces contaminées où les niveaux de rayonnement observés sont supérieurs aux niveaux "normaux" ainsi que l'emploi de critères à appliquer pour décider si les populations de telles régions doivent être évacuées ou pas, ou pour permettre aux évacués de retourner dans ces zones.

Les autorités soviétiques ont du faire face en réalité à ce problème ce qui leur a permis d'acquérir une grande expérience qu'ils sont prêts à partager.

Par ailleurs, le gouvernement soviétique a demandé en octobre 1989, à l'AIEA d'organiser une évaluation, par des experts internationaux, du concept qui a servi de base pour permettre à la population de vivre en sécurité dans les zones contaminées à la suite de l'accident ainsi qu'une évaluation de l'efficacité des mesures prises dans ces zones pour sauvegarder la santé des populations.

Les résultats de cette étude seront rendus publics à l'occasion d'une conférence organisée à Vienne du 21 au 24 mai prochain. Un accord de coopération portant sur une série de projets de recherches a été conclu par ailleurs entre les autorités soviétiques et l'AIEA, projets qui seront exécutés au centre scientifique de "Pripyat". La CCE apporte aussi sa collaboration à ces projets qui sont développés dans la communication de Mr. J. Sinnaeve présentée au cours de la présente journée d'étude. Il convient aussi de mentionner le rôle de l'Union Internationale des Radioécologistes (UIR) dans le développement de la coopération entre chercheurs soviétiques et leurs collègues étrangers.

#### **E. Activités radioécologiques au plan belge.**

Le CEN/SCK a, dès 1986, mis à profit ses moyens expérimentaux spécifiques (ferme, champs d'essais) pour effectuer des études, tant de terrain qu'expérimentales, en relation directe avec l'accident de Tchernobyl. Les résultats ont fait l'objet de plusieurs communications à des réunions scientifiques internationales.

Depuis le 1 janvier 1989, l'Unité de Radioécologie de la FSAGx a entrepris en collaboration avec le groupe Radioécologie du CEN/SCK dans le cadre du projet RESSAC, avec l'appui financier de la CCE/DG XII et du SPRI du Ministère de la Santé Publique et l'Environnement, un programme d'étude du transfert de radionucléides, accidentellement libérés, dans les productions agricoles dans le but de développer des contre-mesures adaptées.

D'autres laboratoires universitaires belges sont également engagés dans des recherches radioécologiques de même nature, avec le support financier de la CCE/DG XII.

Le problème majeur pour la poursuite de telles recherches et le maintien de l'expertise dans le

domaine de la radioécologie, auquel sont confrontées les institutions de recherche et d'enseignement belges est celui du financement adéquat. Comme en Union Soviétique, il appartient aux pouvoirs publics d'assumer leurs responsabilités dans le secteur nucléaire en garantissant aux radioécologistes les moyens nécessaires à l'exercice de leur profession, en toute indépendance.

\*

\*      \*

Remerciements: l'auteur exprime sa reconnaissance à Monsieur Jean Bonnyns pour l'aide apportée dans l'expression graphique des résultats ainsi qu'à Madame Bonnyns-Vangelder pour l'assistance dans la documentation et la dactylographie soignée du présent article.

## References

- MARGOULIS, O.U.Ia. Energie atomique et radioprotection. chapitre 7. 2<sup>me</sup> édition, Moscou, Energo Atomsdat 1988 (en russe)
- STUKIN, E.D. Characteristics of primary and secondary caesium-radionuclide contamination of the countryside following the Chernobyl NPP accident. Paper n° 15 in: Proceedings Seminar "Comparative assessment of the environmental impact of radionuclides released during three major nuclear accidents: Kyshtym, Windscale, Chernobyl" CEC-UIR, Luxembourg 1-5 October 1990 (Sous presse).
- ALEXAKHIN, R.M., KOZ'MIN, G.V., RATNIKOV, A.N., SANZHAROVA, M.I., FESENKO, S.V. The role of protective measures complex in the agro-industry under the elimination of Chernobyl accident consequences" Paper 1.5. of the "IUR Soviet Branch Seminar on the Radioecology and counter-measures" Kiev, 29 April - 2 May 1991 (Sous presse)
- IZRAEL, Yu.A., SOKOLOVSKY, V.G., SOKOLOV, V.E., VETROV, V.A. DIBOBES, I.K., TRUSOV, A.G., RYABOV, I.N., ALEXAKHIN, R.M., POVALYEV, A.P., BULDAKOV, L.A., BORZILOV, V.A. "Ecological consequences of radioactive contamination of the environment in the Chernobyl emergency zone". Report presented at the XIV Session of the Governing Council of UNEP Nairobi, June 1987.
- VETROV, V.A., ANDRIANOVA, G.A., OLEJNIK, R.N. "Accumulation of Chernobyl Radionuclides in agricultural plants during 1986-1988 in relation to contamination conditions and soils characteristics". in Proc. Environmental Contamination following a major nuclear accident. IAEA-SM-306/116, Vol. 2, IAEA, Vienna 1990.
- GREBENSCHIKOVA, N.V., FIRSAKOVA, S.K., TIMOFEYEV, S.F., NOVIK, A.A., PALEKSHANOVA, G.I. "Processes governing the transfer of radionuclides into crops following the Chernobyl accident". Paper n° 29 in Proceedings Seminar "Comparative assessment of the environmental impact of radionuclides released during three major nuclear accidents: Kyshtym, Windscale, Chernobyl" CCE-UIR, Luxembourg 1-5 October 1990 (Sous presse)
- FIRSAKOVA, S.K., GREBENSCHIKOVA, N.V., NOVIK, A.A., TIMOFEEV, S.F. "The effectiveness of the countermeasures for decreasing of Radionuclides content in Agricultural crops". in IAEA-CCE CRP VAMP Meeting, Vienna March 1991 (A paraître).
- FOULQUIER, L. et BAUDIN-JAULENT, Y. "The Impact of the Chernobyl Accident on Continental Aquatic Ecosystems - A literature review" in Proceedings Seminar "Comparative assessment of the environmental impact of radionuclides released during three major nuclear accidents: Kyshtym, Windscale, Chernobyl" CCE-UIR, Luxembourg 1-5 octobre 1990 (Sous presse).
- FOULQUIER, L. et BAUDIN-JAULENT, Y. "Impact radioécologique de l'accident de Tchernobyl sur les écosystèmes aquatiques continentaux". Rapport CCE XI-3522/90 Fr. 1989.

- POLIKARPOV, G.G. Impact radioécologique de l'accident de Tchernobyl sur les écosystèmes aquatiques (rivières et lacs) - Review Report of the USSR Scientific Literature - Rapport UIR (en préparation).
- UNSCEAR - "Assessment of the long-term Impact of the Chernobyl accident" A/Ac.82/R461 - Moscow 1987.
- KORNEEV, N.A., SIROTON, A.N. Organizing of cattle breeding in conditions of radioactive contamination. In "Fundamental of Radioecology of agricultural animals" Moscow, Energoatomozdat. 181-208, 1987 (en russe).
- KORNEEV, N.A., SIROTKIN, A.N., RASIN, I.M., GERASKIN, S.A. Questions actuelles de radioécologie dans l'agriculture, n° 11 (374), 1987 (en russe).
- KONOPLEV, A.V., BORZILOV, V.A., BOBOKNIKOVA, Ts.I., VIRTCHENKO, E.P., KOUTIJAKOV, I.V., TCHOVMITCH, V.B. Distribution des radionucléides déposés à la suite de l'accident à la CEN de Tchernobyl dans le système "sol-eau". Meteorologia y Hydrologia, n° 12, 19988 (en russe).

Tableau 1

TRANSFERT DES RADIOCESIUMS VERS  
L'HERBAGE ET LES PLANTES FOURRAGERES  
OBSERVÉ EN 1988 DANS LES STATIONS  
AGROECOLOGIQUES

$$K_t = 10^{-9} \text{ km}^2 / \text{kg}$$

			Remarques
Herbage	Naturel	2.86 - 5.81	sols de pH 4.4 à 6.1 apport d'engrais NPK chaux, géolite selon le cas
	Temporaire	0.81 - 3.49	
Plantes Fourragères	Trèfle	0.1 - 2.4	
	Luzerne	0.2 - 1.2	
	Mais vert	0.06 - 1.5	
	Mais grain	0.03 - 0.4	
	Betterave	0.08	

N.B. Tableau établi sur base des données

V.A. VETROV et al., 1990

S.K. FIRSAKOVA et al., 1991

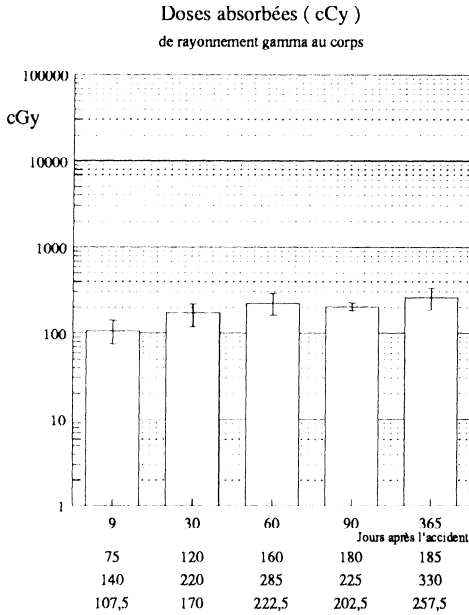
Tableau 2

EFFETS DE CONTRE-MESURES SUR LE  
POURCENTAGE DE TRANSFERT DES  
RADIOCESIUMS DANS L'HERBAGE

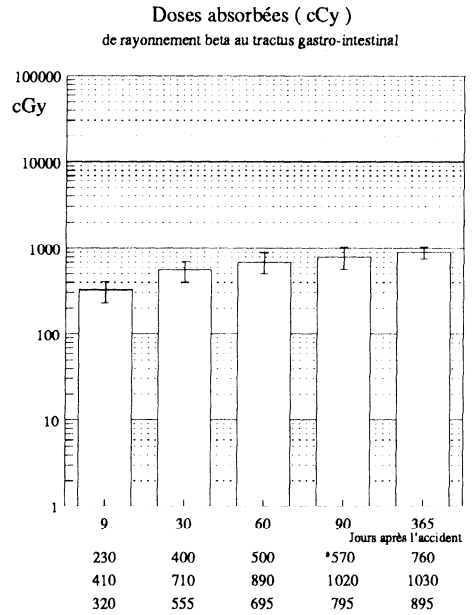
- Sol sablo-podzolique,  $p_H$  4.4  
- Période d'observation : 1988 - 1990  
- Nombre de coupes : 2/an soit 6 coupes

TRAITEMENTS (en séquences)	TRANSFERT OBSERVÉ (en % des témoins)			EFFICACITE
	min.	max.	moyen	
1.a) Labour + NPK + chaux	10	79	38	++
b) Semis				
2.a) Epandage Zéolite en surface	10	48	23	+++
b) Labour + NPK + chaux				
c) Semis				
3.a) Epandage phospho-gypse en surface	29	107	48	+
b) Labour + NPK + chaux				
c) Semis				
4.a) Chaulage en surface	8	88	27	+++
b) Labour + NPK + chaux				
c) Semis				

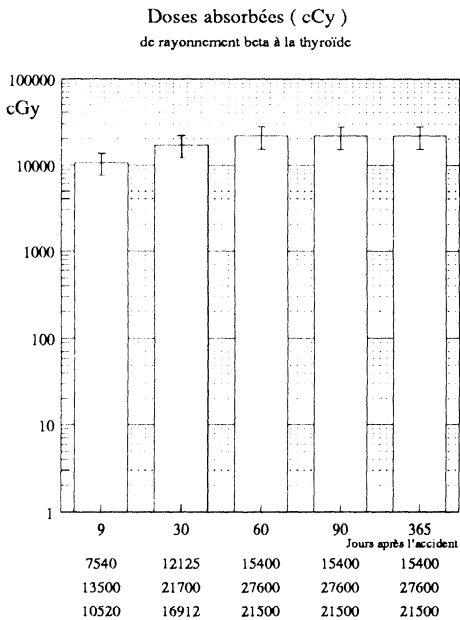
NB: Tableau établi sur base des données S.K. Firsakova et al., 1991



U.I.R.



U.I.R.



U.I.R.

Figure 1

Vaches évacuées de la zone

des 30 km.

90 jours après l'accident

(groupe 2)

(UNSCEAR, 1987)

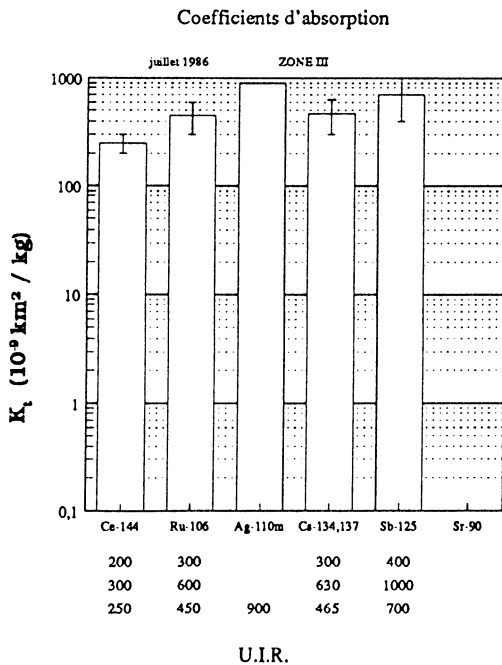
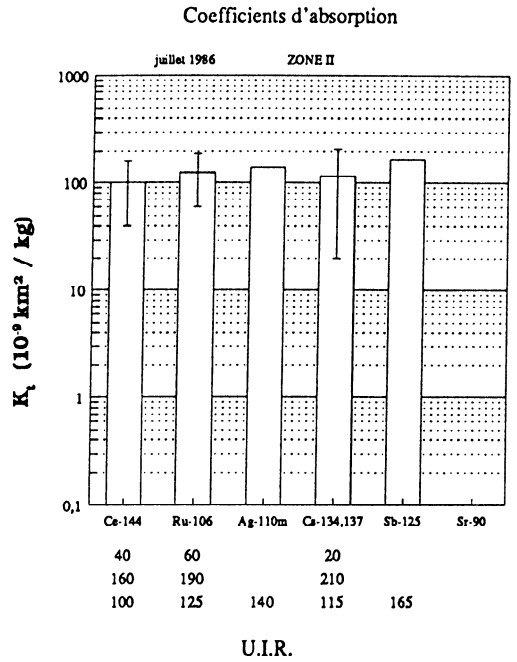
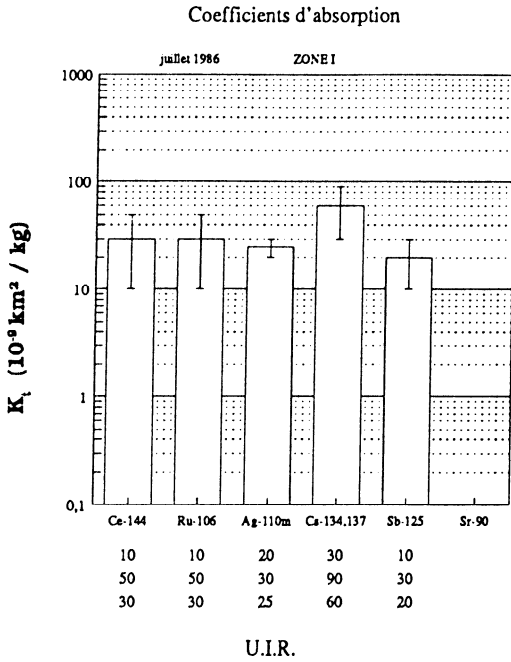


Figure 2

Coefficients d'absorption  
des radionucléides de  
Tchernobyl dans les  
végétaux des prairies  
juillet 1986

D'après VETROV, V.A. 1990

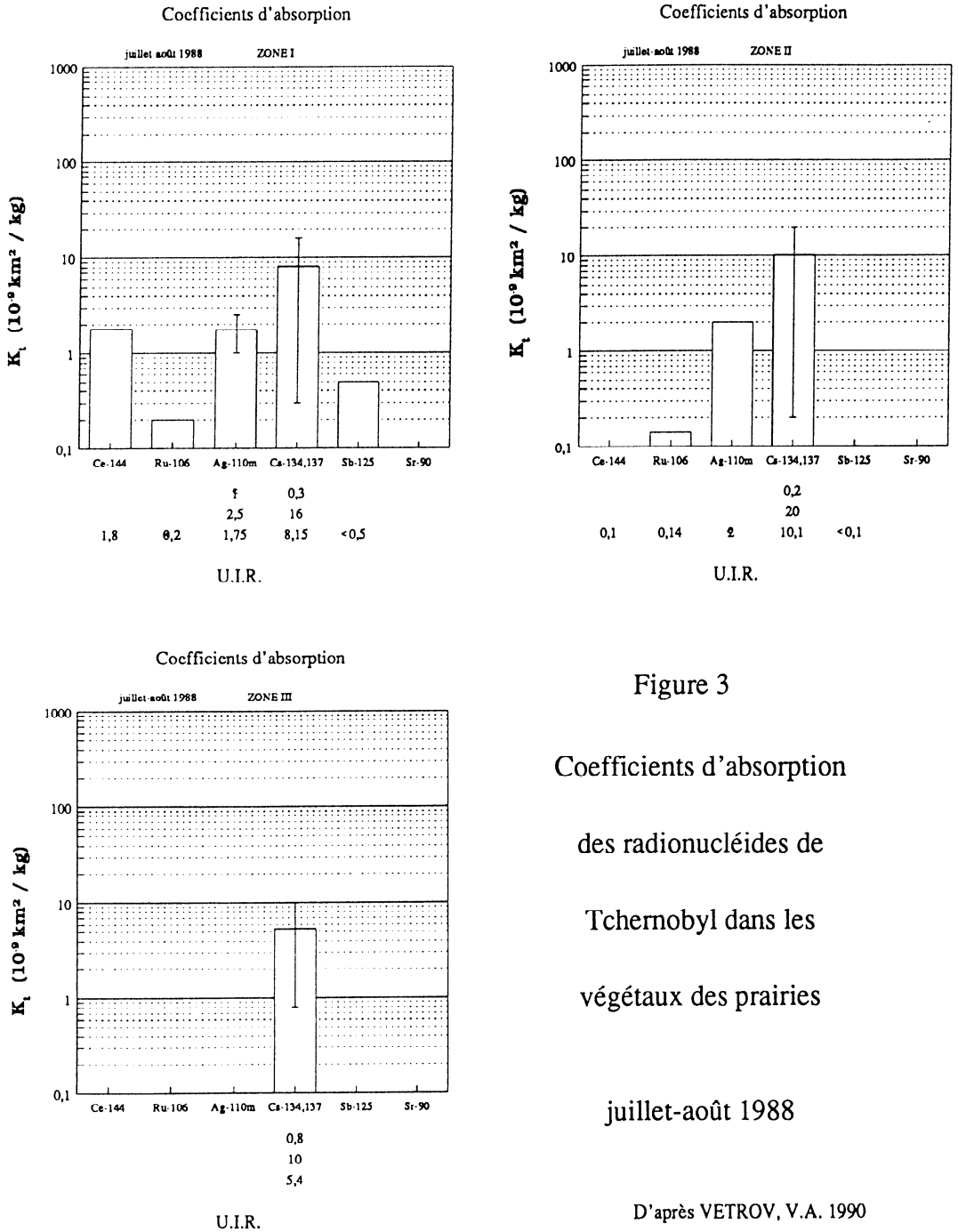


Figure 3

Coefficients d'absorption

des radionucléides de

Tchernobyl dans les

végétaux des prairies

juillet-août 1988

D'après VETROV, V.A. 1990



Figure 4

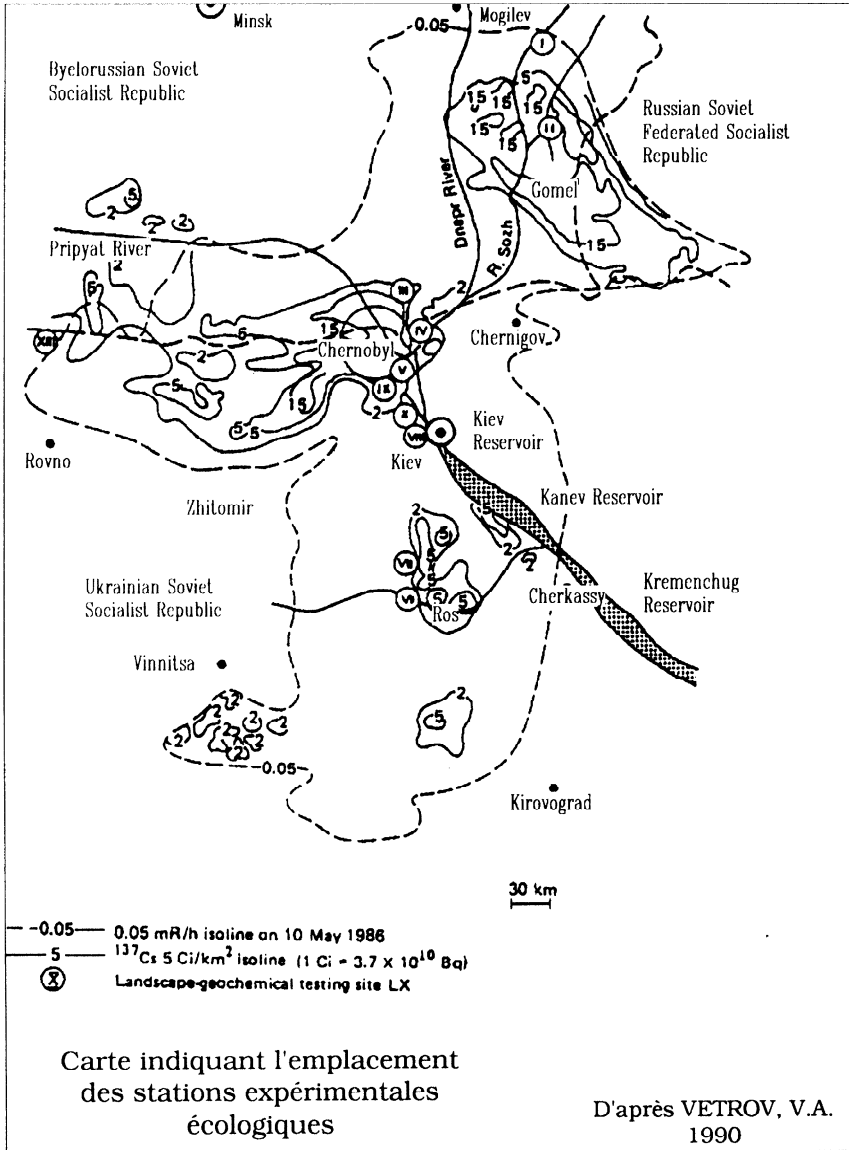
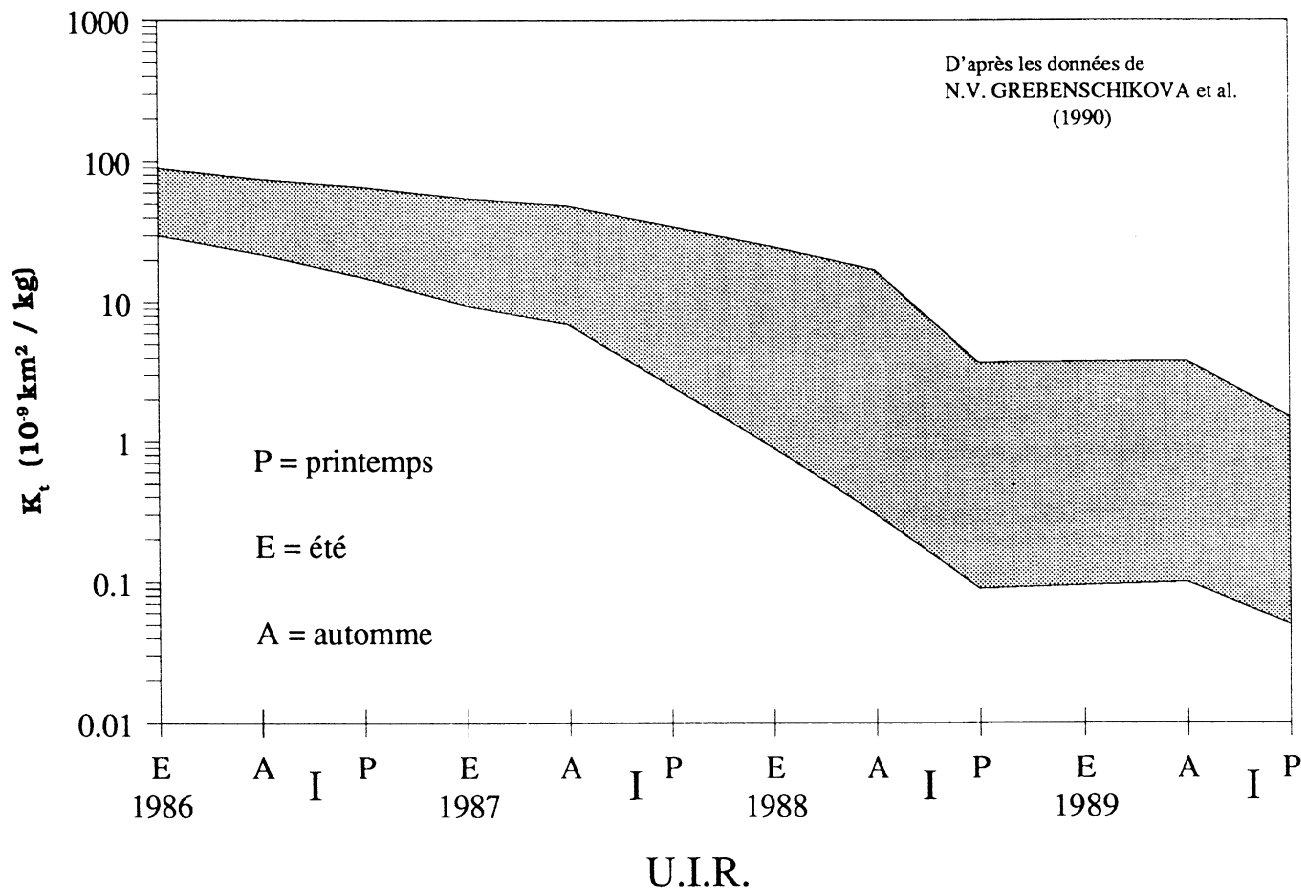
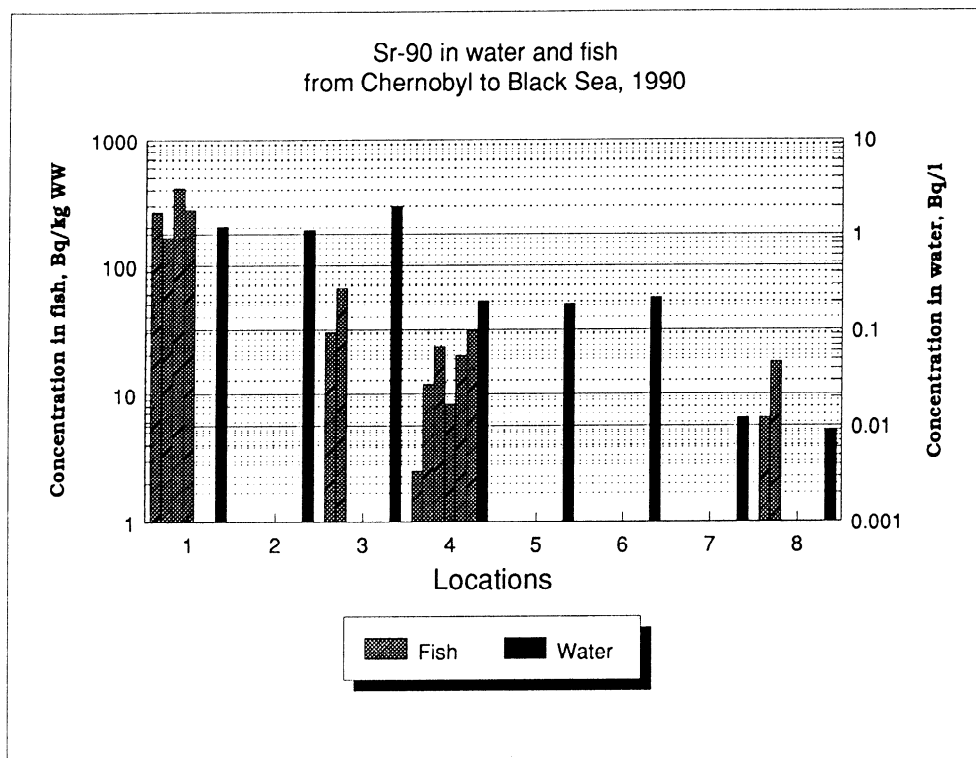


Figure 5

# Transfert Radiocesiums dans les Herbages Naturels





	<b>Fish</b>	<b>Water</b>
1. Reservoir-cooler 26.07.90		
Hypophthalmichthis molitrix	268.	1.2
Blicca bjorkna	167.	
Cyprinus carpio	417.	
Silurus glanis	279.	
2. Pripyat River 27.07.90		1.1
3. Peninsula Domontovsky 23.07.90		
Abramis brama	30.	2.0
Aspius aspius	66.7	
4. Kiev Reservoir ° 19-25.07.90		
Carassius carassius	2.5	0.2
Carassius carassius	12.	
Abramis brama	23.5	
Tinca tinca	8.36	
Esox lucius	19.8	
Perca fluviatilis	30.9	
5. Kakhovskoye Reservoir		0.19
6. North-Crimean Canal		0.22
7. NW Black Sea 17.05.90		0.012
8. NW Black Sea		0.009
Rutilus rutilus	6.42	
Acipenser sturio	17.72	

° - Stracholesye

Figure 6

G.G. Polikarpov 1991

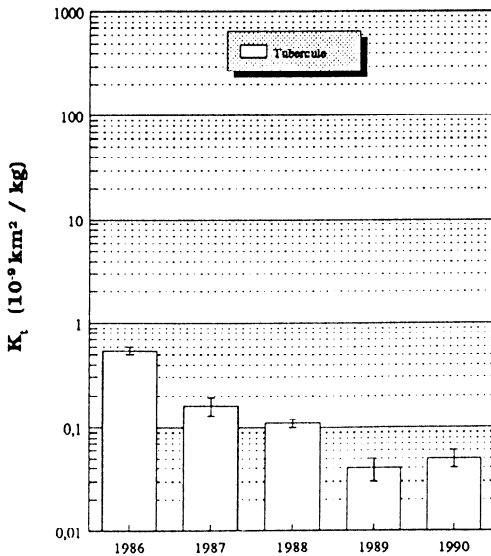
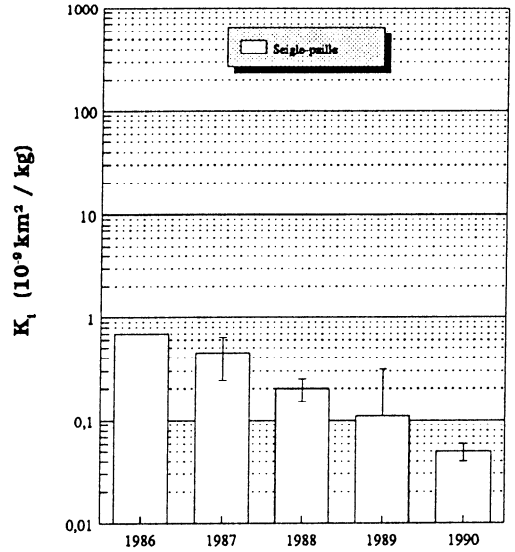
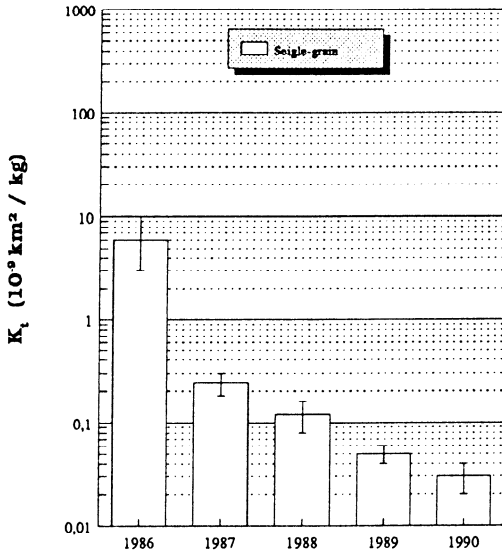


Figure 7

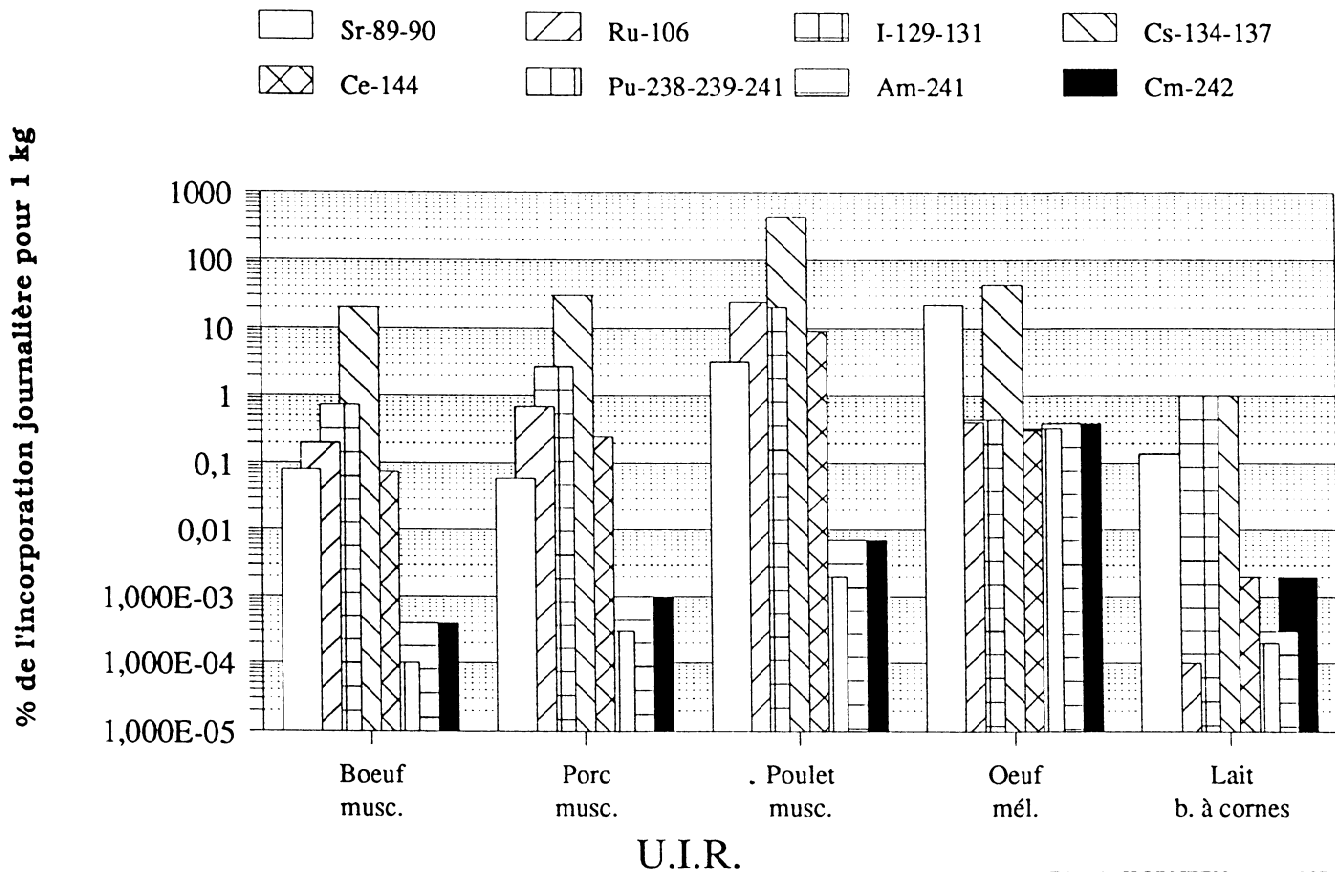
Evolution de la Contamination en Radiocesiums  
 du seigle d'Hiver et  
 de la pomme de terre (Tubercule)  
 Contre-mesures appliquées depuis 1987  
 ( Apport d'engrais minéraux et de chaux)  
 Region de GOMEL

D'après N.V. GREBENSCHIKOVA et al.

(1990)

Figure 8

Coefficients maximaux de transfert de radionucléides  
depuis la ration des animaux vers les  
produits alimentaires d'origine animale



D'après KORNEEV et al., 1987

## Samenvatting

De auteur geeft een korte belichting van het begrip bron (70 PBq Cs-137 in de atmosfeer losgelaten op 9 dagen).

Een totaal oppervlak van ongeveer 130.000 km<sup>2</sup> werd besmet boven 1 Ci.km<sup>-2</sup> met Cs-137 op sovietisch grondgebied.

De radiologische weerslag op de bodem ecosystemen kwam tot uiting in de dennen en in de dieren met woudstrodek (20-30 Gy).

De water ecosystemen werden weinig getroffen op radiologisch vlak.

De evolutie van de radioactieve besmetting in de verschillende compartimenten van de bodem en water ecosystemen, alsmede de tegenmaatregelen om de transfer van radioactieve nucliden in de voedselketen te beperken worden bondig beschreven.

## Summary

The source term strength is briefly outlined (70 PBq of <sup>137</sup>Cs released in the atmosphere during the 10 days of release). A total area of about 130.000 km<sup>2</sup> has been contaminated at a level above 1 Ci <sup>137</sup>Cs.km<sup>-2</sup>, in soviet territory.

The radiological impact on the terrestrial ecosystems occurred on pine trees and litter animals, in forests (20 -- 30 Gy).

The aquatic ecosystems were little damaged from the point of view of effects of radiations.

The evolution of the radioactive contamination of the various compartments of terrestrial and aquatic ecosystems and the countermeasures aiming to decrease the radionuclides transfer in the foodchains are summarized.

## CONSEQUENCES DE L'ACCIDENT NUCLEAIRE DE KYSHTYM SUR L'HOMME ET SUR L'ENVIRONNEMENT

MYTTENAERE, C. \*

Texte de l'exposé du 26 avril 1991

### RESUME

Dans cet article l'auteur s'inspirant de travaux soviétiques et américains ainsi que des conclusions d'une conférence récente organisée par la CCE (Lg 1-5 octobre 90) définit aussi bien que possible l'impact de l'accident de Kyshtym sur les populations et l'environnement.

L'auteur s'inspire également des résultats d'une expédition IUR (Union Internationale des Radioécologistes) dans l'Oural Méridional; cette expédition ayant permis pour la première fois aux radioécologistes occidentaux de prélever des échantillons dans la zone contaminée.

### I. ACCIDENT DE KYSHTYM (CHELYABINSK - 40)

#### 1.1. Sources de Radiocontamination autres que celle de l'accident de 1957

Dès 1948 des déchets nucléaires ont été déversés dans la "Techa River". La contamination de cette rivière aurait justifié l'évacuation de 7500 personnes. 12800 personnes habitant le long de cette rivière auraient reçu des doses élevées de rayonnement (3.6 - 140 rem); un niveau anormal de leucémie y aurait été observé. Suite à cette contamination un système d'isolation hydrologique" (digues et réservoirs) a été construit.

---

\* Université Catholique de Louvain, Laboratoire de Physiologie végétale, 4, Place Croix du Sud, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

De 1949 à 1951, les travailleurs de Ch-40 auraient reçu des doses annuelles de 100 à plus de 400 rems.

En 1953, les rejets se sont effectués dans le lac Karachay dans lequel aurait été déversé un total de 120 MCi.

En 1957, l'explosion d'une cuve de HLW a été responsable de la contamination de la région de Kyshtym. La contamination tirerait également son origine de fuites d'autres réservoirs ou de pertes d'HLW stockés dans d'autres réservoirs.

En 1958, la région de Kyshtym aurait été contaminée par des retombées radioactives d'un test nucléaire souterrain effectué à Novaya Zemlya.

En 1958, certains accidents de réacteur et la rupture d'un filtre auraient justifié l'évacuation de la population et auraient été à l'origine d'effets de rayonnements.

En 1967, plus de 600 Ci (Cs-137 - Sr-90) auraient été dispersés sur plus de 1000 km<sup>2</sup> par le truchement de la resuspension de sol et de sédiment. Cette contamination est donc venue s'ajouter à celle de 1957.

Dans ces conditions il est difficile de faire la part des choses et d'évaluer l'impact de l'accident de 1957.

## **1.2. Causes et caractéristiques de l'accident de 1957**

L'Occident a pris connaissance de l'accident en 1976 grâce aux révélations de Zhoris MEDVEDEV. Un examen approfondi de la littérature effectué par ce scientifique et S. AUERBACH (USA Oak Ridge) a confirmé celui-ci. Le premier rapport officiel soviétique a été présenté à Vienne (IAEA) en 1989.



Une réunion CCE (DGXI-DGII - IUR) organisée à Luxembourg a permis de préciser les conditions de l'accident et d'avoir une idée plus claire de son impact. Une expédition de l'IUR (Union International des Radioécologistes) a permis (1990) à plusieurs radioécologistes occidentaux de visiter la région contaminée et de prélever des échantillons.

Il semble acquis qu'une violente explosion s'est produite en 1957 (septembre) dans une cuve de stockage de déchets radioactifs de 300 m<sup>3</sup> en voie d'évaporation suite au fonctionnement défectueux du système de refroidissement (solution nitrate/acétate); la cuve contenait des produits de fission solubles et la solution était "théoriquement" pauvre en isotopes du césium (1,6 10<sup>5</sup> Kg de HLW).

20 MCi auraient été rejetées dont 1 MCi de Sr-90 et de Cs-137. 90% des 20 MCi rejetées sont retombés près du lieu de l'explosion et des niveaux de contamination élevés ont été observés (0,1 Km 40 mCi m<sup>-2</sup>; 3 km 5 mCi m<sup>-2</sup> de Sr-90 - Y-90). Cette activité était surtout liée aux gouttes les plus grosses. 10% de ce montant ont été dispersés sur une surface de ± 20.000 Km<sup>2</sup> (15000 - 23000 Km<sup>2</sup>).

Les déchets injectés dans la troposphère (2 10<sup>6</sup> Ci - 1 à 2 Km altitude) ont été déposés sur le territoire des provinces de Chelyabinsk, Sverdlovk et de Tyamen.

La surface contaminée englobait 217 villages pour une population de 270.000 personnes.

La trace nucléaire de l'explosion s'est étendue sur trois cent kilomètres vers le nord-est. La largeur de la trace variait de trente à cinquante kilomètres. La contamination la plus élevée aurait atteint 40000 Ci km<sup>-2</sup>. Durant les deux premiers jours l'on a observé une resuspension importante de la radioactivité déposée sur le sol.

La zone contaminée était rurale à  $\pm$  60% (cultures, pâtures, plantes fourragères); 40% étant occupés par les forêts (20%) et les écosystèmes aquatiques (lacs, marécages, rivières) (20%).

Les écosystèmes terrestres naturels étaient surtout constitués par la forêt-steppe et la taïga.

Suite à cet accident 11.000 personnes ont été déplacées (23 villages); Le territoire abandonné avait une longueur de 90 km (700 km<sup>2</sup>) et présentait un niveau de contamination de 2-4 Ci Km<sup>2</sup> de Sr-90 (à ce jour 24% de cette superficie est toujours inhabitable). 1054 personnes ont été évacuées dans les 7 à 10 jours (4 villages - 20 km<sup>2</sup>) suivant l'accident, le reste endéans les 250 à 670 jours. ("extreme evacuation zone" - Sr-90  $\approx$  1000 Ci km<sup>2</sup> - activité maximum 40.000 Ci km<sup>-2</sup>).

Il faut signaler que l'accident de Kyshtym s'est produit en Automne (Tchernobyl au printemps) et que la zone contaminée de Kyshtym est très fertile (forêts, steppe - chernozem lessivé; pH 5.6; Ca échangeable 31.6 mg equiv/100g), alors que la zone contaminée de Tchernobyl a été contaminée au printemps et que les sols sont pauvres (sol podzolique sableux).

Les surfaces forestières contaminées par les dépôts s'élevaient à  $\pm$  20% pour Kyshtym et à  $\pm$  50 - 60% pour Tchernobyl. Les arbres détruits par irradiation et par dépôt de particules radioactives sur les feuilles ont été abattus, empilés et couverts de sol afin d'en accélérer la décomposition. Le même procédé a été utilisé à Tchernobyl (forêt rouge abattue et arbres stockés dans d'énormes tranchées).

Aucun effet sur l'homme n'a été mentionné alors que de tels effets ont été observés chez les animaux et chez les écosystèmes terrestres naturels (les animaux de ferme du

village le plus proche ont montré des symptômes d'irradiation après 9 à 12 jours). Ces animaux auraient reçu une dose efficace au corps entier de  $\pm 10$  Gy durant une période 9 à 12 jours après l'accident.

En conclusion l'on peut dire que l'application des enseignements de Kyshtym à d'autres régions contaminées comme Tchernobyl est très difficile du fait des conditions de milieu différentes et que pour Kyshtym il faut tenir compte des contaminations précédentes.

### 1.3. Composition des rejets et importance du dépôt

Les rejets sont constitués principalement d'émetteurs  $\beta$  à 1/2 vie relativement courte.

- Les Ce-144 - Pr-144 (T 1/2 284 d) furent la principale source d'irradiation  $\beta$  pour les surfaces végétales ( $\beta$  particules) durant la première année.

- Les Zr-95 - Nb-95 (T 1/2 65 - 35 d) ont été responsables de la dose externe durant la première année.

La principale source de radioactivité à long terme pour l'homme a été le Sr-90 (T 1/2 28.6 Y).

- Le Cs-137 a également joué un rôle important; il faut mentionner que l'on a signalé des rapports Sr-90 - Y-90/ Cs-137 de 150/1 ou de 7/1 rapports très différents du rapport 1/1 existant dans les rejets de forte activité non traités. De plus il faut souligner que la teneur en Zr-95 - Nb-95 n'est pas normale pour des déchets refroidis, retraités et puis stockés pendant 1 an (devrait être 20%).

### 1.4. Contre-mesures

#### 1.4.1. Contre-mesures immédiates

A proximité de CH-40 le sol contaminé a été soit recouvert de sol non contaminé soit enlevé et stocké ( $3.5 \cdot 10^5$  m<sup>3</sup> de sol stocké). Des solutions décontaminantes ont été épandues sur les routes (irradiation du personnel d'intervention!)(170 km<sup>2</sup> seraient toujours interdits d'accès).

Les contre-mesures ont eu pour but de réduire l'irradiation externe et de diminuer l'irradiation interne par le tractus gastro-intestinal des habitants des zones rurales proches de l'installation nucléaire accidentée.

± 11.000 personnes furent évacuées (± 1054 pour la zone proche) et ± 9000 dans l'année et demi qui suit. Les doses maxima d'irradiation reçues avant l'évacuation auraient été de l'ordre de 17 rem pour l'irradiation externe et de 52 rem pour l'équivalent de dose effective (150 rem pour le tractus gastro-intestinal)!! Ces doses sont sans doute à multiplier par deux du fait de l'hétérogénéité des niveaux de contamination et des conditions d'irradiation. Ces niveaux sont toutefois à comparer aux doses reçues par les animaux de la zone "extreme evacuation zone"!

La population ayant reçu la dose la plus élevée (Groupe A) était relativement jeune:

- 45% 0 - 17 ans
- 39% 18 - 49 ans
- 16% 50 ans

#### **1.4.2. Contre-mesures tardives**

Ces contre-mesures appliquées en 1958 ont eu pour but de réduire l'absorption du Sr-90 par ingestion d'aliments produits localement et de prévenir les effets stochastiques tardifs.

Parmi ces contre-mesures il faut citer:

- la décontamination des zones agricoles
- l'élimination des produits excédant les limites permises

- l'utilisation limitée des zones contaminées
- la réorganisation de l'agriculture et des zones forestières
- la création des fermes d'état et d'entreprises forestières

Dans la zone contaminée mais encore occupée par la population (1958: concentration maximum en Sr-90  $100 \text{ Ci km}^{-2}$  et un minimum de  $1 \text{ Ci km}^{-2}$  de Sr-90) on a mesuré la radiocontamination des aliments et du fourrage; les aliments excédant les doses permises ont été écartés (création de huit laboratoires spéciaux opérationnels en fin 1958). La faible efficacité de ces mesures a obligé les autorités à faire évacuer la population 670 jours après l'accident.

Le sol des fermes évacuées fut labouré comme de coutume pendant deux ans (réduction de la resuspension). La réorganisation de l'agriculture a également permis de réduire les niveaux de contamination (fermes d'état, productrices de viande - Nouvelles méthodes de culture).

L'influence des mesures agricoles ainsi que des contre-mesures zootechniques sur la réduction des teneurs en Sr-90 a pu être estimée.

Le problème a été certes plus facile à résoudre pour des exploitations plus grandes et des fermes d'état.

L'on peut dire que le labour profond (20-40 cm) avec un équipement standard est inefficace. L'application d'engrais NPK (90 kg de chacun des éléments) en surface + labour profond réduit les concentrations de Sr-90 d'un facteur de 2 à 4. Les effets d'autres substances chimiques sont variables. De plus, on observe des différences considérables entre variétés.

En conclusion l'on peut dire que peu de contre-mesures eurent un effet important. Les mesures qui peuvent être appliquées en propriétés privées ont rarement un facteur d'efficacité supérieur à 2-4.

### 1.5. Effets sur la santé

Les 1154 personnes évacuées durant les 7-10 jours auraient reçu un équivalent de dose efficace de 52 rem (0,52 Sv; 150 rem (1,5 Sv) au tractus digestif) durant leur séjour dans la zone; 1/3 du total (17 rem) doit être attribué à l'irradiation externe. (Ces doses seraient inférieures pour 554 individus des villages contaminés à 1000 Ci Km<sup>-2</sup>). Toutefois le bétail a manifesté l'effet des radiations au moment de l'évacuation!

200 personnes des 2280 de la seconde vague (250 jours) au nord du lac Uruskul ont reçu des doses de 44 rem (14 rem irradiation externe), les autres ont reçu 12 rem (3.9 irradiation externe).

Ces doses peuvent certainement être multipliée par 2 du fait de l'hétérogénéité du dépôt.

600 personnes de l'"extreme evacuation zone" auraient reçu 400 rem!. Les doses les plus élevées (1000 rem) ont été reçues par les soldats de garde après l'accident (pas de symptômes!).

L'examen clinique des personnes qui ont reçu les équivalents de dose efficace avant l'évacuation (2,3 - 52 cSv) a révélé, durant les deux premières années, une variation du nombre de leucocytes et de thrombocytes qui n'excédait pas la variation normale.

La morbidité, mortalité pour les adultes et enfants et l'incidence de pathologie congénitale ainsi que la mortalité

infantile ne furent pas différentes de celles des populations-témoin!

En résumé, l'état de santé, morbidité et mortalité des populations exposées aux radiations (équivalents de dose efficace de 1 à 52 cSv) n'a montré aucune différence par rapport au témoin (incidence du cancer de l'oesophage plus élevé mais non significatif).

### 1.6. Effets sur l'environnement.

Les retombées de Kyshtym étaient composées surtout d'émetteurs  $\beta$  ( $\pm 75\%$ ); les radionucléides à vie courte (Zr-95 Ru-106 Ce-144) furent les principales sources du fallout. L'on a donc observé :

- une période d'irradiation aiguë de 1-1.5 an responsable de la plus grande partie de la dose absorbée;
- une période d'irradiation chronique d'intensité moindre.

La période aiguë s'est produite pendant que les formes vivantes étaient en dormance (dégâts plus faibles; régénération moins importante (Automne 1957; hiver 57/58). Les doses maxima correspondaient à une contamination de 4000 Ci km<sup>-2</sup> de Sr-90 pour les organismes terrestres et de 1000 Ci km<sup>-2</sup> de Sr-90 pour les organismes aquatiques. Durant la phase aiguë l'irradiation maximum a été reçue par les pins (rétention des particules radioactives par les aiguilles) et par les bourgeons dormants des plantes se trouvant au niveau du sol.

Les conifères se sont montrés les espèces les plus radiosensibles (comme à Tchernobyl); les premiers effets des radiations sur les pins ont été observés au Printemps 1958 (jaunissement du bout des aiguilles; dessèchement des bourgeons latéraux, mort des aiguilles; balais de sorcière, aiguilles très longues).

La mort des pins a été observée en Automne 1959 (3-4 Krad; 180 Ci km<sup>-2</sup> de Sr-90 - 20 Km2).



Pour des irradiations inférieures (0,5 - 3 Krad; 40 Ci Km<sup>-2</sup> de Sr-90) on a observé les phénomènes suivants:

- jaunissement
- chute aiguilles
- aiguilles déformées
- réduction de la croissance
- réduction de la fertilité des graines et du pollen
- changements phénologiques

La forêt de bouleau s'est montrée la plus résistante (mort des bouleaux pour 4000 Ci Km<sup>-2</sup>; dose de 20 Krad; 5 Km<sup>2</sup>) durant la phase aiguë). Certains phénomènes tels que dessèchement de la couronne, le développement réduit des feuilles, les changements phénologiques ont été observés pour des doses faibles (superficie de 17 km<sup>2</sup>).

Les graminées qui ont le plus souffert sont celles qui avaient des bourgeons au niveau du sol (1500 Ci km<sup>-2</sup> - 20 Krad); ces espèces sont disparues et ont été remplacées par d'autres. Ce processus réversible est d'une durée de 3 ou 4 ans.

On a observé la disparition des invertébrés de la couche humifère des forêts (vers de terre, myriapodes...; pour des contaminations de 100 Ci km<sup>-2</sup> (600 rad pendant la phase aiguë).

Des doses léthales ont été observées chez les oiseaux (hiver 1957/58) pour des contaminations de 1000 Ci Km<sup>-2</sup>.

Les rongeurs (souris) ont montré des symptômes divers ( 1000 Ci Km<sup>-2</sup>; 10 rad j<sup>-1</sup>):

- Augmentation de la mortalité
- diminution de l'espérance de vie

- réduction des mécanismes de défense
- changement dans la structure des populations.

Les poissons les plus radiosensibles furent ceux qui vivent au niveau des sédiments (doses léthales 1 Krad).

## 2. EXPEDITION IUR - MAI 1990: But et premiers résultats

A l'invitation de la branche soviétique de l'UIR (Union Internationale des Radioécologistes) un groupe de radioécologistes a visité les sites suivants (Mai 1990).

- Sebastopol (IBSS - Mer noire)
- Zarechny, The Urals (Institute of Plant and Animal Ecology) (zone contaminée de Kyshtym),
- Kiev (Institut of Botany) (zone contaminée de Tchernobyl).

Zarechny est une ville de 10.000 habitants à 40 km à l'Est de Sverdlovk, ville construite pour accueillir les travailleurs de la centrale nucléaire de Beloyskaya (3 réacteurs - un fast breeder opérationnel, un réacteur démantelé, un réacteur RBMK hors service pour cause d'incendie en 1987).

L'institut de Zarechny a organisé une expédition radioécologique dans la zone contaminée.

Trois sites ont été visités :

Bogatencoro	- 10 km SW	Kamensk Uralinsk
Tygish	- 25 km WSW de Kamensk Urabinsk	
	- 90 km de Kyshtym (centre de la zone contaminée)	
Zhatogodora	- 40 km NW	
		Kamensk Uralinsk

Des échantillons de sol et de végétation ont été prélevés et distribués à plusieurs laboratoires pour intercomparaison (première en matière de collaboration scientifique).

Il a été observé que les échantillons de sol contiennent des teneurs en Cs-137 et en Pu en quantités supérieures à celles dues aux explosions atomiques et à l'accident de Tchernobyl.

Il a été constaté que pour le Sr-90 l'accident de Kyshtym est le principal contributeur (70-75%). Pour le Cs-137 les dépôts inconnus dominent (60-75%) et c'est aussi le cas pour le Pu-239-240 et l'Am-241 (65%).

#### **CONCLUSIONS - RECOMMANDATIONS**

Il serait fortement souhaitable de disposer de plus de résultats concernant :

- la radioactivité du milieu (mapping plus précis)
- l'impact de la radiocontamination sur l'homme et les populations (certaines publications soviétiques ont fait état de brûlures dans la zone de CH-40).

De plus il serait utile de connaître les raisons qui ont justifié les travaux importants réalisés dans la région avant l'accident (massive hydrolic system).

Enfin l'on pourrait tirer beaucoup d'enseignements utiles des contremesures prises dans la zones contaminées de la rivière Techa et du lac Karachay.

### Samenvatting

In deze uiteenzetting wordt van uit sovietsche en americaanse studies en vanuit de besluiten van een recente CEG conferentie (Lg 1-5 oktober 1990) de weerslag van het Kyshtym ongeval op de bevolking en de omgeving zo goed als mogelijk weergegeven.

Er wordt eveneens beroep gedaan op de resultaten van een IUR (Internationale Unie van Radioecologen) expeditie in Zuid Oeral. Deze expeditie heeft voor de eerste maal de westerse ecologen toegelaten staalnamen uit te voeren in het besmette gebied.

### Summary

Starting from soviet and american studies, and also from the conclusions of a recent CEC conference (Lg 1 - 5 october 1990), the author describes as well as possible the impact of the Kyshtym accident on populations and on environment.

The author relies also on the results of an IUR (International Union of Radioecologists) expedition in South Ural . This expedition allowed for the first time the western radioecologists to take samples in the contaminated area.

**E.G. STRALINGSHYGIENE NA TSJERNOBYL**

F. LUYKX  
COMMISSIE VAN DE EUROPESE GEMEENSCHAPPEN  
L - 2920 LUXEMBURG

Tekst van de voordracht op 26 april 1991

**Samenvatting**

In dit artikel wordt aangegeven welke maatregelen door de Instellingen van de Europese Gemeenschap werden getroffen na het Tsjernobyl ongeval op het gebied van de stralingshygiëne, namelijk:

- Communautaire interventieniveaus voor radioactief besmette voedingsmiddelen en diervoeder
- maatregelen in verband met de uitvoer van radioactief besmette voedingsmiddelen
- een communautaire regeling voor snelle uitwisseling van informatie in geval van een nucleair ongeval
- een richtlijn over het informeren van de bevolking over de te nemen maatregelen bij een nucleair ongeval.

**1) Inleiding**

Na het ongeval van Tsjernobyl hebben wij moeten vaststellen dat de Europese Gemeenschap onvoldoende voorbereid was om aan een dergelijke situatie het hoofd te bieden. Het Verdrag tot oprichting van de Europese Economische Gemeenschap (EEG) staat de Lid-Staten immers toe om, ter bescherming van de gezondheid en bij gebrek aan communautaire normen, alle bepalingen inzake het vrije verkeer van goederen naast zich neer te leggen. Daarom hebben de Commissie en de Raad van Ministers van de Europese Gemeenschappen snel moeten ingrijpen om communautaire interventieniveaus voor voedingswaren vast te leggen om aldus handelsconflicten binnen de EG te vermijden. Tegelijkertijd waren andere maatregelen noodzakelijk om in de toekomst beter op een eventueel dergelijk ongeval voorbereid te zijn. Hieronder wordt de na het ongeval door de Raad goedgekeurde communautaire regelgeving beschreven.

## 2) Na het ongeval van Tsjernobyl goedgekeurde interventieniveaus voor voedingsmiddelen

In mei 1986 heeft de Commissie aan de overeenkomstig artikel 31 van het Euratom-Verdrag opgerichte groep van deskundigen gevraagd om niveaus van cesium-137 en -134 in voedingsmiddelen voor te stellen waarboven beperkingen van de invoer in de Gemeenschap als noodzakelijk moesten worden beschouwd.

De groep beval één enkel interventieniveau van 1000Bq/kg aan, op basis van een tijdens het eerste jaar te verwachten effectieve dosis van 5 mSv en een gemiddelde besmetting van de voedingsmiddelen van 5% van het interventieniveau.

Op 30 mei 1986 keurde de Raad van Ministers van de EG een verordening goed betreffende de voorwaarden voor de invoer van landbouwprodukten in de landen van de EG, waarin de volgende maximaal toelaatbare niveaus werden vastgesteld:

- 370 Bq/kg voor melk en levensmiddelen die speciaal bestemd zijn voor de voeding van zuigelingen in de eerste vier tot zes levensmaanden;
- 600Bq/kg voor alle andere betrokken produkten.

Deze verordening die oorspronkelijk tot 30 september 1986 geldig was, werd sindsdien vijf maal verlengd en verstrijkt nu op 31 maart 1995 (1). De Commissie werd evenwel verzocht om regelmatig lijsten op te stellen van niet onder deze verordening vallende produkten; in januari 1991 is reeds een eerste lijst door de Commissie vastgesteld (2).

Op de voor binnenlands verbruik bestemde nationale produkten kunnen de Lid-Staten echter hogere interventieniveaus toepassen; in dat geval zijn zij evenwel verplicht deze waarden ook op dezelfde uit andere Lid-Staten afkomstige produkten toe te passen.

## 3) Interventieniveaus voor toekomstige ongevallen

Om beter voorbereid te zijn op mogelijke toekomstige ongevallen heeft de Commissie in 1987 aan de groep deskundigen van artikel 31 gevraagd het probleem van de besmetting van levensmiddelen bij een ongeval grondig te onderzoeken en interventieniveaus voor alle belangrijke bij een ongeval vrijkomende radionucliden voor te stellen.

De groep heeft de door de I.C.R.P. (3) aanbevolen doses als referentieniveaus voorgesteld; dit zijn de te verwachten effectieve doses als gevolg van de consumptie van besmette levensmiddelen tijdens het eerste jaar na het ongeval:

- een minimumniveau van 5 mSv, waaronder het niet noodzakelijk wordt geacht in te grijpen;
- een maximumniveau van 50 mSv, waarboven moet worden ingegrepen.

Het interventieniveau ligt ergens tussen deze twee uitersten en is afhankelijk van de specifieke omstandigheden op de betrokken plaats en van de omstandigheden van het ongeval.

Op basis van deze doses heeft de groep van deskundigen afgeleide interventieniveaus (in Bq/kg) opgesteld, rekening houdend met:

- het type radionuclide dat in de lozing bij een ongeval aanwezig kan zijn;
- de van elk levensmiddel geconsumeerde hoeveelheid;
- het gemiddelde besmettingsniveau in elk voedingsmiddel;
- de dosis-conversiefactor van elk radionuclide.

Op basis van het verslag van de groep van artikel 31 en de voorstellen van de Commissie heeft de Raad van Ministers respectievelijk in december 1987 (4) en in juli 1989 (5) verordeningen goedgekeurd waarin de maximaal toelaatbare radioactiviteitsniveaus voor levensmiddelen ten gevolge van een nucleair ongeval worden vastgesteld.

	Maximaal toelaatbare niveaus voor levensmiddelen (Bq/kg)			
	Babyvoeding	Zuivelprodukten	Andere dan minder belangrijke levensmiddelen	Vloei-bare levensmiddelen
Strontium-isotopen, met name Sr-90	75	125	750	125
Jodium-isotopen, met name I-131	150	500	2000	500
Alfa-emitterende isotopen van plutonium en transplutoniumelementen, met name Pu-239 en Am-241	1	20	80	20
Alle andere nucliden met halveringstijd van meer dan 10 dagen, met name Cs-134 en Cs-137	400	1000	1250	1000

Bij een toekomstig ongeval worden deze maximaal toelaatbare niveaus van toepassing verklaard bij verordening door de Commissie, wanneer deze van mening is dat deze niveaus zullen worden of reeds zijn bereikt. De geldigheidsduur van deze verordening mag echter ten hoogste drie maanden bedragen; tijdens deze periode moet een andere verordening worden voorbereid waarin de geldende niveaus aan de omstandigheden van het ongeval worden aangepast of worden bevestigd.

Kort na het ongeval van Tsjernobyl werden in bepaalde Lid-Staten hoge besmettingsniveaus in diervoeders vastgesteld en werd de Commissie geconfronteerd met het probleem van de vaststelling van maximaal toelaatbare besmettingsniveaus in deze diervoeders opdat de maximaal toelaatbare niveaus in de overeenkomstige dierlijke produkten niet zouden worden overschreden.

In maart 1991 keurde de Commissie, na overleg met een groep van deskundigen, een verordening goed tot vaststelling van de maximaal toelaatbare niveaus van radioactieve besmetting van diervoeders voor de isotopen van cesium (6). De in de bijlage bij de verordening vastgestelde waarden zijn opgenomen in de onderstaande tabel:

Diërsoort	Bq/kg
Varkens	1250
Pluimvee, lammeren, kalveren	2500
Overige	5000

#### 4) Uitvoer van besmette levensmiddelen

De Commissie is van mening dat het vanuit ethisch oogpunt onaanvaardbaar is dat levensmiddelen, waarvan de radioactieve besmetting de binnen de EG toegepaste grenzen overschrijdt, naar derde landen worden uitgevoerd.

Zij heeft dan ook aan de Raad een verordening voorgesteld, die in juli 1989 werd goedgekeurd (7) en waarin wordt bepaald dat deze produkten niet mogen worden uitgevoerd en dat de Lid-Staten moeten controleren dat de uitgevoerde produkten deze maximaal toelaatbare niveaus niet overschrijden.



5) Communautaire regelingen voor snelle uitwisseling van informatie in geval van stralingsgevaar

Hoewel alle Lid-Staten van de EG in 1986 het IAEA-Verdrag inzake vroegtijdige kennisgeving van een nucleair ongeval hebben ondertekend, heeft de Raad van Ministers in december 1987 een beschikking goedgekeurd (8) inzake communautaire regelingen voor snelle uitwisseling van informatie in geval van stralingsgevaar. Deze beschikking vervolledigt de draagwijdte van het Verdrag van Wenen en breidt het uit.

6) Informatie van de bevolking bij een nucleair ongeval

In november 1989 (9) heeft de Raad een richtlijn goedgekeurd betreffende de informatie van de bevolking over de bij stralingsgevaar toe te passen maatregelen ter bescherming van de gezondheid en over de alsdan te volgen gedragslijn. Deze richtlijn vraagt de Lid-Staten erop toe te zien dat:

- de bevolking die door een nucleair ongeval kan worden getroffen, wordt voorgelicht over de maatregelen ter bescherming van de gezondheid die op haar van toepassing zullen zijn, alsmede over de bij stralingsgevaar te volgen gedragslijn;
- bij een ongeval de feitelijk getroffen burgerbevolking onverwijld over de omstandigheden van het ongeval alsmede over de te nemen maatregelen wordt ingelicht.

7) Conclusies

Het ongeval van Tsjernobyl heeft aangetoond dat een nucleair ongeval gevolgen kan hebben die de nationale grenzen ver overschrijden. Daarom is het noodzakelijk dat de interventieplannen op internationaal niveau worden gecoördineerd.

Op het niveau van de Europese Gemeenschap zijn sinds 1986 de volgende maatregelen genomen:

- er zijn interventieniveaus voor levensmiddelen vastgesteld,
- er is een systeem voor een snelle uitwisseling van informatie onder alle Lid-Staten in geval van stralingsgevaar opgezet,
- er zijn regelingen getroffen voor de voorlichting van de bevolking over de bij een ongeval te nemen maatregelen.

Wij hopen dat al deze maatregelen zullen volstaan om in de toekomst de gevolgen van een eventueel nucleair ongeval het hoofd te kunnen bieden.

### Referenties

- 1) Verordening (EEG) nr. 737/90 van de Raad van 22 maart 1990 betreffende de voorwaarden voor de invoer van landbouwprodukten van oorsprong uit derde landen ingevolge het ongeluk in de kerncentrale van Tsjernobyl  
PB L 82 van 29.3.1990
- 2) Verordening van de Commissie van 22 januari 1991 tot vaststelling van een lijst van produkten die zijn uitgesloten van Verordening (EEG) nr. 737/90 van 22 maart 1990.  
PB L 17 van 23.1.1991
- 3) International Commission on Radiological Protection, Protection of the Public in the Event of Major Radiation Accidents; Principles for Planning, Publication 40, Pergamon Press, Oxford and New York (1984)
- 4) Verordening (EURATOM) nr. 3954/87 van de Raad van 22 december 1987 tot vaststelling van maximaal toelaatbare niveaus van radioactieve besmetting van levensmiddelen en diervoeders ten gevolge van een nucleair ongeval of ander stralingsgevaar  
PB L 371 van 30.12.1987
- 5) Verordening (EURATOM) nr. 2218/89 van de Raad van 18 juli 1989 tot wijziging van Verordening (EURATOM) nr. 3954/87 tot vaststelling van maximaal toelaatbare niveaus van radioactieve besmetting van levensmiddelen en diervoeders ten gevolge van een nucleair ongeval of ander stralingsgevaar  
PB L 211 van 22.7.89
- 6) Verordening (EURATOM) nr. 770/90 van de Commissie van 29 maart 1990 tot vaststelling van maximaal toelaatbare niveaus van radioactieve besmetting van diervoeders ten gevolge van een nucleair ongeval of ander stralingsgevaar  
PB L 83 van 30.3.90
- 7) Verordening (EEG) nr. 2219/89 van de Raad van 18 juli 1989 betreffende de bijzondere voorwaarden voor de uitvoer van levensmiddelen en diervoeders na een nucleair ongeval of bij ander stralingsgevaar  
PB L 211 van 22.7.89
- 8) Beschikking van de Raad (87/600/Euratom) van 14 december 1987 inzake communautaire regelingen voor snelle uitwisseling van informatie in geval van stralingsgevaar  
PB L 371 van 30.12.87
- 9) Richtlijn van de Raad van 27 november 1989 (89/618/Euratom) betreffende de informatie van de bevolking over de bij stralingsgevaar toepasselijke maatregelen ter bescherming van de gezondheid en over de alsdan te volgen gedragslijn  
PB L 357 van 7.12.89

### Résumé

Dans cet article on décrit les mesures prises par les Institutions des Communautés Européennes après l'accident de Tchernobyl dans le domaine de la radioprotection, à savoir :

- Les niveaux d'intervention communautaires pour les denrées alimentaires et aliments pour bétail contaminés.
- des mesures en matière d'exportation de denrées alimentaires contaminées.
- des règles communautaires pour l'échange rapide d'information en cas d'un accident nucléaire.
- une directive en matière d'information de la population sur les mesures à prendre en cas d'accident nucléaire.

### Abstract

This article describes the radiation protection measures taken by the E.C. Institutions after the Chernobyl accident, i.e.

- regulations laying down common intervention levels for contaminated foodstuffs and feedingstuffs.
- a regulation on the export of contaminated foodstuffs.
- a decision on the rapid exchange of information in the event of a nuclear accident
- a directive for informing the population on intervention measures to be taken in the event of a nuclear accident.

**PROGRAMME DE RECHERCHE EN RADIOPROTECTION****J. Sinnaeve**

Commission des Communautés Européennes

Texte de l'exposé du 26 avril 1991

**Résumé**

Le programme de recherche en radioprotection 1985-90 a subi un certain nombre de réorientations suite à l'accident de Tchernobyl et ceci dans les limites des moyens disponibles.

Au printemps 1988 dix actions spécifiques ont été mises en chantier. Elles concernent

- l'évaluation des données sur le transfert des radionucléides dans la chaîne alimentaire;
- l'amélioration des modèles de transport atmosphérique à grande distance;
- l'amélioration des systèmes de gestion de données (gestion en temps réel) pour aider à la prise de décision;
- les mesures de surveillance et de contrôle dans les situations de crise;
- la connaissance des données de consommation alimentaire et de leurs fluctuations locales pour déterminer les niveaux de référence dérivés;
- l'amélioration des contremesures dans l'environnement agricole et urbain;
- la médication préventive à l'aide d'iode stable;
- le traitement des personnes irradiées;
- l'étude des effets sanitaires de l'accident dans l'Europe communautaire.

## I. La révision Post-Chernobyl

L'accident de Tchernobyl a eu une influence importante sur plusieurs études conduites dans le cadre du programme de recherche en radioprotection 1985-1989. Des recherches en cours furent réorientées et quelques nouveaux projets démarrés. Toutefois, les moyens encore disponibles dans le cadre du programme 1985-1989 (58 M ECU) ne permettaient plus de supporter les recherches jugées nécessaires. Pour faire face à cette situation, une proposition de révision du programme de recherche a été préparée en 1986 et a été acceptée par le Conseil le 27 décembre 1987 (10 M ECU). Les services de la Commission, en étroite collaboration avec le Comité de Gestion et Coordination, ont élaboré 10 actions spécifiques de recherche, dites "Post-Chernobyl", qui ont démarré au printemps 1988. Ces actions de recherche et leurs conclusions sont brièvement décrites (10).

### I.1. Evaluation de données concernant le transfert de radionucléides dans la chaîne alimentaire

Les recherches se sont concentrées sur l'influence de la spéciation chimique sur le transfert des radionucléides, les coefficients de transfert sol-plante et plante-animal dans les écosystèmes semi-naturels et agricoles et sur le transfert de radionucléides dans les écosystèmes aquatiques.

La majorité du dépôt de radioactivité provenant de l'accident de Tchernobyl fut sous forme d'un aérosol avec un diamètre aérodynamique médiane d'à peu près 1  $\mu\text{m}$ . Durant la première année, le transfert sol-plante du radiocésium par voie racinaire était plus faible que celui constaté lors des essais nucléaires, et pour les années suivantes la biodisponibilité diminuait graduellement. Toutefois, les caractéristiques des sols ont une influence prononcée sur le transfert, ainsi pour un sol relativement acide avec un niveau de matière organique relativement élevé tel que nous le trouvons dans les écosystèmes semi-naturels, le transfert sol-plante peut être dix fois supérieur à celui des sols agricoles.

En ce qui concerne le transfert plante-animal, les recherches antérieures se concentraient sur la contamination de la viande bovine et du lait. Il a été constaté que pour le mouton, le transfert vers le lait et la viande est plus important que pour la vache, et que ce transfert est aussi plus important pour les animaux jeunes.

Dans le système aquatique, la situation est différente pour les rivières et les lacs. Dans les eaux de rivière, la concentration observée montre un pic relativement court dont

l'impact peut être diminué par des contrôles adéquats. La situation est différente pour les lacs où les niveaux d'activité peuvent rester appréciables dus à des phénomènes d'entraînement par ruissellement de particules de sol contaminé .

### 1.2. Amélioration des modèles de transfert atmosphérique à longue distance

Dans le cas d'effluents atmosphériques, les modèles de transport atmosphérique à longue distance trouvent des applications diverses: dans une première phase, ces modèles peuvent être utilisés pour prévoir où et quand une contamination pourrait arriver. D'autre part, si le terme source n'est pas très bien connu, ils peuvent servir à mieux le quantifier de plus ils peuvent être utilisés pour effectuer des interpolations ou des extrapolations pour estimer les niveaux de contamination pour des régions pour lesquelles peu de données sont disponibles. Dans ce contexte, les efforts se sont concentrés sur une analyse des données radiologiques de la banque de donnée REM (Radioactivity Environmental Measurements) du Centre Commun de Recherche à Ispra. Aussi une méthodologie utilisant des mesures hors-site des concentrations dans l'air et des dépôts a été développée pour mieux estimer le terme source. Un autre objectif était de réaliser un couplage entre les données météorologiques normalement disponibles et les modèles de transfert à longue distance en vue de leur utilisation dans des systèmes de gestion de crise. Finalement, l'importance de grandes perturbations topographiques a été étudiée. L'analyse des données a conduit au développement d'une approche multi-dimensionnelle pour mieux préciser le temps d'arrivée du nuage radioactif et l'évolution des concentrations dans le temps; cette méthode a permis de fournir des données homogènes pour valider les modèles de transfert. L'estimation qualitative et quantitative du terme source a conduit au développement d'un modèle numérique pour calculer des valeurs optimisées des quantités libérées ainsi que des valeurs optimisées pour la vitesse du vent, sa direction et les vitesses de déposition. Cependant, l'utilisation des modèles à longue distance reste assujettie à des incertitudes appréciables, liées essentiellement à la hauteur du rejet et aux phénomènes provoquant une dispersion latérale du nuage. Des grandes perturbations topographiques peuvent sensiblement modifier les champs de vent et les profils de concentration. Il a été conclu qu'une description topographique doit être incorporée dans les modèles de transfert.

### 1.3. Systèmes de gestion de crise en temps réel

Le but de cette action était de développer des méthodes plus fiables et applicables en toutes circonstances pour évaluer les doses à la population en temps réel et aussi de développer un système expert pour assister les décideurs dans le choix de mise en oeuvre de mesures correctives. Un système flexible en fonction de la proximité du site de

l'accident a été développé. La dispersion atmosphérique peut être estimée pour l'environnement local (quelques dizaines de kilomètres), pour des distances intermédiaires (quelques centaines de kilomètres) et pour des distances continentales (quelques milliers de kilomètres). Le module suivant calcule l'exposition pour toutes les voies importantes: irradiation externe du nuage et des dépôts, irradiation interne par inhalation et par ingestion. Ces données sont calculées avec les modèles de transfert atmosphérique, ou sont obtenus par des mesures faites dans l'environnement ou sur les produits alimentaires. Le résultat a été la mise à la disposition des autorités nationales d'une suite de modèles.

La gestion d'une situation de crise est, dans la plupart des cas, basée sur des informations quantitatives et spécifiques tout en prévoyant une certaine flexibilité pour pouvoir répondre à des situations actuelles. Les méthodes d'aide à la décision ont été évaluées et l'approche multi-attributs ou analyse d'utilité s'est montrée la plus performante. Un système expert, appelé RADE-AID a été développé permettant à l'utilisateur de comparer et de classer les différentes stratégies, en tenant compte des facteurs quantitatifs et qualitatifs. A présent, les modèles à temps réel et le système expert sont incorporés dans un système opérationnel qui sera disponible vers la fin de cette année.

#### I.4. Surveillance et contrôle dans les situations de crise

Surveillance et contrôle hors-site durant et après un rejet accidentel dans l'environnement sont nécessaires pour détecter l'accident et pour alerter les autorités, et aussi pour disposer de mesures rapides afin de pouvoir déterminer la nécessité d'introduire des contremesures. En plus, un suivi systématique dans le temps des mesures radiologiques dans l'environnement, des produits alimentaires et des personnes permettra la validation de la mise en oeuvre de contremesures et permettra de faire des calculs de dose. L'expérience au niveau communautaire après l'accident de Tchernobyl a clairement démontré la nécessité d'améliorer les procédures d'échantillonnage et de mesure.

La détection d'un rejet accidentel vers l'atmosphère est généralement faite par des mesures du débit de dose. Un problème fondamental est de pouvoir discriminer l'augmentation du débit de dose due à des radionucléides artificiels et la variabilité du bruit de fond en fonction de la situation météorologique. L'utilisation de spectrométrie gamma mesurés avec des détecteurs à scintillation a permis de diminuer considérablement le seuil d'alarme (5% d'augmentation en condition sèche ; 20% en condition humide). Plusieurs méthodes pour mesurer la contamination en surface (débit de dose et spectrométrie) ont été comparées. Si les mesures de débit de dose sont faciles à réaliser, leur interprétation pose des problèmes, mais ils peuvent orienter les investigations vers les sites à risque. Dans le cas d'une contamination avec des actinides ou des isotopes de

strontium, une analyse radiochimique est inévitable. Des méthodes plus rapides permettent dorénavant de connaître la contamination par le strontium en 15 heures, et par le plutonium en 20 heures. La mesure directe des personnes est faite pour estimer l'accumulation de l'iode radioactive au niveau de la thyroïde et pour les émetteurs gamma dans le corps humain. Cette approche est très importante pour vérifier les projections de dose et pour rassurer la population.

#### 1.5. Données pour déterminer les niveaux de référence dérivés

Le Groupe Experts Article 31 du Traité Euratom a utilisé une méthodologie faisant appel à plusieurs hypothèses et ces dernières ont été vérifiées. Une analyse des consommations alimentaires dans les Etats Membres a démontré que les valeurs utilisées pour les produits laitiers et pour la viande sont correctes. Toutefois, la consommation de fruits et légumes a été sousestimée de 25%. Une analyse de sous-groupes de la population a montré que, à cause des mécanismes de distribution, les populations urbaines consomment moins de produits contaminés que la moyenne nationale tandis que les populations rurales en consomment plus. En cas de contamination locale, un problème particulier peut se poser dans les régions où la production familiale est très importante et où la consommation de produits régionaux (champignons, gibier) peut-être un multiple de la valeur nationale.

Deux modèles dynamiques décrivant le transfert de la radioactivité à travers la chaîne alimentaire terrestre ont été appliqués et combinés avec des modèles dosimétriques utilisant des facteurs de dose par unité d'ingestion pour différents radionucléides, ainsi que des données diététiques. Cela a démontré la variabilité des doses individuelles. En général on peut conclure que l'âge a une faible influence sur la dose et que, sauf pour les régions Méditerranéennes, les pratiques agricoles ne doivent pas être considérées. Le paramètre le plus significatif est la saison durant laquelle la contamination se produit: une contamination en hiver résulte dans une dose intégrée pour la première année qui est 10 fois plus petite que pour une contamination au printemps ou en été. Finalement, en utilisant toutes ces données ainsi que le principe ALARA, des scénarios de mise en oeuvre de contremesures ont été développés. Toutes ces données seront incorporées dans le système expert de gestion de crise décrit ci-avant.

#### 1.6. Amélioration de contremesures pratiques dans l'environnement agricole

Les contremesures à mettre en oeuvre dépendent évidemment du niveau de la contamination. Pour le champ proche et pour les régions avec un dépôt humide important, des interventions plus perturbantes sont à considérer, tandis que pour le champ lointain, des mesures moins drastiques peuvent être adéquates.



En cas de contamination très importante il peut s'avérer nécessaire d'enlever toute végétation ainsi que la couche supérieure du sol, bien que dans la plupart des situations il est possible de laisser en place quelques végétations permanentes.

Si le niveau de contamination est plus faible, il est indiqué de déplacer la couche contaminée en dehors de la zone racinaire. Ceci peut être fait par un labourage en profondeur ou par enterrement de la couche supérieure en utilisant des engins spéciaux. Ces procédures non seulement diminuent la contamination de la chaîne alimentaire mais résultent aussi dans une diminution de l'exposition externe.

Pour les régions plus vastes, des interventions qui modifient le comportement des radionucléides dans le sol s'imposent. L'utilisation d'un fixatif ionique ou l'application d'une fertilisation adaptée peuvent réduire l'absorption végétale. Aussi une adaptation de l'assolement des cultures, le choix de cultures qui accumulent moins un radionucléide spécifique, ou une réorientation vers des nourritures animales peuvent être considérées dans les scénarios. De plus, des techniques agro-alimentaires et culinaires peuvent sensiblement diminuer le niveau de contamination des produits consommés. Dans le cas du lait, par exemple, la fabrication de fromage ou de beurre réduit la contamination d'un facteur de 10 à 100. Il est évident que toutes ces méthodes ont des avantages et des désavantages, mais un choix judicieux devra permettre d'en arriver à une combinaison optimisée des contremesures.

Les conclusions de cette action de recherche ont renforcé de manière significative les efforts donnés à ce sujet dans le cadre du programme de recherche 1990-1991 et deux études multinationales ont été démarrées : le programme RESSAC sur la réhabilitation des sols et des surfaces après un accident et le programme TARRAS sur le transfert terrestre et alimentaire des radionucléides rejetés accidentellement.

#### 1.7. Amélioration des contremesures pratiques dans l'environnement urbain.

La rétention de la radioactivité dans le lieu urbain dépend fortement de la nature des matériaux de construction. Une méthodologie, basée sur des statistiques de fabrication et d'utilisation ainsi que sur des cartes d'expansion urbaine, permet dorénavant de dresser un inventaire des matériaux exposés.

Tenant compte de la porosité de beaucoup de matériaux de construction, on n'a pas seulement à faire face à une contamination surfacique, mais aussi à une contamination massive par convection (brique ou tuile se saturent d'eau en 17 minutes !). En utilisant des techniques de blocage de site d'échange, il fut démontré que si la majorité des sites ne retiennent le césium que faiblement, il y a 1% des sites qui le retiennent presque irréversiblement. Tenant compte du fait que les quantités chimiques de radiocésium sont

très faibles, on peut comprendre qu'ultimement la plupart du césium se fixe sur les sites à haute sélectivité, et est difficilement déplacé. Une immersion totale de brique en poudre dans une solution de nitrate d'ammonium déplace seulement 20 à 30 % du césium. Les moyens physiques de décontamination, comme l'aspiration, balayage des surfaces, jets d'eau à haute pression, sablage et autres moyens conventionnels peuvent être efficaces si les surfaces sont poussiéreuses ou si une mince couche superficielle du matériel est enlevé. Ces recherches effectuées en laboratoire et sur le terrain ont prouvé que la sorption du césium est pour une grande partie irréversible et que par conséquent un traitement chimique n'est pas efficace.

#### 1.8. La médication préventive

L'iode radioactif s'accumule dans la thyroïde et peut augmenter le risque d'un cancer thyroïdien. Cette accumulation d'iode radioactif peut être bloquée par une "quasi saturation préalable" de la thyroïde avec de l'iode stable. Toutefois une importante absorption d'iode stable n'est pas sans risques puisque le métabolisme thyroïdien peut en être affecté, particulièrement dans le cas des jeunes, des malades ou si la diète normale contient peu d'iode. Cela nécessite d'évaluer les deux risques. Les risques de l'iode radioactif ont été étudiés dans le passé, mais principalement à des doses relativement élevées.

Si l'alimentation est pauvre en iode, l'absorption et donc le risque de l'iode radioactif peut être 3 à 4 fois plus grand qu'en situation normale. Pour cela, l'absorption et l'excrétion de l'iode a été déterminée pour différentes régions de la Communauté. On a trouvé de fortes variations à l'intérieur de toutes les régions et aussi une augmentation substantielle de la dose à la thyroïde foetale (30 fois plus que pour l'adulte). En général on peut conclure qu'une administration de petites quantités d'iode stable est un moyen efficace pour réduire l'absorption d'iode radioactif. Après un accident nucléaire, l'iode stable devrait être administré aux femmes enceintes, bébés et enfants jusqu'à l'âge de 16 ans. Sauf dans le cas où les doses projetées sont très grandes, l'administration d'iode stable n'a pas de sens pour les personnes de plus de 16 ans ou si l'administration est faite plus de 6 heures après l'ingestion d'iode radioactif. Un traitement prophylactique des personnes âgées de plus de 45 ans présente un risque substantiel et normalement n'est pas à conseiller.

#### 1.9. Diagnostic et traitement des victimes irradiées

Dans le cas d'une exposition de grandes parties du corps, une défaillance de la moelle osseuse pour remplacer les différentes cellules fonctionnelles du sang et une déficience du système immunitaire sont les causes des principaux syndromes d'irradiation. Dans une

situation pareille, l'évaluation des dommages biologiques est prioritaire mais due à l'hétérogénéité de l'exposition, les mesures physiques sont rarement fiables. Une analyse détaillée de 300 cas d'exposition accidentelle a permis de développer un système expert basé sur l'évolution du nombre de cellules sanguines périphériques, la sévérité et vitesse de développement de la maladie clinique et des marqueurs génétiques. Faisant appel à des facteurs de croissance haemopoïétique obtenus par des méthodes biotechnologiques, de nouvelles formes de traitement peuvent être utilisées. Un traitement avec les facteurs de croissance haemopoïétique GM-CSF et Interleukin -3 très vite après l'irradiation est recommandé pour des patients qui peuvent développer une pancétopénie.

Dans le domaine du traitement, le groupe a recommandé une collaboration étroite des hôpitaux et instituts qui disposent de l'expertise et de l'infrastructure nécessaire pour constituer un réseau Européen. De plus, ils ont indiqué la nécessité d'organiser des cours spécialisés pour médecins et infirmières, ce qui est fait à présent par la Commission, en collaboration avec différentes institutions Européennes.

#### I.10. Effets sanitaires dans l'Europe Communautaire suite à l'accident Tchernobyl

On a demandé à un groupe de trois laboratoires indépendants d'étudier la probabilité d'effets sanitaires pour la population européenne et d'évaluer la faisabilité d'une étude épidémiologique. Les conclusions de l'étude ont été évaluées par un groupe d'épidémiologistes de la Communauté, des Etats Unis, et du Japon. Le point de départ était le niveau d'exposition des populations Européennes : pour la première année après l'accident la dose varie de 0.05 mSv à 0.9 mSv, et pour toutes les années suivantes la dose intégrée ne dépasse pas l'exposition durant la première année. Cela signifie qu'en moyenne, les doses intégrées dues à l'accident de Tchernobyl sont au maximum du même ordre de grandeur que l'exposition annuelle due au bruit de fond (gamma + radon, environ 2 mSv par an). Les données les plus récentes sur les risques d'irradiation indiquent que les effets à court terme ne se manifestent qu'après une exposition de l'ordre de Gray; par conséquent il est très peu probable de les voir apparaître dans le cas de Tchernobyl. Des malformations congénitales pourraient être induites à des niveaux d'exposition en dessous de Gray, mais les modalités spécifiques de l'exposition post-Tchernobyl et l'apparition spontanée des malformations congénitales empêcheront leur détection dans les populations exposées. L'induction d'un radiocancer à des niveaux d'exposition faibles est supposée possible, mais à nouveau, le nombre élevé de cancers et leur variabilité rendront leur détection impossible. En effet, leur nombre potentiel dans la population adulte sera bien inférieur à 1 pro mille du nombre de cancers non-radioinduits.

L'effet d'irradiation le plus sensible est probablement l'induction de la leucémie chez les enfants. Ceci est à l'heure actuelle étudié dans l'étude ECLIS (European Childhood Leukemia Incidence Study) réalisée en collaboration avec CIRC. La banque de données contient maintenant pour la plupart des pays considérés (Etats Membres et pays de l'Europe de l'Est) les années 1980-1985 comme période de référence (40 cas par million d'enfants) et les deux premières années après l'accident. Tenant compte du temps de latence (2 à 10 ans), il est trop tôt pour en tirer des conclusions, mais le potentiel de l'étude est très promettant.

## II. Collaboration Scientifique avec le Centre de Tchernobyl

Le programme radioprotection de la Commission négocie la signature d'un accord de collaboration avec le Centre International de Recherches de Tchernobyl. Sept projets de collaboration scientifique et 3 projets d'harmonisation de techniques sont à l'étude:

Projets de collaboration scientifique :

- évaluation de ré-contamination par ré-distribution du dépôt;
- transfert de radionucléides dans l'écosystème terrestre;
- transfert de radionucléides vers et dans l'écosystème aquatique;
- évaluation et développement de stratégies de décontamination;
- comportement des radionucléides dans les écosystèmes naturels et semi-naturels;
- dosimétrie biologique et études cytogénétiques;
- recherches épidémiologiques.

Projets d'harmonisation de techniques :

- systèmes de gestion de situation de crise;
- techniques pour établir les niveaux d'intervention;
- traitement de patients irradiés.

La mise en oeuvre de ces projets sera réalisée en 1991 et 1992 en étroite collaboration avec les équipes multinationales du programme de recherche.

## Samenvatting

Het onderzoekprogramma 1985-1990 heeft binnen het raam van de beschikbare middelen een aantal reorientaties ondergaan na Tsjernobyl.

Tijdens de lente van 1988 werden tien specifieke acties op touw gezet. Het betreft

- de evaluatie van de transfert van radionucliden in de voedingsketen;
- het uitwerken van betere modellen voor het transport in de atmosfeer van radionucliden;
- het verbeteren van het beheer van databanken (real time) om het nemen van beslissingen te vergemakkelijken;
- de controle- en toezicht maatregelen in krisistoestand;
- het beschikken over consumptie gegevens met hun plaatselijke schommelingen om de afgeleide interventie niveau's te bepalen;
- het verbeteren van de tegenmaatregelen in het stedelijk- en landbouwmilieu;
- het preventief toedienen van stabiel Iodium
- het behandelen van de bestraalde personen;
- de studie van de sanitaire gevolgen van Tsjernobyl in de Europese gemeenschap.

## Summary

The 1985-90 research programme for radiation protection has been reorientated after Chernobyl in the framework of the available means.

During the 1988 spring, ten specific actions were launched:

- evaluation of transfer data for radionuclides in the food-chain
- improvement of the long distance atmospheric transport models for radionuclides
- improvement of data management systems for decision making (real time treatment)
- monitoring and surveillance measures in accident situations
- availability of food consumption data and their local variations with a view to determine derived reference levels
- improvement of countermeasures both in the agricultural and urban environment
- preventive use of stable iodine
- treatment of irradiated persons
- study of health consequences in the European community due to the accident.