

TCHERNOBYL, 13 ANS APRES

Avril 1999

Contact:

~~Mireille REGNIAULT-LACHARME – Mission Communication ☎ 01 46 54 86 38~~

~~e-mail: mireille.lacharme@ipsn.fr~~

~~Henri METIVIER – Programmes scientifiques ☎ 01 46 54 75 40~~

~~e-mail: henri.metivier@ipsn.fr~~

INTRODUCTION

Ce dossier présente le bilan réalisé, comme chaque année, par l'IPSN (Institut de Protection et de Sûreté nucléaire) sur les conséquences écologiques et sanitaires de l'accident de la centrale de Tchernobyl.

Parmi les éléments d'information les plus récents, figure une synthèse de la situation actuelle de la centrale, que l'Ukraine s'est engagée à arrêter définitivement en l'an 2000. Le réacteur n°3, le seul encore en fonctionnement, a redémarré le 7 mars. Sur les vingt derniers mois, il n'a fonctionné que huit mois environ : le reste du temps, il était à l'arrêt pour des opérations de maintenance, de contrôle des tuyauteries et de réparation. Un nouvel arrêt de maintenance est prévu cet été. Deux questions de sûreté se posent pour ce réacteur : l'évolution du phénomène de fissuration d'une partie des tuyauteries et le comportement des « tubes de force » (cf. page 6).

Ces dernières années, des améliorations ont incontestablement été apportées aux RBMK en général et au réacteur n°3 de Tchernobyl en particulier. Cependant, compte tenu des problèmes génériques posés par la conception de ce type de réacteurs et des difficultés spécifiques d'exploitation sur un site tel que celui de Tchernobyl, l'IPSN souligne que l'arrêt définitif de centrale doit intervenir au plus tôt.

Dans les territoires contaminés autour de Tchernobyl, l'épidémie de cancers de la thyroïde chez les enfants continue de progresser, en particulier parmi ceux qui avaient moins de 5 ans au moment de la catastrophe. Sur la période 1986-1997, en Biélorussie, en Russie (région de Briansk) et dans les régions les plus polluées d'Ukraine, on dénombre de façon certaine au moins 1400 cas. Ceci équivaut à une multiplication de 10 à 100 du taux naturel de cancers de la thyroïde chez l'enfant (cf. p 9 et 10).

Concernant la France, l'IPSN a réalisé en 1998 une étude sur l'impact de la contamination due aux retombées de Tchernobyl dans le groupe des travailleurs des installations nucléaires françaises (cf. page 22). Ce groupe a pu être étudié car il est l'objet d'un suivi médical régulier comprenant des contrôles de radioactivité : en particulier, les radionucléides artificiels tels que les césiums 137, 134 et l'iode 131 (principaux éléments transportés jusqu'en France par le « nuage ») sont recherchés dans les urines, l'ensemble de l'organisme et, dans certains cas, la thyroïde.

Les spécialistes en dosimétrie de l'institut ont ainsi analysé 60 000 résultats de contrôles effectués dans 17 sites par les médecins du travail sur une période de trois ans après l'accident, entre mai 1986 et avril 1989. Les données obtenues ont été comparées aux évaluations de doses que l'IPSN avait calculées en 1996-1997 pour l'ensemble de la population à partir du bilan complet de la contamination environnementale du territoire (cf. page 18) : les observations directes faites sur le personnel de l'industrie nucléaire confirment ces évaluations.

A titre de rappel, l'IPSN a estimé que la dose individuelle reçue pour une période de 60 ans (1986-2046) par les habitants de la zone la plus touchée (l'Est de la France) est inférieure à 1,5 millisievert (mSv). Cette valeur représente 1% de l'exposition à la radioactivité naturelle tellurique et cosmique durant le même temps.

Toujours pour les départements de l'Est, la dose annuelle maximale individuelle est aujourd'hui de 0,015 mSv, à l'exception du cas très particulier de personnes qui vivraient dans l'une des forêts les plus touchées en se nourrissant quotidiennement de viande de gibier et de champignons. Pour celles-ci, l'estimation la plus élevée est de 1 mSv par an.

Pour ce qui concerne les « points chauds » identifiés par l'IPSN et la Crie-Rad en montagne, les doses maximales pouvant être induites, pour des campeurs par exemple, sont de l'ordre de 0,015 mSv. A titre de comparaison, la dose liée aux rayonnements cosmiques lors d'un vol Paris-New York est de 0,03 mSv. Enfin, pour l'ensemble du pays, la dose cumulée à la thyroïde due aux retombées d'iode 131 est estimée entre 0,5 et 2 mSv pour un adulte et entre 6,5 et 16 mSv pour un enfant (*cf. pages 18 à 21*). Ces doses sont 100 à 1000 fois plus faibles que celles auxquelles ont été soumis les enfants qui habitaient au voisinage de Tchernobyl.

Ces doses estimées pour les jeunes enfants en France ne semblent pas devoir conduire à un excès de risque observable de cancers de la thyroïde. La tendance à l'augmentation de ce cancer dans la population adulte est constatée depuis une vingtaine d'années dans les registres qui existent dans une dizaine de départements : à partir de 1975, sa fréquence a été multipliée par 4 chez l'homme et par près de 3 chez la femme. L'accident de Tchernobyl en 1986 n'a pas d'influence visible dans les statistiques (*cf. page 15*).

Enfin, le rapport technique (IPSN-97-03) que l'institut avait réalisé en 1997 sur l'impact des retombées de Tchernobyl en France fait l'objet d'un livre qui vient d'être édité aux Editions de Physique : son titre est « *Conséquences radioécologiques et dosimétriques de l'accident de Tchernobyl en France* », par Philippe Renaud *et al.*

SOMMAIRE

I. TCHERNOBYL EN QUELQUES CHIFFRES

II. LE "SARCOPHAGE" ET LES REACTEURS DE LA CENTRALE DE TCHERNOBYL

1. Risques associés au "sarcophage" : instabilité et criticité
2. Les trois autres réacteurs du site
3. Actions spécifiques de l'IPSN

III. CONSEQUENCES SANITAIRES DE L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL

1. Les populations des territoires les plus contaminés
2. La population des « liquidateurs »
3. Les populations du reste de l'Europe
4. Questions sur les cancers de la thyroïde
5. Actions de l'IPSN autour de Tchernobyl

IV. L'IMPACT EN FRANCE DES RETOMBÉES DE TCHERNOBYL

1. Dépôts et « activités surfaciques rémanentes » en 1986
2. Activités des productions agricoles, des produits naturels et de l'eau de boisson
3. Doses
4. Comparaison des évaluations dosimétriques de l'IPSN avec les données de contrôles médicaux

V. L'ENVIRONNEMENT A TCHERNOBYL ET LA GESTION DES TERRITOIRES CONTAMINÉS

1. Etat de la contamination des sols
2. Administration des territoires contaminés
3. Productions agricoles dans les territoires contaminés
4. Situation socio-économique des populations
5. Actions de l'IPSN en matière de radioécologie

VI. L'INITIATIVE FRANCO-ALLEMANDE POUR TCHERNOBYL

1. Arrêt définitif de la centrale de Tchernobyl et accord G7 / CEE / Ukraine
2. Appel de l'Ukraine pour un Centre de Recherche International « Tchernobyl »
3. Les enjeux

VII. LEXIQUE

I. TCHERNOBYL EN QUELQUES CHIFFRES

Le 26 avril 1986, l'explosion du réacteur n°4 de type RBMK du site ukrainien de Tchernobyl, puis l'incendie du cœur du réacteur ont entraîné des rejets considérables de matières radioactives dans l'environnement ainsi que la projection de débris de combustible aux alentours de la centrale.

La radioactivité totale rejetée dans l'atmosphère a été de l'ordre de 12 exabecquerels (milliards de milliards de becquerels) sur une durée de 10 jours. Le déplacement du panache radioactif a disséminé sur la plupart des pays d'Europe des radionucléides tels que l'iode 131, le césium 134 et le césium 137. Du fait de sa courte période radioactive, l'iode 131 a disparu depuis longtemps. Par contre, dans de larges parties d'Europe, on décèle toujours une radioactivité surfacique, principalement due au césium 137.

Les personnels de l'installation et les équipes de secours présents sur le site pendant les premières heures de l'accident ont subi une irradiation aiguë provenant des fragments du réacteur éparpillés sur le site, ainsi que du nuage et des dépôts radioactifs. Un syndrome d'irradiation aiguë a été confirmé chez 134 des 237 personnes hospitalisées en raison de doses élevées : 28 d'entre elles sont décédées dans de brefs délais ; 3 autres sauveteurs sont morts des suites de traumatismes.

On estime que 600 000 «liquidateurs» sont intervenus pour nettoyer les zones les plus contaminées autour du réacteur endommagé. Parmi les 135 000 habitants de la zone des 30 km autour de la centrale, interdite depuis l'accident, 115 000 ont été évacués dès la première semaine. Ils ont subi une irradiation externe et, à un moindre degré, une irradiation par inhalation de poussières radioactives.

Les habitants actuels des zones contaminées sont continuellement soumis à une exposition externe et une exposition par ingestion d'aliments contaminés. Ils sont environ 1,4 million à vivre dans les zones à plus de 185 000 becquerels/m² (5 Curies/km²) et près de 5,3 millions dans des régions où la contamination des sols est comprise entre 37 000 Bq/m² (1 Ci/km²) et 185 000 Bq/m² (5 Ci/km²). Le reste de la population générale de l'ancienne URSS, environ 280 millions de personnes, vit sur des territoires dont le niveau de contamination en césium 137 est inférieur à 37 000 Bq/m² (1 Ci/km²).

En Europe occidentale, les niveaux de contamination en césium 137 ont varié entre quelques dizaines de becquerels par m² à l'Ouest et plusieurs centaines de milliers de becquerels par m² dans les parties situées à l'est et au nord.

Du point de vue sanitaire, dans les Républiques d'Ukraine, Biélorussie et Russie, environ 1400 cas de cancers de la thyroïde ont été observés entre 1986 et 1997, chez les personnes qui avaient moins de 18 ans en 1986. Chez les adultes, l'augmentation relative observée pour cette maladie est plus modérée et est vraisemblablement due au meilleur dépistage des petites tumeurs cancéreuses.

* * *

La centrale de Tchernobyl aujourd'hui : les tranches 1 et 2 sont arrêtées en vue de leur déclassement ; la tranche 3 est en exploitation; la tranche 4 accidentée est recouverte par un "sarcophage" construit autour du réacteur immédiatement après l'explosion.

II. LE "SARCOPHAGE" ET LES REACTEURS DE LA CENTRALE DE TCHERNOBYL

- *Depuis l'an dernier, les travaux de stabilisation du "sarcophage" et de réfection de ses systèmes de surveillance sont en cours d'étude.*
- *Des études sont également en cours pour la construction d'un entreposage de combustibles irradiés, d'installations de conditionnement et d'entreposage de déchets solides ainsi que d'une station de traitement des effluents liquides.*
- *L'accord signé entre le gouvernement ukrainien, le G7 et la Communauté Européenne prévoit l'arrêt définitif de la centrale de Tchernobyl, au plus tard en l'an 2000.*

1. Risques associés au « sarcophage » : instabilité et criticité

En 1986, les autorités soviétiques ont fait construire en quelques mois une structure, appelée "sarcophage", visant à remplacer, autant que possible, les parties détruites du bâtiment du réacteur n° 4 afin de confiner les matières radioactives et d'assurer la "mise hors d'eau" du réacteur accidenté.

1/a- Instabilité de la partie supérieure du « sarcophage »

Afin de pouvoir réaliser ces travaux rapidement, la partie supérieure du nouveau bâtiment a été posée sur les restes de l'ancien. Le principe de la construction est basé sur la mise en place de poutres métalliques sur lesquelles reposent de grandes plaques métalliques. Compte tenu des débits de dose élevés près du réacteur, ces plaques ont été posées à l'aide de grues, sans possibilité d'assurer leur jointure et leur fixation. La restauration des anciennes parties de bâtiment qui supportent la charpente n'a pas été possible.

Le "sarcophage" a ainsi été construit en utilisant des matériaux prévus pour une tenue d'environ 30 ans, mais sur des appuis de stabilité incertaine ayant subi une explosion et de violents incendies.

Depuis plusieurs années, le risque principal associé à ce "sarcophage" réside dans l'instabilité de sa partie supérieure : le vieillissement des structures en béton sur lesquelles repose la charpente métallique pourrait conduire à son effondrement partiel. En supposant qu'un tel événement n'affecte pas le réacteur n°3 qui reste en service dans le bâtiment voisin, les conséquences radiologiques seraient limitées au voisinage immédiat du site. Elles pourraient néanmoins être importantes pour les travailleurs du site qui inhaleraient les poussières générées par l'effondrement.

1/b – Risque de criticité dans le « sarcophage »

Pour ce qui concerne les risques de criticité (*réaction en chaîne incontrôlée*) les experts s'accordent à considérer que les « événements » neutroniques détectés, en 1996 notamment, par les instruments de mesure dans le "sarcophage" ne sont pas les indices d'un risque réel.

Toutefois, dans l'état actuel des connaissances sur la répartition des masses de combustibles à l'intérieur du "sarcophage", il est difficile d'exclure totalement la possibilité d'un déclenchement spontané de réactions en chaîne. Les conséquences d'un tel accident de criticité pourraient être importantes pour les travailleurs, mais elles n'affecteraient pas l'environnement du site.

1/c – Projets d'amélioration de la sûreté du « sarcophage »

En 1997, un programme d'actions sur une dizaine d'années, visant à réduire les risques présentés par l'actuel "sarcophage", a été défini par un groupe d'experts internationaux. Objet d'un accord entre le G7 et les autorités ukrainiennes, ce projet vise les objectifs suivants :

- réduire les risques d'effondrement par une stabilisation des structures,
- réduire les conséquences d'un effondrement, notamment par la mise en œuvre de moyens limitant la dispersion de matières radioactives,
- améliorer la surveillance des matières fissiles dans le bâtiment et maîtriser les risques de criticité,
- améliorer la sécurité du personnel,
- étudier des stratégies à plus long terme, telles que le retrait des matières radioactives, le démantèlement partiel des structures et la mise en place d'un nouveau sarcophage.

Ce programme a été analysé par l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire français (IPSN) et son partenaire allemand la Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) dans le cadre des actions d'assistance européennes Technical Assistance for the Commonwealth of Independent States (TACIS). Les deux organismes, en collaboration avec la société américaine Sciencetech, assistent aussi l'Autorité de sûreté nucléaire ukrainienne (SNRA) en tant que consultant dans le cadre d'un autre contrat financé par la Banque Européenne pour la Reconstruction et le Développement (BERD).

Conclu fin 1998, il prévoit que l'IPSN, GRS et Sciencetech fournissent une assistance :

- sur la planification des actions techniques et réglementaires à mener par la SNRA et son soutien technique local (SSTC),
- sur le suivi des évaluations de sûreté menées par le SSTC concernant les actions prévues sur le sarcophage et explicitées ci-dessous :

Un premier ensemble d'actions concerne la stabilisation des structures actuelles et la rénovation des systèmes de surveillance du sarcophage et de son contenu. Les études relatives à ces actions sont en cours et les travaux associés devraient durer environ trois ans. Une première tâche concernant la stabilisation des points d'appui de poutres soutenant la toiture du sarcophage est en cours d'examen par l'exploitant, les partenaires industriels et la BERD. Ce projet devait être soumis à l'approbation de la SNRA en avril 1999.

Le principal problème de sûreté lié à ces travaux réside dans l'évaluation des risques radiologiques pour les intervenants.

2. Les trois autres réacteurs du site

A l'issue des négociations avec le G7 en 1995, l'Ukraine s'est engagée à arrêter définitivement les réacteurs de la centrale de Tchernobyl en l'an 2000 si des financements suffisants lui étaient attribués pour cet arrêt et pour la construction d'installations de production d'électricité équivalentes.

Le réacteur n° 1 a été arrêté à la mi-1996. En tout état de cause, son maintien en fonctionnement aurait nécessité de très importants travaux de remplacement des "tubes de force". Depuis, un programme de mise à l'arrêt définitif a été établi ; cette phase se terminera par le déchargement du cœur. Pour les phases suivantes du démantèlement, l'exploitant devra présenter les dossiers correspondants à l'Autorité de sûreté ukrainienne d'ici 2003.

Le réacteur n° 2 est hors service depuis 1991, suite à des destructions dues à un incendie. La décision de cesser définitivement son exploitation a été récemment établie par les autorités ukrainiennes (décret daté du 15 mars 1999). Le programme de cessation définitive d'exploitation doit être élaboré dans les six mois.

Le réacteur n° 3 est actuellement en service après un redémarrage qui a eu lieu le 7 mars 1999. Sur les vingt derniers mois, il n'a fonctionné que huit mois environ ; le reste du temps, il était à l'arrêt pour des opérations de maintenance, de contrôle des tuyauteries et de réparation. Un nouvel arrêt pour maintenance est prévu cet été.

Deux questions de sûreté se posent pour ce réacteur : l'évolution du phénomène de fissuration d'une partie des tuyauteries et le comportement des "tubes de force".

2/a – Réacteur n°3 : l'évolution des fissures

En 1997, des fissures affectant des tuyauteries de 300 mm de diamètre fabriquées en acier inoxydable stabilisé ont été découvertes sur plusieurs réacteurs russes de type RBMK, en particulier à Kursk et Saint-Pétersbourg, en Russie, ainsi qu'à Ignalina, en Lituanie. Le concepteur des RBMK, la société NIKIET, a alors informé la centrale de Tchernobyl. Après contrôles, il est apparu que le même phénomène – une fissuration par corrosion intergranulaire - affecte le réacteur n°3 de Tchernobyl.

Dans un premier temps, au cours d'un arrêt pour maintenance pendant l'hiver 1997-1998, l'exploitant, conformément aux demandes de l'Autorité de sûreté ukrainienne, a vérifié la presque totalité des soudures des tuyauteries de 300 mm de diamètre du circuit de refroidissement de secours et du circuit primaire.

Ces contrôles ont conduit à la découverte de 451 défauts dont 338 ont été réparés. Après le long arrêt nécessité par ces réparations, le réacteur a été redémarré en mai 1998, les 113 défauts restants ayant été considérés comme acceptables pour un fonctionnement d'une durée limitée à environ six mois. Le réacteur a ensuite été arrêté le 15 décembre 1998 pour effectuer à nouveau des contrôles.

Depuis cette date, c'est-à-dire au cours des quatre derniers mois, les vérifications réalisées ont concerné environ 270 soudures et ont mis en évidence une cinquantaine de défauts. Une quarantaine d'entre eux ont été réparés, les défauts restants étant considérés comme acceptables par l'Autorité de sûreté pour un fonctionnement de durée limitée.

Dans le détail, on constate que :

- parmi les 113 défauts laissés en l'état en mai 1998, 25 se sont propagés : l'exploitant a réparé 19 de ces fissures dont la plus longue atteignait 250 mm ;
- 44 soudures, qui n'avaient pas été contrôlées en 1997-1998 à cause de difficultés d'accès, ont fait l'objet d'une inspection : celle-ci n'a révélé qu'un seul défaut qui a été réparé ;

- les soudures sur les collecteurs, non contrôlées lors du précédent arrêt, ont également été inspectées : dans 9 d'entre elles, des fissures mesurant entre 170 mm et 468 mm ont été détectées (pour une circonférence de la tuyauterie d'environ 950 mm) ; l'exploitant a procédé aux réparations nécessaires ;
- 19 soudures partiellement réparées en 1997-1998 ont été reconstrôlées : 8 d'entre elles comportent à nouveau des fissures, situées cette fois dans des zones qui n'avaient pas été traitées (la plus longue mesure 220 mm) ; là aussi, l'exploitant a procédé aux réparations nécessaires.

Ces informations, transmises par les Ukrainiens, indiquent que la démarche générale suivie par l'exploitant de la centrale et l'Autorité de sûreté est analogue à celle qui prévaut en pareil cas dans les pays occidentaux. Toutefois, les justifications de sûreté apportées par l'exploitant ne sont pas connues de l'IPSN.

En tout état de cause, les évolutions des fissures indiquées ci-dessus ne peuvent manquer d'inquiéter ; a minima, elles doivent conduire à limiter fortement les périodes de fonctionnement du réacteur entre deux campagnes de contrôles et de réparations. Toutefois, l'IPSN note que le phénomène de fissuration observé n'affecte que les tuyauteries fabriquées en acier inoxydable stabilisé. Les seules tuyauteries de ce type sont des tuyauteries de 300 mm de diamètre qui circulent dans des locaux du bâtiment du réacteur capables de confiner la fuite qui résulterait de la rupture d'une d'entre elles.

2/b – Réacteur n°3 : le comportement des "tubes de force"

L'autre problème de sûreté qui se pose désormais pour le réacteur n° 3 est le risque d'une insuffisance du jeu entre le graphite et les "tubes de force". Ce jeu diminue, en effet, au cours du fonctionnement du réacteur, en raison de la déformation des « tubes ». Lorsque le jeu devient nul, le « retubage » du réacteur est nécessaire.

Selon les informations transmises par l'Autorité de sûreté ukrainienne, les contrôles effectués pendant l'arrêt de 1997-1998 ont montré qu'il restait suffisamment de jeu pour permettre le fonctionnement du réacteur jusqu'à la fin de l'an 2000. Ce résultat est cohérent avec le fait que le réacteur a peu fonctionné ces deux dernières années.

Néanmoins, de nouveaux contrôles sont programmés lors de l'arrêt prévu cet été : des mesures directes du jeu seront effectuées et 230 "tubes de force" seront retirés du réacteur pour examen. Ces vérifications permettront de préciser la durée de fonctionnement encore possible sans remplacement des "tubes", sachant que, selon l'engagement de l'Ukraine, le réacteur devrait être arrêté définitivement au plus tard en l'an 2000.

2/c - Remarque générale

Ces dernières années, des améliorations ont incontestablement été apportées aux RBMK en général et au réacteur n°3 de Tchernobyl en particulier. Cependant, compte tenu des problèmes génériques de sûreté posés par la conception des réacteurs RBMK et des difficultés spécifiques d'exploitation d'un réacteur sur un site tel que celui de Tchernobyl, l'IPSN souligne que l'arrêt définitif de centrale doit intervenir au plus tôt.

3. Actions spécifiques de l'IPSN

En dehors de l'assistance qu'il apporte à l'évaluation de la sûreté des opérations menées sur le "sarcophage" (cf. page 5), l'IPSN participe à deux autres types d'actions visant à améliorer la sûreté du site de Tchernobyl.

3/a - l'initiative franco-allemande pour la sûreté du "sarcophage"

Dans le cadre de l'action d'assistance particulière dite "Initiative franco-allemande" (cf. chapitre VI), l'IPSN et la GRS définissent le contenu et le mode de gestion d'une future base de données sur l'état et la sûreté du "sarcophage". Ce travail s'effectue avec les principaux organismes ukrainiens et russes compétents en la matière : le Centre de Tchernobyl, l'exploitant de la centrale, l'ISTC (*Centre Interdisciplinaire Scientifique et Technique « sarcophage »* de l'Académie des Sciences d'Ukraine), le NIISK (*Académie ukrainienne des sciences de l'ingénierie*) et l'Institut Kurchatov de Moscou.

Cette base de données permettra d'améliorer l'estimation des risques radiologiques à l'intérieur et aux abords du "sarcophage". Elle constituera une source d'information sans équivalent pour d'éventuels projets d'ingénierie et pourra également aider à définir une stratégie à long terme sur le devenir de cette structure.

Les projets de collecte, de mise en forme et d'informatisation des données concernent :

- *La construction du "sarcophage" et des infrastructures annexes*

Ce projet, placé sous la responsabilité du NIISK, vise à rassembler la documentation technique concernant les constructions édifiées sur le réacteur accidenté.

- *La situation radiologique et les équipements à l'intérieur du "sarcophage"*

Sous la responsabilité de l'exploitant de la centrale, ce projet vise à rassembler les résultats des mesures effectuées dans les différentes zones du bâtiment pour déterminer les débits de dose, le niveau de contamination et la localisation des émissions radioactives.

- *La situation radiologique à proximité du "sarcophage"*

L'évaluation de la situation radiologique à l'extérieur du sarcophage est placée sous la responsabilité de l'ISTC. Elle doit tenir compte des modifications dues à la décroissance de la radioactivité mais aussi au transport de radioéléments dans l'air ou dans l'eau.

- *Les "masses radioactives" et les déchets radioactifs à l'intérieur du "sarcophage"*

Les "masses radioactives" sont les débris du cœur du réacteur qui ont été recouverts de sable et de matériaux déversés par hélicoptère, et le magma radioactif qui s'est écoulé vers le fond du bâtiment où il s'est solidifié. Un projet, placé sous la responsabilité de l'Institut Kurchatov, vise à rassembler les données relatives à ces "masses radioactives".

Les contrats relatifs à ces projets ont été signés le 23 avril 1998, la collecte des informations par les différents intervenants locaux et leur mise en place dans la base de donnée est en cours. Une première ébauche de la base de données devrait être prête dans les semaines à venir.

3/b - L'assistance européenne aux projets de démantèlement et de gestion des déchets

Dans le cadre des actions TACIS financées par la Commission Européenne, l'IPSN intervient depuis le début de 1999, en collaboration avec la GRS allemande, l'Agencia Nazionale per la protezione dell' Ambiente (ANPA) italienne et l'AIB Vinçotte Nucléaire (AVN) belge, pour l'évaluation de la sûreté des installations d'entreposage de combustibles irradiés, de traitement d'effluents liquides et de conditionnement et entreposage de déchets solides. Ces projets sont financés par le "fonds de sûreté nucléaire" créé auprès de la BERD en 1993 et par le programme TACIS de la Commission Européenne. Les appels d'offre relatifs à l'entreposage de combustibles irradiés et à la station de traitement des effluents liquides sont en cours de dépouillement.

III. CONSEQUENCES SANITAIRES DE L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL

- *L'épidémie de cancers de la thyroïde chez les enfants dans les trois républiques de l'ex-URSS touchées par l'accident de Tchernobyl continue de progresser, en particulier parmi ceux qui avaient moins de 5 ans au moment de l'accident. Sur la période 1986-1997, en Biélorussie, en Russie (région de Briansk) et dans les régions les plus contaminées d'Ukraine, on dénombre aujourd'hui environ 1400 cas chez les personnes qui avaient moins de 18 ans en 1986.*
- *Un excès de malformations congénitales dans les territoires les plus contaminés reste suspecté mais n'est pas établi. En revanche, en Europe de l'Ouest, aucun excédent d'anomalies de ce type n'est attribuable aux retombées de l'accident.*
- *Aucun excès de leucémie attribuable à l'accident de Tchernobyl n'a été observé dans les pays les plus touchés, dans la population générale, en particulier chez les enfants, ou chez les « liquidateurs ».*

Depuis 1997, peu d'éléments scientifiques nouveaux ont permis d'améliorer la connaissance des conséquences sanitaires de l'accident de Tchernobyl. Cela s'explique notamment par la complexité du processus d'acquisition de données épidémiologiques, qui exige des étapes multiples de vérification et de validation. Par exemple, un travail de longue haleine est nécessaire pour vérifier les diagnostics des cas de cancers enregistrés dans les registres et pour contrôler la fiabilité du recueil des données.

La reconstitution des doses reçues par les individus est aussi un processus long et difficile. Elle passe notamment par la mise au point de questionnaires destinés à retrouver « l'emploi du temps » des personnes exposées, à différents moments après l'accident, et à déterminer leurs modes de vie (habitudes alimentaires, temps passé dehors, profession...).

Des informations contradictoires continuent donc d'être diffusées sur la nature, l'importance et les causes des problèmes de santé rencontrés dans les zones les plus contaminées des trois républiques affectées par l'accident.

Les groupes de population exposés

- Les personnels de l'installation et les équipes de secours présents sur le site pendant les premières heures de l'accident ont subi une irradiation aiguë provenant des fragments du réacteur éparpillés sur le site, du nuage et des dépôts radioactifs. Sur 237 personnes hospitalisées en raison de doses élevées, un syndrome d'irradiation aiguë a été confirmé chez 134 d'entre elles et 28 de ces personnes sont décédées.
- Les « liquidateurs » sont les personnes qui sont intervenues pour nettoyer les zones les plus contaminées autour du réacteur endommagé. Leur nombre est estimé à 600 000 environ. Ils n'ont été qu'exceptionnellement équipés de dosimètres individuels. Leur suivi est difficile car ils sont maintenant éparpillés dans l'ensemble de l'ex-URSS.
- Parmi les 135 000 habitants de la zone des 30 km, interdite depuis l'accident, 115 000 ont été évacués dans la première semaine. Ils ont subi une irradiation externe et, à un moindre degré, une contamination interne due à l'inhalation de poussières radioactives.
- Les habitants des zones contaminées, environ 6,7 millions dans les zones à plus de 37 000 Bq/m² (1 Ci/km²) sont continuellement soumis à une irradiation externe et une contamination interne par ingestion d'aliments contaminés.
- Le reste de la population générale de l'ex-URSS, environ 280 millions de personnes en 1991, vit sur des territoires dont le niveau de contamination en césium 137 est inférieur à 37 000 Bq/m² (1 Ci/km²).
- Enfin, dans le reste de l'Europe, les niveaux de contamination en césium 137 ont varié entre quelques dizaines et plusieurs centaines de milliers de becquerels par m².

1. Les populations des territoires les plus contaminés

La plupart des résultats publiés ces deux dernières années sur les effets sanitaires de l'accident de Tchernobyl dans la population des trois pays les plus contaminés proviennent d'études descriptives ou d'études de corrélation géographique. De manière générale, qu'il s'agisse des leucémies, des autres cancers solides (excepté ceux de la thyroïde) ou des malformations congénitales, la fiabilité des informations reste à démontrer, la validation des données étant très incomplète.

Cancers solides et cancers de la thyroïde

De façon globale, une augmentation significative des taux des diverses tumeurs solides n'a pas été démontrée depuis l'accident en Biélorussie, en Russie et en Ukraine. Le principal effet détecté jusqu'à présent, attribuable à l'accident de Tchernobyl, reste l'excès marqué de cancers de la thyroïde chez l'enfant. Il a été rapporté pour la première fois en 1990, et a augmenté régulièrement depuis. L'extension réelle de cette épidémie de cancers de la thyroïde est mal connue mais elle continue de progresser, en particulier chez les enfants qui avaient moins de 5 ans au moment de l'accident.

Entre 1986 et 1997, la Biélorussie, la Russie (Briansk) et l'Ukraine (dans les régions les plus contaminées) ont dénombré, sur leurs territoires, plus de 1000 cas de cancers thyroïdiens chez les enfants âgés de moins de 15 ans. Environ 1400 cas ont été dénombrés sur la même période chez les enfants âgés de 0 à 17 ans au moment de l'accident et donc âgés en 1997 de 11 à 28 ans. Suivant les régions, ces nombres correspondent à une multiplication par 10 à 100 du taux naturel de cancer de la thyroïde chez les enfants, pour lesquels cette maladie est normalement très rare. Il faut noter qu'en Biélorussie, seuls quatre cas de cancers ont été recensés chez les enfants conçus bien après l'accident et donc non exposés à de l'iode radioactif.

Par ailleurs, une étude épidémiologique réalisée en Biélorussie en collaboration avec le National Cancer Institute (Etats-Unis) et publiée en 1998 a montré une forte association statistique entre la fréquence du cancer de la thyroïde chez l'enfant et l'estimation des doses à la thyroïde dues à l'exposition à l'iode 131, apportant ainsi un élément déterminant dans la compréhension de l'épidémie.

Autres affections thyroïdiennes

Dans le cadre d'une coopération menée, de 1991 à 1996, par l'association japonaise Sasakawa avec la Biélorussie, l'Ukraine et la Russie, environ 120 000 enfants vivant dans les zones affectées par les retombées de l'accident de Tchernobyl ont subi un dépistage médical. Une fréquence accrue de diverses pathologies thyroïdiennes a été constatée dans les régions les plus contaminées par l'accident. Le plus grand nombre de nodules de la thyroïde, bénins ou malins, a été observé dans la région de Gomel (Biélorussie), la plus contaminée. La fréquence la plus élevée de thyroïdites, affections inflammatoires de la thyroïde, a également été constatée dans cette région.

Malformations congénitales

L'un des grands soucis exprimés par la population affectée par l'accident est l'éventualité d'effets sur la descendance. La crainte serait que l'irradiation subie par les enfants qui étaient en cours de gestation en avril 1986 se soit traduite, soit par des malformations à la naissance, soit par des retards mentaux. Dans les pays de l'ex-URSS les plus exposés, un excès d'anomalies congénitales à l'issue de la grossesse est suspecté mais non confirmé. Les observations sont contradictoires : mais si cette augmentation existait, elle ne serait pas d'une grande ampleur ; sinon elle aurait été déjà clairement détectée.

Par exemple, les résultats publiés par le registre de malformations de Biélorussie suggèrent une augmentation de certains types d'anomalies : polydactylies, malformations multiples et anomalies de membres (luxation congénitale de la hanche par exemple). Mais les données présentées souffrent de nombreuses lacunes méthodologiques et ne permettent pas de conclure. Dans le cadre de "l'Initiative franco-allemande" (cf. *chapitre VI*), l'IPSN a entrepris un projet de collaboration avec le Registre de Malformations de Biélorussie pour vérifier ces résultats.

Leucémies

L'ensemble des études menées sur la population ne montrent pas d'augmentation significative du taux des leucémies par rapport à la période antérieure à l'accident, y compris dans les zones les plus contaminées. Un excès éventuel serait toutefois très difficile à mettre en évidence compte tenu du nombre des personnes irradiées et de la disparité des doses reçues.

Une étude descriptive sur les enfants biélorusses a été effectuée à partir des données collectées par le Centre d'Hématologie et de Transfusion Sanguine de Minsk, dans le cadre de l'Initiative franco-allemande.

Cette étude, qui porte sur la période 1982-1995, ne montre pas d'augmentation de la fréquence des leucémies chez l'enfant après l'accident de Tchernobyl et ce, quel que soit le niveau de contamination des régions considérées¹. Les résultats indiquent que la fréquence annuelle des leucémies de l'enfant fluctue, sur la période 1982-1995, entre 2 et 7 pour 100 000 enfants.

¹ (document GRS à paraître en 1999)

Ce taux est similaire à celui des registres français. La fréquence des leucémies après l'accident dans la région la plus fortement contaminée (Gomel) n'est pas significativement différente de celles des autres régions moins contaminées. Ces observations n'excluent pas que des excès de leucémie de l'enfant puissent exister. Mais si de tels excès existent, ne pas les détecter indique qu'ils sont faibles. Par ailleurs, l'absence d'excès visible de leucémies chez l'enfant, y compris chez les enfants exposés *in utero* dans les territoires les plus fortement contaminés, rend peu vraisemblable l'existence d'excès dans des zones beaucoup moins contaminées, en Europe de l'Ouest et du Sud, notamment.

2. La population des « liquidateurs »

Après l'accident, des mesures d'urgence ont été prises pour maîtriser les rejets radioactifs, dégager les décombres du réacteur, construire le « sarcophage », déblayer, décontaminer, construire des routes, enfouir les débris divers... Ces interventions ont été menées par environ 600 000 « liquidateurs » entre 1986 et 1990. Ce personnel comprenait des opérateurs de la centrale, des sapeurs-pompiers, des militaires et des civils. Ces intervenants n'ont été qu'exceptionnellement équipés de dosimètres.

Le suivi médical des « liquidateurs » est difficile car ils sont de nationalités différentes (russes, ukrainiens, estoniens...) et sont éparpillés dans les différentes républiques issues de l'ancienne Union soviétique.

Les deux groupes les plus particulièrement étudiés sont celui des « liquidateurs » estoniens (4 833 personnes) et celui des « liquidateurs » russes (environ 168 000 personnes). Des excès de leucémies et de cancers de la thyroïde ont été rapportés en 1997 chez les « liquidateurs » russes, mais ne sont actuellement pas confirmés. Chez les « liquidateurs » estoniens, la seule observation particulière qui a été établie est un taux de suicide nettement plus important que celui rencontré dans la population générale.

« Liquidateurs » estoniens

Dans le cadre d'une étude commune du National Cancer Institute (Etats-Unis) et d'équipes de recherche suédoise, finlandaise et estonienne, la cohorte des « liquidateurs » estoniens a été reconstituée de façon quasi complète : elle comporte 4833 hommes. L'analyse des doses reçues a été faite en confrontant les doses officiellement attribuées et les résultats de tests biologiques. De nombreuses incertitudes pèsent sur la fiabilité des doses officielles, mais la confrontation avec les premiers tests donne des résultats assez cohérents. La dose moyenne reçue en quelques mois par ces personnes est d'environ 100 millisieverts.

Les doses officielles des « liquidateurs » estoniens, reçues en plusieurs semaines ou mois, atteignent jusqu'à 605 millisieverts (mSv). La moyenne est de 109 mSv et des doses supérieures à 250 mSv sont attribuées à 1,4% des membres de la cohorte.

Il est possible que les doses reçues aient été plus importantes que celles officiellement enregistrées, ce d'autant plus que les mesures élémentaires de protection n'ont souvent pas été respectées. Pour vérifier l'ordre de grandeur des doses cumulées réellement reçues, des bioindicateurs dosimétriques ont été étudiés : il s'agit de mesures sur des cellules sanguines permettant de détecter divers types d'anomalies dont on sait qu'elles peuvent être induites par les rayonnements ionisants. Les résultats obtenus suggèrent que la dose moyenne reçue par les « liquidateurs » estoniens est probablement peu supérieure à 100 mSv.

Sur la période 1986-1993, on n'observe ni augmentation des cancers ni augmentation de la mortalité globale dans ce groupe. Par ailleurs, aucune association entre les indicateurs d'exposition aux rayonnements ionisants et la fréquence des nodules bénins de la thyroïde n'a été constatée.

En revanche, un excès de suicides (50 % par rapport à la population) est signalé. Chez ces « liquidateurs », le suicide est la troisième cause de mortalité après les accidents et empoisonnements et les maladies de l'appareil circulatoire. Ceci constitue un élément de plus pour penser que la détresse psychologique est une des principales conséquences de l'accident de Tchernobyl en termes de santé publique.

«Liquidateurs» russes

Beaucoup plus important, le groupe des «liquidateurs » russes a été reconstitué à partir du Registre National Russe Médical et Dosimétrique. Son suivi est plus difficile : en 1992, 284 000 «liquidateurs » y étaient enregistrés mais en janvier 1996, le registre ne contenait des informations que sur 168 000 d'entre eux, les autres étant perdus de vue. Sur l'ensemble, environ 78 000 sont intervenus sur le site en 1986, 59 000 en 1987 et 31 000 entre 1988 et 1990. La dose moyenne externe reçue dans cette cohorte, calculée à partir des doses officielles, est de 108 mSv (4,2 % des «liquidateurs » ayant reçu plus de 250 mSv). Pour les « liquidateurs » ukrainiens, 20 % de ceux ayant travaillé en 1986 ont une dose officielle supérieure à 250 mSv et 2 % de ceux ayant travaillé en 1987 ont une dose dépassant 250 mSv.

Pour la période 1990-1993, un excès de leucémies a été mentionné dans ce groupe, par comparaison à la population générale masculine. Mais les modalités de détection étaient plus poussées et le risque a vraisemblablement été surestimé. Ce résultat a ensuite été démenti par les mêmes auteurs qui ont refait leur analyse avec une méthode plus rigoureuse.

3. Les populations du reste de l'Europe

En 1998, aucune évolution des cancers solides et des leucémies pouvant être attribuée à l'accident de Tchernobyl n'a été constatée en Europe. Compte tenu des faibles niveaux des doses moyennes reçues par les populations, la détection d'excès éventuels de cancers radio-induits serait, en tout état de cause, difficilement réalisable.

Leucémies et cancers chez l'enfant

Grèce. Allemagne

La revue *Nature* a publié en 1996 un article qui constatait une augmentation de 160 % des leucémies chez les enfants âgés de moins d'un an en Grèce et nés dans l'année suivant l'accident. Les auteurs attribuaient cette augmentation à l'exposition en cours de grossesse aux retombées de l'accident de Tchernobyl. Une étude similaire effectuée en ex-RFA, et publiée en mai 1997 dans la même revue, a aussi constaté un excès de 50 % de leucémies dans un groupe équivalent d'enfants allemands. Mais, dans le cas de l'Allemagne, les auteurs ont écarté tout lien avec les retombées de l'accident de Tchernobyl.

Deux remarques peuvent être faites concernant les études grecque et allemande :

- les résultats de l'étude grecque ne sont pas retrouvés dans une étude réalisée à l'échelle européenne par le Centre International de Recherche Contre le Cancer (CIRC) et dans d'autres études effectuées dans des pays où les niveaux de contamination ont été plus importants, notamment en Europe de l'Est et Europe centrale ;
- les doses reçues en cours de grossesse sont faibles (< 0,1 mSv) ; il est donc peu probable qu'un excès de leucémies attribuable aux rayonnements ionisants puisse être observé chez l'enfant dans ces conditions.

Suède

En Suède, une étude des cancers sur la tranche d'âge 0-19 ans a été effectuée pour la période 1978-1992 dans les six comtés les plus contaminés après l'accident de Tchernobyl. La dose sur la première année après l'accident varie entre 1 et 4 mSv, alors que sur l'ensemble de la Suède, la dose individuelle moyenne sur 50 ans, due à Tchernobyl, est évaluée à 0,7 mSv.

746 cas de cancers ont été enregistrés, dont 203 tumeurs cérébrales et 151 leucémies aiguës. La fréquence des tumeurs cérébrales augmente sur toute la période 1978-1992 de façon significative, mais ce phénomène est observé depuis 30 ans en Suède ainsi qu'aux Etats Unis.

Il n'y a pas d'augmentation nette sur la période après l'accident. L'incidence des leucémies aiguës a diminué sur la période 1978-1992, sans relation avec le niveau d'exposition dû à l'accident de Tchernobyl. Cette étude confirme les résultats d'autres études réalisées en Suède et en Finlande.

Anomalies congénitales

Une étude a été effectuée en Bavière par une équipe d'épidémiologistes de l'Office Fédéral de Radioprotection sur la fréquence des malformations congénitales à la naissance, entre 1984 et 1987. L'analyse des données collectées dans des hôpitaux dotés d'unités de pédiatrie, de chirurgie pédiatrique et de cardiologie pédiatrique ne montre pas d'excès d'anomalies congénitales en rapport avec l'exposition aux rayonnements ionisants.

4. Questions sur les cancers de la thyroïde

Quelles sont les causes du cancer de la thyroïde ?

Les scientifiques ne savent pas encore ce qui provoque la plupart des cancers de la thyroïde. Néanmoins, un facteur de risque bien établi de ce cancer est l'exposition, durant l'enfance, à des rayonnements ionisants. Dans les années 50, de nombreux enfants ont été traités par des rayons X pour des affections des amygdales, du thymus et pour des affections parasitaires du cuir chevelu. Ils ont subi, durant ces traitements, une irradiation de la thyroïde : les études épidémiologiques ont montré que le risque de développer plus tard un cancer de la thyroïde était augmenté pour des doses de rayons X à la thyroïde de l'ordre de 100 mGy . A des doses inférieures, une augmentation du risque n'a pas été observée mais ne peut pas être exclue.

Des études ont aussi été réalisées pour évaluer le risque de cancer lors d'expositions, dans l'enfance, à l'iode 131. Elles ont porté sur des enfants exposés aux retombées des tests atmosphériques d'armes nucléaires réalisés aux Etats Unis dans les années 50, par exemple dans le Nevada, ou encore sur des enfants soignés avec de l'iode 131. Ces études n'ont, pour le moment, pas permis de conclure à l'existence ou l'absence d'une augmentation de risque de cancer thyroïdien chez ces enfants.

Par ailleurs, une étude épidémiologique a été menée chez des enfants qui résidaient près du site nucléaire américain de Hanford. Ils ont reçu des doses à la thyroïde de l'ordre de 190 mGy suite à des contaminations internes par de l'iode radioactif. Cette étude n'a pas mis en évidence d'augmentation significative de risque.

Les études en cours dans les pays les plus contaminés par l'iode 131 à la suite de l'accident de Tchernobyl (Biélorussie, Russie, Ukraine) sont donc très importantes. Elles devraient notamment permettre de mieux comprendre l'importante augmentation de la fréquence du cancer de la thyroïde constatée dans ces pays.

Quelle est la fréquence spontanée du cancer de la thyroïde en France ?

Chez l'enfant, le cancer de la thyroïde est très rare, entre 0,2 et 3 cas pour 1 million d'enfants par an en France et dans la plupart des pays, y compris la Biélorussie, l'Ukraine et la Russie, avant l'accident de Tchernobyl. Chez l'adulte, le cancer de la thyroïde est environ 10 à 100 fois plus fréquent. Sa fréquence annuelle est en effet de 3,1 cas pour 100 000 chez l'homme et 5,7 cas pour 100 000 chez la femme (en 1995, données du réseau FRANCIM (réseau de registres de cancers en France)). Le cancer de la thyroïde représente un peu plus de 1 % de l'ensemble des cas de cancer qui apparaissent chaque année dans la population générale.

Qu'est-ce que la glande thyroïde ?

La glande thyroïde se trouve dans le cou, en dessous de la pomme d'Adam. Elle fabrique des hormones, les hormones thyroïdiennes, qui permettent de réguler la pression sanguine, la fréquence cardiaque et la température du corps. Les hormones thyroïdiennes sont aussi indispensables pour assurer la croissance et le développement des enfants. La glande thyroïde utilise l'iode, un élément minéral qui se trouve dans l'alimentation, pour fabriquer les hormones thyroïdiennes.

Quels sont les symptômes de cancer de la thyroïde et comment est-il détecté ?

Le symptôme le plus fréquent est le nodule qui peut être senti ou palpé au niveau du cou. Les autres symptômes sont rares, en particulier, la douleur est rarement rencontrée au début de la maladie. Le médecin peut détecter un cancer de la thyroïde en palpant le cou et sentir un nodule ou des ganglions cervicaux. Une échographie permet aussi de détecter et de confirmer la présence d'un nodule au niveau de la thyroïde. Tous les nodules ne sont pas cancéreux : il s'agit le plus souvent de kystes ou de tumeurs bénignes.

Comment traite-t-on un cancer de la thyroïde ?

La chirurgie constitue la base majeure du traitement. Elle est habituellement suivie d'un traitement complémentaire par de l'iode 131 à forte dose qui permet d'éliminer les cellules cancéreuses qui ne l'auraient pas été par la chirurgie et d'éviter que se produisent des métastases. La plupart des cas de cancer de la thyroïde ont un excellent pronostic lorsqu'ils ont été correctement traités. Cependant, les patients doivent ensuite suivre un traitement pour remplacer les hormones thyroïdiennes et être suivis au plan médical pendant de nombreuses années.

Y a-t-il plus de cancers de la thyroïde en France depuis l'accident de Tchernobyl ?

Une tendance à l'augmentation des cancers de la thyroïde dans la population générale adulte est constatée depuis déjà plus de 20 ans en France à partir des registres des cancers qui existent dans une dizaine de départements. L'accident de Tchernobyl en 1986 ne semble pas avoir eu d'influence visible sur cette tendance. Entre 1975 et 1995, la fréquence des cancers de la thyroïde en France a été multipliée par 4 chez l'homme et par près de 3 chez la femme selon un rapport du réseau FRANCIM (réseau de registres de cancers). Entre 1986 et 1995, la fréquence a été multipliée par 2,4 chez l'homme et 1,7 chez la femme. Les raisons de cette augmentation ne sont pas bien connues. Elle pourrait être due à une plus large utilisation de techniques de détection plus performantes de ce cancer (échographie, par exemple).

Quels sont les risques de cancer de la thyroïde chez l'enfant en France après Tchernobyl ?

En France, la contamination la plus importante a été mesurée dans les régions de l'Est de la France. Mais elle était, en moyenne, plus de 100 fois inférieure aux niveaux observés dans les régions proches du réacteur accidenté.

L'IPSN a calculé, pour l'Est de la France, la dose moyenne reçue par les enfants à la thyroïde du fait de l'accident de Tchernobyl : elle a été de l'ordre de 10 mGy. Elle atteint 16 mGy dans les départements les plus touchés. Ces doses sont environ 10 à 1000 fois plus faibles que les doses reçues par les enfants ayant subi une irradiation médicale de la tête et du cou par des rayons X, qui ont été suivis sur le plan épidémiologique et pour lesquels une augmentation du risque a été établie (*cf. ci-dessus*).

Les effets de telles doses sur les risques de cancer de la thyroïde ne sont pas bien connus : si le risque existe à ces niveaux, il est vraisemblablement faible et en deçà des possibilités de détection d'études épidémiologiques bien conduites.

5. Actions de l'IPSN autour de Tchernobyl

- L'IPSN participe au suivi à long terme des « liquidateurs » afin de mieux apprécier le risque de cancer attribuable aux rayonnements ionisants dans cette population. En collaboration étroite avec le Département de l'Energie américain (DOE) et le National Cancer Institute (NCI, Etats-Unis), un protocole d'étude épidémiologique a été établi afin d'estimer les facteurs de risque des leucémies ou lymphomes chez les « liquidateurs » ukrainiens. L'étude sera effectuée à partir du Registre d'Etat de Tchernobyl qui contient les dossiers de 200 000 « liquidateurs ».
- Deux projets comparables, soutenus par l'Union Européenne sous la responsabilité scientifique du Centre International de Recherche sur le Cancer (Lyon, France), ont été mis en place en Biélorussie et en Russie. Les experts de l'IPSN y participent dans le domaine de l'évaluation dosimétrique.
- Dans le cadre de l'Initiative franco-allemande pour Tchernobyl, l'IPSN et la GRS s'efforcent d'établir des collaborations scientifiques dans trois domaines : les malformations congénitales, la nutrition, les cancers.
 - Concernant les malformations congénitales, une collaboration avec l'Institut des Maladies Héritaires à Minsk (Biélorussie) a débuté en 1998 associant l'IPSN, EUROCAT (European Registration of Congenital Anomalies) et l'Institut Européen des Génomutations (Lyon). La collaboration aura pour objectifs de valider les données sur les anomalies congénitales enregistrées en Biélorussie avant et après l'accident de Tchernobyl et de mettre en place d'autres études pour vérifier si des augmentations de divers types d'anomalies congénitales, en rapport avec l'accident, peuvent être ou non détectées.
 - Concernant l'alimentation, une collaboration entre l'IPSN et l'Institut Scientifique et Technique de l'Alimentation et de la Nutrition (Paris) et l'Institut National de Nutrition de Kiev (Ukraine) a débuté en 1999.
 - Concernant les cancers, des discussions ont lieu actuellement avec divers instituts en Russie, Biélorussie et Ukraine pour étudier la fréquence des cancers de la thyroïde chez l'adulte ; il y a en effet une augmentation apparente de la fréquence des cancers de la thyroïde dans la population adulte après l'accident. Elle est vraisemblablement due au meilleur dépistage des petites tumeurs cancéreuses.

L'objectif général du projet "Santé" de l'Initiative franco-allemande est de valider les données engrangées depuis plusieurs années dans différentes bases, de décrire et harmoniser les méthodes employées pour les constituer et de favoriser la diffusion des résultats auprès des scientifiques et surtout auprès du public et des populations affectées par l'accident.

Intérêt de l'épidémiologie post-Tchernobyl

La réalisation d'études épidémiologiques à la suite de l'accident de Tchernobyl a deux justifications importantes :

- le souci d'améliorer les connaissances sur les effets des rayonnements ionisants et d'une catastrophe de cette ampleur ;
- la nécessité d'informer sur les effets sanitaires et médicaux à court, moyen et long terme les populations directement victimes ainsi que les autorités qui ont à répondre à leurs interrogations.

Les connaissances actuelles sur les effets des rayonnements ionisants chez l'homme viennent essentiellement des études épidémiologiques effectuées chez les survivants des bombardements de Hiroshima et Nagasaki.

Cependant ces études ont certaines limites :

- elles ne fournissent des informations que sur les effets d'expositions quasi instantanées à des doses élevées et non sur ceux des expositions à de faibles doses (< 100-200 mSv) comme dans les territoires contaminés par l'accident de Tchernobyl ;
- la population japonaise victime d'Hiroshima-Nagasaki présente des caractéristiques spécifiques par rapport aux autres populations (mode de vie, fréquence de certaines tumeurs...).

L'étude des populations victimes de l'accident de Tchernobyl devrait notamment permettre d'améliorer les connaissances scientifiques sur les effets d'expositions à de faibles doses et les interactions des rayonnements ionisants avec d'autres facteurs (environnementaux ou génétiques).

Par ailleurs, informer le public et gérer les conséquences de l'accident sur la santé nécessitent de recourir à la fois à l'épidémiologie descriptive et à l'épidémiologie analytique.

Les études descriptives étudient l'évolution des fréquences de certaines maladies dans le temps et leurs variations dans l'espace. Elles fournissent un ordre de grandeur des problèmes de santé publique après un accident et donnent l'alerte sur des problèmes non prévus. Après l'accident de Tchernobyl, les études descriptives ont porté sur les différents types de cancers et les anomalies congénitales.

Les études analytiques contribuent à établir des relations de cause à effet entre un facteur et une maladie. Leur mise en œuvre requiert la collecte de données individuelles. Pour fournir des résultats interprétables lors d'expositions à de faibles doses, elles doivent respecter un certain nombre de conditions :

- couvrir un nombre important de personnes ;
- recenser les cas de maladie de façon complète ;
- se baser sur des estimations de doses individuelles les plus précises possibles.

Les études analytiques en cours après l'accident de Tchernobyl concernent essentiellement :

- l'épidémie de cancers de la thyroïde initialement détectée chez les enfants dans les populations de Biélorussie, Ukraine et Russie: les études devraient permettre de mieux préciser le potentiel carcinogène de l'iode 131 chez l'homme et le rôle des interactions avec l'environnement (carence iodée) et les facteurs de sensibilité individuelle (facteurs génétiques par exemple) ;
- la population des « liquidateurs » pour laquelle les effets d'expositions à faibles débits de dose et à des types de rayonnements différents devraient pouvoir être mieux appréhendés.

IV. L'IMPACT EN FRANCE DES RETOMBÉES DE L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL

- *En 1997, l'IPSN avait pu réaliser la première synthèse complète concernant l'impact radioécologique et dosimétrique en France des retombées de l'accident de Tchernobyl.*
- *En 1998, il a confirmé ses estimations de doses pour la population en les confrontant à 60 000 résultats de contrôles médicaux faits sur les travailleurs des sites nucléaires.*

La contamination radioactive du sol et des aliments en France a été surveillée et étudiée depuis 1986 par plusieurs organismes publics et privés. Toutefois, avant 1997, aucune synthèse globale de la connaissance du sujet n'avait été produite. La découverte, en 1997, de viande de sanglier contaminée dans les environs de Saint-Jean d'Ormont, dans les Vosges, le rappel de l'existence de points de contamination en altitude, notamment dans le parc naturel du Mercantour, ont montré que cette question suscitait toujours de nombreuses inquiétudes, dues principalement à l'absence d'une information claire et complète.

Devant ce constat, la Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires (DSIN) et la Direction Générale de la Santé (DGS) ont décidé d'établir la synthèse des informations disponibles sur le territoire national, avec l'aide de l'IPSN et de l'OPRI. L'objectif principal était de produire un document rassemblant et interprétant l'ensemble des données disponibles sur la contamination du sol et des aliments consécutive à l'accident de Tchernobyl, et fournissant une évaluation de l'impact sanitaire qui en résulte, en focalisant l'étude sur les cas de plus forte concentration. Cette étude a été réalisée par l'IPSN, grâce à l'utilisation combinée des nombreux résultats de mesures et de la modélisation, avec notamment l'utilisation du logiciel ASTRAL (conçu et développé par l'Institut pour évaluer et prévoir les conséquences radiologiques d'un accident).

Le rapport, aujourd'hui publié aussi sous forme de livre aux Editions de Physique², a été présenté en décembre 1997 au Conseil Supérieur de la Sûreté et de l'Information Nucléaires (CCSIN), lequel en a alors tiré les conclusions et l'avis suivants :

« **Sur la majeure partie du territoire français, la contamination provenant des retombées de Tchernobyl a décru au point qu'il est désormais de plus en plus difficile de la mettre en évidence.** La plupart du temps, seul le césium 137 est encore détectable, mais à des niveaux souvent inférieurs à ceux mesurés avant l'accident, qui résultaient pour l'essentiel des retombées des essais dans l'atmosphère d'armes atomiques.

Toutefois, **certaines zones et certains produits présentent des activités nettement supérieures à la moyenne française** : ce sont les zones qui ont été très arrosées (pluies supérieures à 20 millimètres) entre le 1^{er} et le 5 mai 1986, les zones d'altitude et les zones forestières, et ce sont les produits forestiers (champignons, gibier et dans une moindre mesure les baies).

² Renaud Ph. et al, « *Conséquences Radioécologiques et Dosimétriques en France de l'accident de Tchernobyl* », Rapport de l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire n° 97-03 et livre paru aux Editions de Physique, avril 1999.

Certains champignons et certaines espèces de gibier sont encore susceptibles aujourd'hui de dépasser ponctuellement la valeur de 600 Bq/kg dans le tiers Est de la France pour atteindre jusqu'à des valeurs de l'ordre de 2000 à 3000 Bq/kg, la concentration moyenne en césium 137 des champignons dans l'ensemble du pays restant voisine de 100 Bq/kg.

Compte tenu de la décroissance lente de la contamination en césium 137 de ces produits, liée principalement à la période radioactive du césium 137, **la contamination des produits forestiers devrait perdurer plusieurs dizaines d'années.**

Les zones les plus contaminées (>50000 Bq/m²) détectées jusqu'à présent présentent deux caractéristiques communes : elles sont de **taille très réduite** pour les niveaux de radioactivité les plus élevés et sont **peu accessibles** et donc peu fréquentées sinon par les chasseurs et les randonneurs.

Les variations géographiques et les variations entre espèces rendent donc illusoire toute démarche de recensement détaillée systématique des zones touchées par les retombées de l'accident de Tchernobyl en France. Elles justifient par contre les actions de surveillance menées par un certain nombre d'organismes et notamment les **plans de surveillance de la contamination radioactive des aliments** coordonnés par le ministère de l'Agriculture, qui comportent plus particulièrement la surveillance des espèces les plus sensibles. Afin de compléter les données existantes, des campagnes ciblées dans certaines zones de l'Est de la France (Jura, Vosges, Alpes du Nord,...) seront poursuivies.

La dose moyenne reçue par les populations françaises estimée pour 1986 est comprise entre moins de 0,025 mSv dans l'Ouest et 0,4 mSv dans l'Est. En 1997, cette dose annuelle est de l'ordre de 0,001 à 0,015 mSv, ce qui est **cent à mille fois inférieur aux doses dues à la radioactivité naturelle.** Cette dose moyenne devrait encore diminuer.

Les doses équivalentes à la thyroïde en 1986 ont pu également être évaluées entre 0,5 et 2 mSv en moyenne, avec des valeurs maximales pouvant atteindre de l'ordre de 15 mSv pour les enfants de 5 ans³.

Pour des cas particuliers d'exposition, les doses calculées atteignent des valeurs **de l'ordre de 1,5 mSv en 1986 et de 1 mSv en 1997** : elles correspondent à l'hypothèse extrême d'une présence prolongée à l'air libre sur des zones contaminées et d'une consommation quasi-exclusive des aliments les plus contaminés aux époques considérées (produits laitiers en 1986, produits forestiers en 1997). Ainsi, **un nombre très limité de personnes de l'Est de la France,** ayant un mode de vie de ce type, pourraient recevoir des doses annuelles de l'ordre de quelques dixièmes de millisieverts. Elles pourraient faire l'objet d'un contrôle visant à déterminer leur charge corporelle en césium 137, si elles en expriment le souhait.

Par ailleurs, il pourrait paraître justifié d'adopter une **démarche épidémiologique portant sur les cancers de la thyroïde de l'enfant dans quelques zones choisies de l'Est de la France** (Jura et Corse, par exemple), afin de répondre aux interrogations multiples de la population et du corps médical, bien que les doses estimées semblent devoir conduire à un excès de risque vraisemblablement faible et non observable.

En revanche, **rien ne paraît justifier une approche épidémiologique globale** portant sur l'ensemble de la France. En effet, il paraît peu probable qu'une telle démarche puisse faire ressortir des taux significatifs d'une quelconque pathologie : là non plus, les doses les plus importantes ne semblent pas devoir conduire à un excès de risque observable ; les personnes qui les ont reçues sont certainement isolées ; enfin, de nombreuses autres causes potentielles sont susceptibles de rentrer en ligne de compte (tabac, pollution...). »



³ Une dose équivalente de 20 mSv engagée à la thyroïde correspond à une dose efficace au corps entier de 1 mSv

Extrait du rapport IPSN 97-03
« Conséquences radiologiques et dosimétriques de l'accident de Tchernobyl
en France »

1. Dépôts et « activités surfaciques rémanentes » en 1986

Exception faite des gaz rares et des radionucléides à vie très courte, les principaux radionucléides issus du nuage de Tchernobyl ayant donné lieu à des dépôts étaient les suivants : Césium 137 (^{137}Cs), Césium 134 (^{134}Cs), Ruthénium 103 (^{103}Ru), Ruthénium 106 (^{106}Ru) et Iode 131 (^{131}I). Entre 65 à 85 % des dépôts se sont faits par temps de pluie. L'estimation des dépôts sur les sols agricoles par département a été établie à partir des mesures effectuées dans les sols, le lait et les légumes-feuilles en 1986. Les résultats montrent qu'il existe une diminution des « Activités Surfaciques Rémanentes » (ASR) d'Est en Ouest, définissant quatre zones, la plus contaminée s'étendant de part et d'autre d'une ligne Gard / Moselle.

- Dans cette zone, les ASR moyennes en ^{137}Cs allaient de 3 000 à 6 000 Bq/m² et celles en ^{131}I de 20 000 à 50 000 Bq/m². Dans la zone la moins contaminée de France, à l'Ouest d'une ligne Haute-Garonne / Seine-Maritime, les ASR étaient inférieures à 750 Bq/m² pour le ^{137}Cs et 5 000 Bq/m² pour le ^{131}I .
- Les ASR ont pu être disparates au sein d'une même zone en raison de trois facteurs : des précipitations locales très importantes, la présence de la forêt et l'altitude.
- Sur les régions de l'Est de la France où les précipitations ont dépassé 20 mm entre le 1^{er} et le 5 mai 1986, les ASR ont pu atteindre 10 000 à 12 000 Bq/m² en ^{137}Cs sur les prairies et les surfaces agricoles.
- En forêt, les ASR ont pu être jusqu'à deux fois plus fortes qu'en terrain découvert. En montagne, les ASR augmentent avec l'altitude, vraisemblablement en liaison avec les précipitations. Dans les Alpes du Sud, les dépôts ont pu être jusqu'à 5 fois plus intenses à 2000 m qu'à 200 m.
- Ces facteurs (précipitation locale intense, forêt et altitude) ont pu se combiner. Ainsi des ASR comprises entre 20 000 et 37 000 Bq/m² ont été relevées pour le ^{137}Cs dans les Vosges, les Alpes, le Jura et le Bas-Rhin.
- Enfin, des phénomènes de ruissellement sont probablement à l'origine de surconcentrations sur des surfaces très réduites : pour le ^{137}Cs , le maximum relevé par l'IPSN étant 314 000 Bq/kg de sol sec à Isola 2000 (A-Maritimes).

2. Activités des productions agricoles, des produits naturels et de l'eau de boisson

Les concentrations de césium et d'iode radioactifs dans les produits agricoles ont atteint des maxima immédiatement après les dépôts, puis ont décliné avec des dynamiques variables.

- Pour le lait et la viande, les activités massiques moyennes en ^{137}C début mai 1986 étaient de l'ordre de la centaine de Bq/kg dans tout l'Est du pays. Les maxima observés pour la viande pendant l'été 1986 ont été d'environ 1000 Bq/kg. A l'entrée de l'hiver, elles étaient redescendues à une dizaine de Bq/kg pour la viande comme pour le lait.
L'administration de fourrages récoltés au printemps a pu faire remonter légèrement les concentrations pendant l'hiver 86-87. Les activités massiques ont ensuite diminué (quelques Bq/kg dès 1987). La décroissance a été plus lente dans le sud-est que dans le reste du pays. Pour l'iode 131, dans la même zone, les concentrations moyennes ont pu atteindre plusieurs centaines de Bq/kg mais la décroissance a été bien plus rapide, avec une période effective d'environ 5 jours.
- Les légumes-feuilles ont été les végétaux les plus contaminés. Les concentrations en ^{137}Cs ont atteint quelques centaines de Bq/kg dans les jours qui ont suivi les dépôts, notamment dans le nord-est ; pour le ^{131}I , les valeurs aux mêmes endroits ont atteint quelques milliers de Bq/kg. Dans les deux cas, la

décroissance a été très rapide (quelques Bq/kg en ^{137}C et disparition du ^{131}I dès juillet 1986). Pour les autres végétaux, les concentrations ont été plus faibles, mais la dynamique de décroissance plus lente, notamment pour les fruits, en raison du stockage de radiocésiums dans le bois des arbres. Actuellement, toutes les concentrations se trouvent en dessous de celles mesurées avant l'accident.

- Les produits forestiers, tels que le gibier et les champignons, présentent des niveaux de contamination plus élevés que les produits agricoles. En 1986, l'activité mesurée dans les champignons était 5 à 10 fois plus forte que celle enregistrée dans le lait ou les céréales. Mais surtout, la décroissance dans le temps est beaucoup plus lente ; les teneurs en ^{137}Cs des champignons et du gibier ont peu varié depuis 1986. Ponctuellement, elles peuvent encore dépasser les limites de commercialisation fixées le 30 mai 1986 à 600 Bq/kg, pour gérer les conséquences de l'accident de Tchernobyl.
- L'activité volumique des eaux de boisson issues du traitement des eaux de surface, rivières et lacs, a pu atteindre 0,1 Bq/l dans les premiers jours de mai 1986, avant que le renouvellement de l'eau n'entraîne une décroissance significative et rapide de cette activité.

3. Doses

Les évaluations dosimétriques faites ici portent sur l'année 1986, la décennie 1987-1996 et les années à venir. Ne sont considérées que les doses efficaces engagées, sauf pour l'année 1986 où a été évaluée aussi la dose à la thyroïde. Les radionucléides retenus sont ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , auxquels sont ajoutés ^{132}Te et ^{136}Cs pour les doses liées à l'immersion dans le panache. En ce qui concerne les expositions moyennes, les hypothèses de calcul prennent en compte un scénario réaliste correspondant au mode de vie le plus répandu. Le régime alimentaire, compte tenu de la taille des régions concernées, est basé sur une hypothèse d'autarcie complète.

En 1986, la dose efficace engagée moyenne pour un individu résidant dans l'Est de la France a été estimée entre 0,1 et 0,4 mSv. L'ingestion y contribue pour 60 % à 70 % et l'exposition externe pour 20 % à 35 %. Le reste, moins de 10 %, provient de l'exposition au rayonnement du panache et à l'inhalation des aérosols qu'il contient. La dose interne résulte à 50 % d'ingestion de lait et de viande.

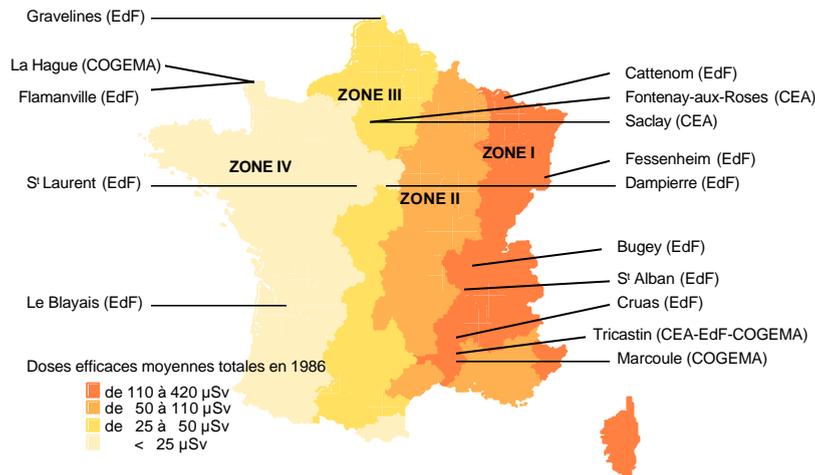
Parmi les radionucléides en cause, le ^{131}I compte pour 20 % à 25 % du total, le reste étant essentiellement imputable aux ^{137}Cs et ^{134}Cs . Toujours sur la base du mode de vie le plus répandu, la dose équivalente à la thyroïde a été estimée entre 0,5 et 2 mSv pour un adulte et jusqu'à 16 mSv pour un enfant de 5 ans (une dose équivalente de 20 mSv engagée à la thyroïde correspond à une dose au corps entier de 1 mSv). Le cas de personnes vivant sur les zones les plus touchées par les dépôts et se nourrissant principalement de leurs productions ou de produits locaux a été étudié. La dose efficace engagée en 1986 pour ces personnes pourrait atteindre 1,5 mSv. La consommation d'eau n'a jamais pu conduire à une dose significative au regard de celle due aux autres aliments.

Pendant la décennie suivante, de 1987 à 1996, la dose efficace engagée cumulée pour l'Est de la France peut être estimée entre 0,2 et 0,7 mSv. L'irradiation externe compte pour 65 % à 80 % de ce total, le reste étant imputable à l'ingestion. Le ^{137}Cs est responsable de près de 80 % des doses, le complément étant dû au ^{134}Cs .

Ainsi, la dose efficace engagée individuelle de mai 1986 à aujourd'hui est estimée entre 0,3 et 1,2 mSv dans l'Est de la France. Actuellement, la dose efficace engagée annuellement est d'environ 10 à 15 μSv . Sa diminution au cours des années à venir sera très lente.

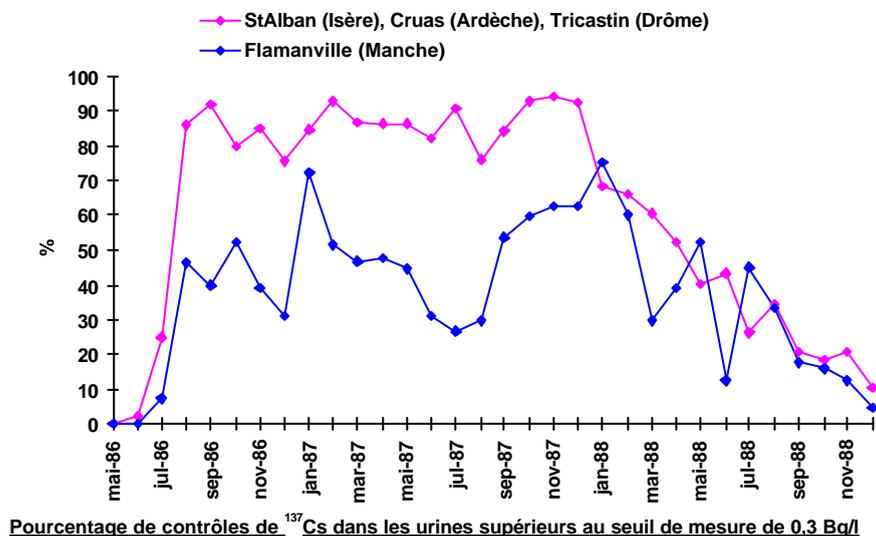
4. Comparaison des évaluations dosimétriques de l'IPSN avec les données de contrôles médicaux

En 1998, l'IPSN a comparé ses évaluations des doses dues aux retombées de Tchernobyl avec 60 000 résultats d'analyses médicales effectués chez les travailleurs des installations nucléaires entre mai 1986 et avril 1989. Pour ce personnel, régulièrement suivi au cours de sa vie professionnelle, les césiums 137 et 134 et l'iode 131 sont recherchés dans les urines, l'ensemble de l'organisme (par anthropogammamétrie) et dans certains cas, la thyroïde. Une étude a ainsi été réalisée sur les travailleurs de 17 sites du CEA, de COGEMA et d'EDF, répartis sur tout le territoire français.

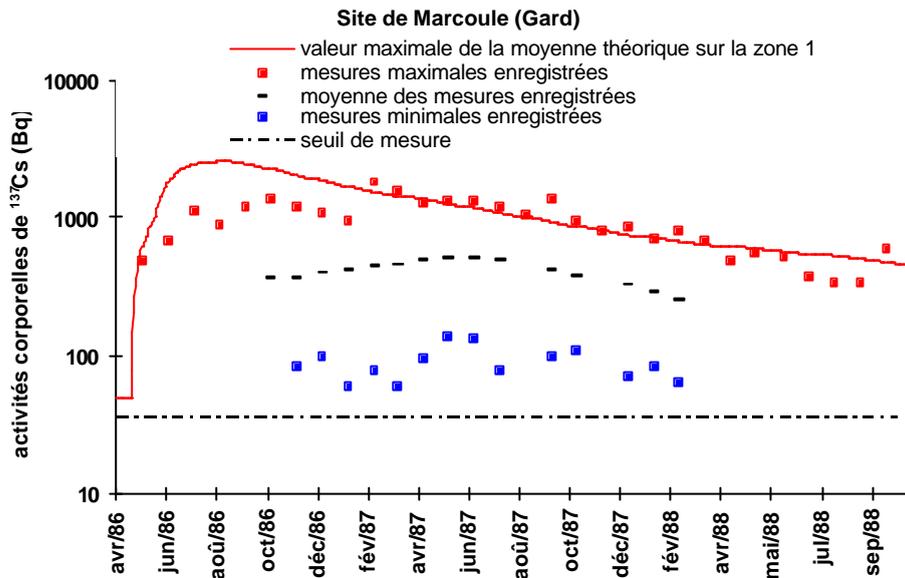


Les principales constatations sont les suivantes :

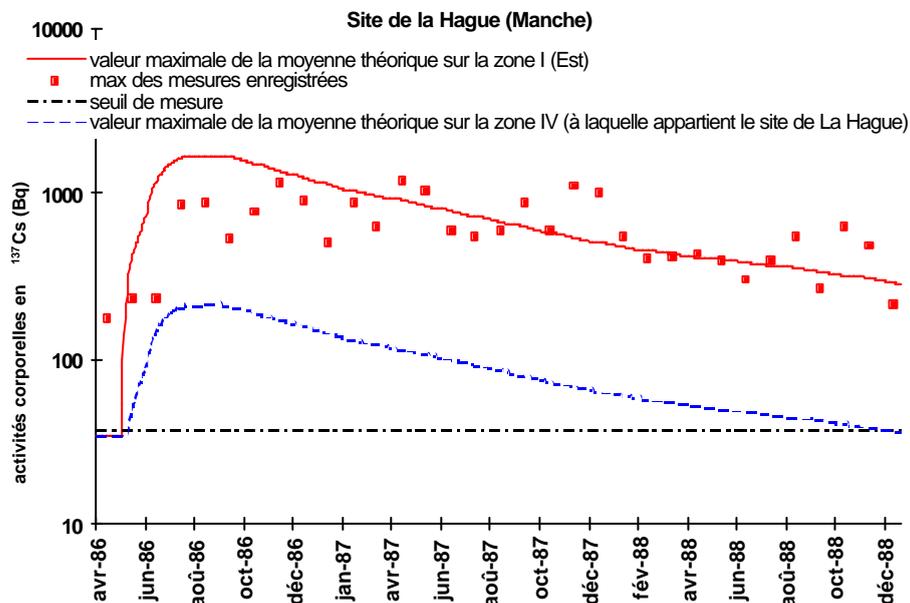
- Avant l'accident de Tchernobyl, sauf cas exceptionnel, les teneurs en césium 137 et césium 134 dans l'organisme et dans les urines des travailleurs concernés se situaient presque toutes en dessous du seuil de mesure (37 Bq pour les anthropogammamétries et 0,3 Bq/litre pour les urines).
- Dès mai 1986, le nombre de contrôles donnant des résultats supérieurs au seuil de détection a augmenté significativement, traduisant une augmentation de l'incorporation de césium due principalement à l'ingestion de denrées contaminées.
- Un retour progressif à la situation qui précédait l'accident, est enregistré à partir du début de 1988, traduisant à la fois l'épuration de la chaîne alimentaire et l'élimination du ^{137}Cs par l'organisme humain.
- Les activités corporelles et les activités mesurées dans les urines des travailleurs sont cohérentes avec les estimations faites pour la population française à l'aide des logiciels de calcul développés par l'IPSN.



- L'analyse site par site confirme l'atteinte moins importante des populations habitant dans l'Ouest du pays.
- Néanmoins, les activités maximales corporelles et urinaires enregistrées parmi les travailleurs des sites de l'Ouest du pays témoignent que des personnes habitant dans des régions moins touchées par les retombées de Tchernobyl ont pu ingérer autant de ^{137}Cs que celles résidant dans l'Est du pays. Ceci s'explique en grande partie par les flux commerciaux des denrées. Cet élément confirme les hypothèses que l'IPSN avait faites pour expliquer une atteinte de la population sur l'ensemble du pays plus homogène que le laissaient supposer les zones de dépôts.



- Certains résultats d'analyses sont plus élevés que l'ensemble. Les renseignements obtenus par les laboratoires de mesures sur les personnes concernées, indiquent qu'ils sont liés à des séjours dans des pays plus touchés que la France par les retombées de Tchernobyl : Italie du Nord, Grèce, Yougoslavie...
- L'analyse des valeurs maximales mesurées chez les travailleurs permet de vérifier que les incorporations de césium par les habitants de l'est du pays (les plus touchés par les retombées) n'ont pas dépassé les estimations qui ont servi aux évaluations de doses dues à l'ingestion de denrées contaminées.



- Les contrôles médicaux n'ont pas produit de données anthropogammamétriques exploitables pour l'iode 131, dont la décroissance radioactive est très rapide (l'iode 131 disparaît de moitié en 8 jours). Les mesures à la thyroïde, l'organe qui fixe l'iode, n'ont pas donné de résultats supérieurs au seuil de détection de 50 Bq. Ceci est cohérent avec les calculs qui indiquent que les charges maximales à la thyroïde ont pu dépasser cette valeur seulement pendant quelques jours en mai 1986. Par ailleurs, l'analyse de l'iode 131 dans les urines n'est pas effectuée de manière systématique dans la surveillance de routine des personnels et n'a pas permis de démontrer l'incorporation de ce radionucléide.

En résumé, l'étude des quelques 60 000 mesures faites sur l'homme au cours des trois ans qui ont suivi l'accident confirment les estimations de l'IPSN⁴ relatives à l'incorporation de césium 137 qui constitue l'essentiel de la dose en 1986. Toutefois, en raison de la circulation des denrées, certains habitants de l'Ouest de la France ont pu recevoir des doses proches de celles reçues par les habitants de l'Est du pays, plus touchés par les retombées directes du nuage. En ce qui concerne l'iode 131, l'impossibilité même d'effectuer des mesures de la charge thyroïdienne, durant les premiers jours de mai 1986, conforte les estimations faites sur l'incorporation de ce radionucléide et donc sur les doses équivalentes à la thyroïde.

⁴ Renaud Ph. et al, « *Conséquences Radioécologiques et Dosimétriques en France de l'accident de Tchernobyl* » Rapport de l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire n° 97-03 et livre paru aux Editions de Physique, avril 1999.

V. L'ENVIRONNEMENT A TCHERNOBYL ET LA GESTION DES TERRITOIRES CONTAMINES

- *A l'exception des nappes phréatiques, la contamination de l'écosystème des territoires les plus touchés est désormais bien connue.*
- *Les concentrations en césium, strontium et plutonium diminuent très lentement dans les sols.*
- *Les eaux de boisson et d'irrigation sont peu contaminées, au maximum 1 becquerel de césium et strontium par litre.*
- *Les quantités de produits agricoles dépassant les limites de commercialisation sont devenues faibles.*
- *Pour faire face à la détresse psychologique dans les territoires contaminés, les autorités des trois Républiques ont fait évoluer le mode de gestion des populations qui y vivent : en Ukraine par exemple, les normes de commercialisation des aliments sont désormais plus sévères.*

La nature et les niveaux de contamination sont désormais bien connus dans tous les milieux de l'environnement des régions les plus touchées par les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl, en Biélorussie, en Russie et en Ukraine. Des cartes nationales et régionales ont été établies et de nombreuses études radioécologiques ont été menées, pour une grande part financées par les organisations internationales et notamment l'Union Européenne. Les informations rassemblées depuis treize ans permettent de mieux comprendre le comportement de la radioactivité dans l'environnement et les processus de transfert des principaux radionucléides : césium 137, strontium 90, isotopes du plutonium.

1. Etat de la contamination des sols

Le césium

Environ 80 000 térabecquerels⁵ de césium 137 (¹³⁷Cs), soit 30 à 40 % de l'inventaire du cœur du réacteur accidenté, ont été rejetés dans l'atmosphère. La quasi totalité de ces dépôts se retrouve actuellement, dans les quinze premiers centimètres du sol. La migration en profondeur du césium est très faible et sa disparition de la surface des sols est très lente ; elle s'effectue essentiellement au rythme de la décroissance radioactive (le césium 137 décroît naturellement de moitié tous les 30 ans) et par lixiviation (lessivage) des sols.

La lixiviation des sols est provoquée par le ruissellement des eaux (eaux de pluie, eaux de crue et fonte des neiges) qui entraîne une certaine proportion des particules radioactives en surface des sols. La lixiviation du bassin de la rivière Pripyat a entraîné ainsi depuis douze ans près de 120 térabecquerels de ¹³⁷Cs dans la rivière. En 1997, l'activité de l'eau de cette rivière a été mesurée à moins de 0,2 becquerel de ¹³⁷Cs par litre.

Dans un périmètre de quelques kilomètres autour du réacteur, l'activité des sols est de l'ordre de plusieurs dizaines de becquerels par gramme, soit l'équivalent de plusieurs millions de becquerels par mètre carré. Les "points chauds" présentent des activités qui peuvent être dix fois plus élevées.

⁵ 1 térabecquerel = 1 TBq = mille milliards de becquerels

Au delà, jusqu'à deux ou trois cents kilomètres vers le nord et le nord-ouest de la centrale, les concentrations maximales en ^{137}Cs sont d'environ dix Bq/g de sol. Au Sud et à l'Est du site de Tchernobyl, à quelques dizaines de kilomètres du réacteur, elles sont nettement plus faibles, inférieures au becquerel par gramme.

Les opérations de décontamination des abords de la centrale menées en 1986 et 1987 ont conduit à la constitution de 800 fosses non étanches pour le stockage de près de 1 000 000 m³ de déchets. C'est autour de ces fosses que la radioactivité des sols et des eaux souterraines interstitielles est la plus élevée.

Le strontium

Environ 8 000 térabecquerels de strontium 90 (^{90}Sr) ont été rejetés dans l'atmosphère. Les observations faites montrent que le strontium est deux à trois fois plus mobile que le césium. S'il reste encore concentré, pour l'essentiel, dans la couche superficielle du sol, ce radioélément a été récemment mesuré à plusieurs mètres de profondeur dans des terrains dépourvus de matière organique. De même, on observe depuis 1987, que le strontium migre dans les eaux en quantité plus importante que le césium.

Cependant, la diminution de ses concentrations dans les sols est elle aussi très lente. La lixiviation du bassin de la rivière Pripyat a entraîné depuis douze ans près de 170 térabecquerels de ^{90}Sr dans la rivière dont l'activité de l'eau a été mesurée, en 1997, à moins de 1 becquerel de ^{90}Sr par litre, soit un niveau très faible.

Le plutonium

Environ 6000 térabecquerels de plutonium 241 (^{241}Pu) et 100 térabecquerels de plutonium 239 et de plutonium 240 ($^{239-240}\text{Pu}$) ont été rejetés, essentiellement sous forme de particules de combustible. Les dépôts correspondent géographiquement aux dépôts de strontium car ces deux radionucléides ont été émis sous la forme de particules de même taille (le césium émis sous une forme plus volatile a été transporté plus loin). L'activité en plutonium des sols est de quelques centièmes à quelques dixièmes de becquerel par gramme.

La contamination évolue très lentement et la tendance générale de l'évolution de l'environnement naturel dans la zone interdite des 30 km autour de la centrale se traduit par une stabilisation des niveaux d'activité.

2. Administration des territoires contaminés

Trente textes réglementaires nationaux ont été adoptés par l'Union soviétique entre le 27 avril 1986 et le 12 mai 1991 pour gérer la vie quotidienne des populations dans les territoires contaminés. L'évacuation des populations a été faite à partir du 27 avril dans l'urgence. Une zone d'exclusion a été déclarée pour les 30 kilomètres autour du site accidenté. Dans cette zone, les populations ont été évacuées, tous les travaux, toutes les productions agricoles, le transit des personnes et des marchandises ont été interdits, toutes les entrées et les sorties de la zone ont été réglementées. En 1999, ces interdictions restent en vigueur.

En dehors de la zone d'exclusion, la Biélorussie, la Russie et l'Ukraine appliquent des règles sensiblement identiques. Un décret adopté le 6 mai 1986 a défini les premières interdictions de consommation d'aliments contaminés par l'iode 131. Une dose admissible annuelle de 100 millisieverts a été fixée pour le relogement des populations. D'autres réglementations concernant la restriction de consommation d'aliments ont été adoptées les 16 et 30 mai 1986. Le 22 août puis le 24 octobre 1986, de nouveaux textes ont fixé les conditions de relogement, d'attribution de compensations sociales et de réglementation des pratiques agricoles.

Les agglomérations ont été classées en fonction des niveaux de contamination des sols, puis en fonction des niveaux de doses délivrées aux populations.

Actuellement, les territoires dont les populations reçoivent une dose inférieure à 1 mSv par an sont considérés comme permettant une vie normale. Les territoires dont les populations reçoivent une dose supérieure à 1 mSv par an continuent à bénéficier de compensations sociales en fonction du niveau de dose. Les populations pour lesquelles les doses reçues sont estimées à plus de 20 mSv par an doivent être évacuées.

Cette gestion a modifié l'aide apportée aux populations. En Russie, sur la base des critères précédents et de nouvelles estimations de dose, de nombreuses agglomérations ont vu leur statut de « zone contaminée » et les avantages afférents retirés par un décret de janvier 1998. Cette décision a été mal perçue par les populations et les autorités locales.

3. Productions agricoles dans les territoires contaminés

Dans la couche superficielle des sols, le césium est très peu mobile. Durant l'année 1986, la contamination des végétaux a été maximale à cause de l'interception des aérosols par le feuillage. De 1987 à 1990, la contamination des végétaux due au transfert racinaire du césium a chuté d'un facteur 2 à 10 suivant les types de sol ; par la suite, leur niveau de contamination est resté constant.

La production de végétaux contaminés au delà des limites autorisées pour la commercialisation et destinés à l'alimentation humaine n'a jamais dépassé quelques pour cent de la production des districts contaminés. Depuis 1992, la production de fruits et légumes contaminés au delà des limites autorisées pour la commercialisation est quasi nulle. En revanche, de 1986 à 1988 en Biélorussie et en Ukraine, la production de lait et de viande au delà des limites autorisées pour la commercialisation a dépassé 20 % de la production des districts contaminés. Ce pourcentage a chuté depuis et reste de l'ordre de 1 à 2 % depuis 1995, mais la production a baissé de moitié depuis 1986.

Les limites autorisées pour la commercialisation des produits alimentaires ont été revues à six reprises depuis 1986 et de nouvelles limites, plus sévères, ont été fixées, en Ukraine, au 25 juin 1997. Pour le césium 137, ces limites sont indiquées en becquerels par kilogramme dans le tableau suivant pour quatre des produits les plus consommés. Depuis l'accident de Tchernobyl et jusqu'au 31 mars 1995, les limites fixées par l'Union Européenne étaient de 370 Bq/kg pour le lait frais (et aliments pour nourrissons) et de 600 Bq/kg pour les autres aliments. La dernière colonne du tableau indique les limites de contamination fixées par l'UE pour les produits alimentaires, applicables dans une situation accidentelle depuis le 31 mars 1995.

Evolution des limites autorisées pour la commercialisation depuis 1986 dans les trois républiques pour le césium 137 et exprimées en becquerels par kilogramme

	06/05/1986	30/06/1986	1987	1988	1991	1993	1997*	Limites européennes
Lait	3700	370	370	370	370	370	100	1000
Viande		3700	1850	1850	740	740	200	1250
Pain		370	370	370	370	370	20	1250
Pommes de terre		3700	740	740	600	600	20	1250

(*) pour l'Ukraine

4. Situation socio-économique des populations

Treize ans après l'accident, 1,4 million de personnes vivent sur 30 000 km² contaminés à plus de 5 Curies par km² et 120 000 personnes vivent sur 7000 km² contaminés à plus de 15 Curies par km². Il est acquis que la décontamination de l'environnement ne se fera qu'au rythme lent de la décroissance radioactive des radionucléides et que, pour être efficaces, les actions de réhabilitation de ces zones doivent prendre en compte, sur le long terme, la situation des populations vivant dans les territoires.

Actuellement, la diminution des objectifs de dose aux populations à 1 millisievert par an, la diminution des limites de commercialisation des produits agricoles ne rassurent pas les habitants car ces décisions ne sont ni expliquées ni comprises. Les difficultés économiques et psychologiques continuent à dégrader les conditions de vie des populations. Seule la mise en place d'une radioprotection au quotidien, bien expliquée aux populations et permettant de satisfaire les objectifs de dose, pourra restaurer la confiance.

Nécessité d'une approche globale pour la réhabilitation : le projet ETHOS

Le programme européen ETHOS a pour but la réhabilitation des conditions de vie dans les territoires contaminés. Cette initiative originale se démarque des approches antérieures. La méthode développée prend en compte l'ensemble des composantes de la vie quotidienne et postule une forte implication de la population. Concrètement, il s'agit de retrouver la confiance des personnes concernées à l'égard de tous les domaines affectés par la contamination : santé, sécurité domestique, activités professionnelles, activités sociales et culturelles, identité individuelle et collective.

Le projet ETHOS est financé dans le cadre du programme de recherche en radioprotection de la Commission Européenne (DG XII). Il est mis en œuvre par une équipe de recherche interdisciplinaire impliquant quatre organismes scientifiques: le Centre d'étude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire - CEPN (radioprotection, économie), l'Institut National d'Agronomie de Paris-Grignon - INAPG (agronomie, gestion patrimoniale), l'Université de Technologie de Compiègne (communication, sécurité) et, pour la coordination, le groupe d'étude Mutadis (gestion sociale du risque).

Dans une première phase (1996-1998), les principes développés dans le projet ETHOS ont été mis en œuvre dans le village d'Olmany (district de Stolyn), situé au sud-est de la Biélorussie, à 200 km environ de Tchernobyl. Ce village compte 1300 habitants dont près de 400 jeunes âgés de moins de 17 ans. Les niveaux de contamination du sol se situent entre 37 000 et 555 000 Bq/ m². Cette pollution radioactive crée un vif sentiment d'inquiétude au sein de la population, en particulier chez les mères. Les activités agricoles et forestières traditionnelles sont à l'origine de la contamination de la production alimentaire du village (notamment la production laitière et la collecte des produits forestiers tels que les champignons, les baies...).

Six groupes de travail ont été créés autour d'objectifs considérés comme des priorités par les habitants du village, tels que la production de lait non contaminé pour les enfants, le contrôle des expositions radiologiques des enfants, la formation des enfants sur les aspects spécifiques de la vie dans les territoires contaminés, la gestion des déchets, etc. Ces projets ont été développés par des volontaires avec le soutien de l'équipe de recherche et des autorités locales.

Des résultats significatifs ont été obtenus tant sur les plans radiologique et économique que social et culturel. La démarche a favorisé chez les personnes impliquées l'acquisition d'une culture du risque radiologique et a permis une reprise progressive d'initiative et d'autonomie au sein de la population. La contamination de la production privée de lait et de viande a baissé significativement, ce qui a conduit au redémarrage de leur commercialisation. Enfin, la contamination interne des enfants due à l'ingestion des produits contaminés a diminué en moyenne de près de 30 %.

La deuxième phase du projet (1999-2000) vise à l'extension de la démarche à l'ensemble des villages contaminés du district de Stolyn.

Pour en savoir plus : le livre « Regards sur Olmany » est disponible à la documentation du CEPN
Route du Panorama - BP 48 - 92263 FONTENAY-AUX-ROSES CEDEX

5. Actions de l'IPSN en matière de radioécologie

L'un des trois volets de l'initiative franco-allemande pour Tchernobyl (cf. chapitre VI) est un programme de coopération sur l'étude des conséquences radioécologiques de l'accident, essentiellement dans la zone des 30 km et dans les régions particulièrement contaminées de Gomel (Biélorussie) et Briansk (Russie).

Dans ce cadre, l'IPSN et la GRS travaillent, ou font travailler des laboratoires ukrainiens, russes et biélorusses, sur plusieurs sous-projets :

- Portrait écologique des zones contaminées

L'objectif est de constituer, une base de données comportant les paramètres écologiques les plus importants, spécifiques de chacune des zones contaminées. Les données ainsi rassemblées permettront d'illustrer et d'évaluer les contaminations radioactives.

- Contamination de l'environnement

La mise à jour des données relatives aux rejets pendant et après l'accident doit permettre d'évaluer précisément ce qu'a été la contamination initiale en Ukraine, Biélorussie et Russie, et d'analyser son évolution.

- Dépôts de déchets

Le stockage de déchets dans les fosses creusées après l'accident et les autres entreposages doivent être localisés et caractérisés. Ce travail est la première étape vers l'étude de solutions permettant de gérer convenablement ces dépôts, dont le nombre est actuellement estimé à 800.

- Transferts de radionucléides dans l'écosystème

L'étude des modes de transfert des radionucléides dans l'écosystème (sols/plantes, plantes/animaux, transferts dans l'environnement aquatique...) doit permettre de valider les modèles de transfert puis d'envisager des contre-mesures applicables pour une meilleure gestion de la situation post-accidentelle.

- Transferts de radionucléides dans l'environnement urbain

L'accident de Tchernobyl a entraîné des dépôts d'aérosols radioactifs dans l'environnement urbain dont la radioactivité pouvait constituer un risque sanitaire pour les habitants. Afin d'étudier l'évolution de ce type de dépôts, le projet doit modéliser les transferts de radionucléides en milieu urbain d'une part, et passer en revue les actions de décontamination réalisées dans les zones urbaines d'autre part.

- Contre-mesures et réhabilitation des espaces naturels et agricoles

Les contre-mesures et actions de réhabilitation des espaces naturels et agricoles menées depuis l'accident doivent être identifiées, répertoriées et analysées afin d'évaluer leur impact dans le contexte global de la gestion post-accidentelle.

Treize ans après l'accident, il reste essentiel de pouvoir réunir des informations précises sur la nature des risques sur le site de Tchernobyl, afin d'être en mesure d'établir un programme d'actions cohérent et efficace. Les résultats du projet « Radioécologie » de l'initiative franco-allemande doivent constituer, à ce titre, une base de données géographiques et techniques riche d'enseignements pour le développement d'actions et d'applications ultérieures : étude d'impact, modélisation, stratégie de gestion des déchets, stratégie de contre-mesures.

VI. COOPERATION INTERNATIONALE POUR TCHERNOBYL : L'INITIATIVE FRANCO-ALLEMANDE

1. Arrêt définitif de la centrale de Tchernobyl et accord G7 / CEE / Ukraine

En 1995, après plusieurs années de négociations avec le G7 (le groupe des pays les plus industrialisés) et l'Union Européenne, l'Ukraine a pris l'engagement d'arrêter les réacteurs de la centrale de Tchernobyl au plus tard en l'an 2000.

Suite à cet engagement, le G7, la Commission Européenne et l'Ukraine ont signé un accord en décembre 1995, pour accompagner la fermeture de la centrale. L'aide financière et technique occidentale s'organise autour de quatre axes prioritaires :

- réformes économiques et restructuration du secteur énergétique ;
- investissements dans le secteur énergétique ;
- sûreté nucléaire (sûreté du sarcophage de la tranche 4 accidentée et préparation de l'arrêt définitif des tranches 1, 2 et 3 de la centrale de Tchernobyl) ;
- gestion sociale de la fermeture de la centrale (reconversion d'un bassin de plusieurs dizaines de milliers d'emplois directs et indirects).

2. Appel de l'Ukraine pour un Centre de Recherche International « Tchernobyl »

En septembre 1995, quelques mois avant la signature de l'accord du G7, le Ministre ukrainien de la Protection de l'Environnement et de la Sûreté Nucléaire, Youri Kostenko, lançait un appel à tous les gouvernements, afin d'obtenir un soutien scientifique, technique et financier pour la création d'un centre international de recherche et de technologie sur les problèmes résultant d'accidents nucléaires et d'irradiation. Premier objectif : trouver des solutions aux conséquences de l'accident de Tchernobyl.

En réponse à cet appel, les ministres français et allemand de l'Environnement ont annoncé conjointement, à Vienne, le 12 avril 1996, une initiative de coopération avec l'Ukraine, la Biélorussie et la Russie sur des projets scientifiques relatifs aux conséquences de l'accident de Tchernobyl.

Trois thèmes d'étude ont été retenus : la sûreté du sarcophage, l'impact de l'accident sur l'environnement (radioécologie) et la santé des populations affectées.

En juillet 1997, la France, l'Allemagne et l'Ukraine ont formalisé l'initiative franco-allemande par la signature d'un accord entre l'IPSN (*Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire*), son homologue allemand la GRS (*Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit*) et le Centre de Tchernobyl (*Chernobyl Centre for Nuclear Safety, Radioactive Waste and Radioecology*, créé par décret du gouvernement ukrainien en 1996).

L'initiative franco-allemande est financée par les gouvernements et les électriciens français (EDF) et allemands (groupement VdEW). Les trois grands projets de coopération sont dotés d'un budget de l'ordre de 6 millions d'Euros sur trois ans.

3. Les enjeux

Depuis treize ans, de nombreuses études ont été menées sur les conséquences de l'accident de Tchernobyl dans les républiques concernées de l'ex-URSS. Elles ont été réalisées avec ou sans la participation d'instances internationales et d'experts scientifiques de pays occidentaux, sans réelle coordination. Certaines n'ont jamais été diffusées, d'autres ont fait émerger des résultats épars, hétérogènes, voire contradictoires quant à la portée écologique et sanitaire de l'accident du 26 avril 1986.

Pour établir et garantir la cohérence des actions à court, moyen et long terme, visant à améliorer la maîtrise d'ensemble de la situation résultant de l'accident de Tchernobyl, il est indispensable de rassembler et de valider l'ensemble des connaissances sur la question.

L'objet essentiel de l'initiative franco-allemande est donc d'aider à collecter et valider des données existantes, afin de constituer une base d'informations sûre et objective, utile à la planification de contre-mesures, à l'information du public et aux travaux scientifiques ultérieurs.

Dans le cadre de cet accord, l'IPSN et la GRS organisent un soutien méthodologique auprès de laboratoires ukrainiens, russes et biélorusses pour la réalisation de projets scientifiques s'inscrivant de façon complémentaire dans chacun des trois axes de collaboration.

1998 a vu la signature de 22 de ces projets : 4 sur la sûreté du « sarcophage » de Tchernobyl, 9 sur les conséquences radioécologiques de l'accident et 9 sur l'impact sanitaire pour les populations des zones contaminées.

VII. LEXIQUE

Actinides : famille d'éléments chimiques plus lourds que l'Actinium (numéro atomique 89). Quatre actinides existent à l'état naturel : l'Actinium (89), le Thorium (90), le Protactinium (91) et l'Uranium (92).

Aérosol : dispersion, en particules très fines, d'un liquide dans un gaz (air ou oxygène).

Alpha (symbole α) : les particules composant le rayonnement α sont des noyaux d'hélium 4, fortement ionisants mais très peu pénétrants. Une simple feuille de papier est suffisante pour arrêter leur propagation.

Am = Américium (numéro atomique 95). L'américium n'existe pas dans la nature. Il est obtenu par réactions nucléaires à partir de ^{238}U et ^{239}Pu .

Atome : constituant de base de la matière. Il est composé d'un noyau (neutrons + protons) autour duquel gravitent des électrons.

Barres de contrôle ou de commande : tubes de matériaux absorbant les neutrons, introduits verticalement au sein d'un réacteur dans le but de régler, par absorption de neutrons, la puissance fournie (aussi appelées "grappes de contrôle ou de commande").

Barrières de confinement : ensemble de dispositifs étanches interposés entre les sources de rayonnement (produits de fission et d'activation présents dans le réacteur) et le milieu extérieur. Ces protections sont constituées pour un REP successivement par :

- la gaine métallique contenant le combustible nucléaire (tube en zircaloy),
- la cuve en acier abritant le coeur du réacteur et le circuit de refroidissement,
- le bâtiment du réacteur (enceinte étanche en béton armé).

Becquerel : unité légale de mesure internationale utilisée en radioactivité. Le becquerel (Bq) est égal à une désintégration par seconde (1 curie = 37 milliards de Bq). Cette unité représente une activité tellement faible que l'on emploie habituellement ses multiples : le MBq (Méga ou million de Bq), le GBq (Giga ou milliard de Bq).

Bêta (symbole β) : les particules composant le rayonnement β sont les électrons de charge négative ou positive. Un écran de quelques mètres d'air ou une simple feuille d'aluminium suffisent à les arrêter.

Bore : produit absorbeur de neutrons (d'où son utilisation pour « étouffer » le cœur du réacteur de Tchernobyl après l'accident).

Cs = Césium (numéro atomique 55) : métal rare et toxique dont les caractéristiques sont comparables à celles du potassium. L'isotope 137 est un produit de fission radioactif que l'on trouve dans les différents circuits de la zone nucléaire et dont la période radioactive est de 30,17 ans.

Cœur : équivalent du foyer dans une chaudière classique, le coeur du réacteur nucléaire est constitué par la juxtaposition des assemblages combustibles et des barres de contrôle.

Combustible nucléaire : matière fissile utilisée dans un réacteur pour y développer une réaction nucléaire en chaîne. Le combustible neuf est constitué d'oxyde d'uranium enrichi en uranium 235 (entre 3 et 4 % dans le cas des REP).

Criticité : risque de phénomènes de fission incontrôlés dans les matériaux fissiles (dans le cas du cœur du réacteur accidenté de Tchernobyl notamment).

Curie (Ci) = ancienne unité d'activité radioactive. 1 Ci = 37 milliards de becquerels

Dosimétrie : détermination, par évaluation ou par mesure, de la dose de rayonnement absorbée par une substance ou un individu

Enceinte de confinement ou bâtiment du réacteur : enceinte étanche, notamment en béton, contenant la cuve du réacteur, le circuit primaire, les générateurs de vapeur ainsi que les principaux auxiliaires assurant la sûreté du réacteur.

Epidémie : ce terme n'est pas nécessairement réservé à une maladie infectieuse, il désigne l'augmentation d'une maladie localisée dans le temps et dans une population.

Filière : terme utilisé pour désigner le choix technique d'un type de réacteurs nucléaires capables de produire de l'énergie. Il se définit par un ensemble de spécifications communes telles que nature du combustible, modérateur, nature du fluide de refroidissement, etc... On distingue par exemple la filière uranium naturel-graphite-gaz, les filières à eau légère, les filières à neutrons rapides...

Gaine du combustible : enveloppe métallique et étanche en forme de crayon qui entoure les pastilles d'oxyde d'uranium (dans le cas des REP) et les isole du fluide caloporteur. Ses deux fonctions : éviter la pollution du circuit primaire par les produits radioactifs de fission et protéger ceux-ci contre une attaque chimique ou mécanique du fluide de refroidissement. Dans les réacteurs à eau pressurisée, les gaines sont en "zircaloy" (alliage de zirconium).

Gamma (symbole γ) : rayonnement électromagnétique, très pénétrant mais peu ionisant, émis par la désintégration d'éléments radioactifs. Des écrans de béton ou de plomb permettent de s'en protéger

Gaz rares : gaz dépourvus d'affinité chimique et ne donnant aucun composé. Ce sont l'argon, l'hélium, le krypton, le néon et le xénon.

Halogènes : groupe d'éléments chimiques. La réaction nucléaire donne naissance, parmi les produits de fission, à des halogènes gazeux (iode, chlore) qui ont tendance à ralentir la réaction

I = Iode (numéro atomique 53) corps simple dont les isotopes radioactifs sont présents dans les produits de fission. L'isotope 131 a une période de 8,02 jours.

Incidence : ce terme désigne un taux. C'est le rapport entre le nombre de nouveaux cas d'une maladie survenus dans une population exposée, pendant une période donnée, à l'effectif de cette population.

Isotopes : éléments dont les atomes possèdent le même nombre d'électrons et de protons, mais un nombre différent de neutrons. Il existe par exemple trois isotopes d'uranium naturel : l'uranium 234 (92 protons et 142 neutrons), l'uranium 235 (92 protons et 143 neutrons) et l'uranium 238 (92 protons et 146 neutrons). On connaît actuellement environ 325 isotopes naturels et 1200 isotopes créés artificiellement.

Période radioactive : temps nécessaire pour que la quantité d'atomes d'un élément radioactif ait diminué de moitié. La période varie avec les caractéristiques de chaque radioélément : 110 minutes pour l'argon 41; 8 jours pour l'iode 131 et 4,5 milliards d'années pour l'uranium 238. Aucune action physique extérieure n'est capable de modifier la période d'un radioélément.

Produits de fission : fragments de noyaux lourds produits par la fission nucléaire ou la désintégration radioactive ultérieure de nucléides formés selon ce processus.

Pu = Plutonium (numéro atomique 94). Élément chimique transurannique. L'isotope 239 a une période de 24 110 ans.

RBMK : Les *Reactor Bolshoi Moschmosti Kanalny* sont des réacteurs à tubes de force refroidis par un mélange eau-vapeur et modérés par du graphite. conçue par les soviétiques, cette filière, marquée par l'accident de Tchernobyl, n'existe qu'en Russie, Ukraine et Lituanie.

REP (Réacteur à eau sous pression) : désigne un réacteur à eau ordinaire dans lequel l'eau du circuit primaire est maintenue à haute pression (155 bars) afin d'éviter sa vaporisation. Le parc électronucléaire français repose sur l'utilisation de cette filière qui compte le plus grand nombre d'unités en service dans le monde.

Ru = Ruthénium (numéro atomique 44). L'isotope 106 a une période de 368 jours.

Sievert : unité légale d'équivalent de dose qui permet de rendre compte de l'effet biologique produit par une dose absorbée donnée. L'équivalent de dose n'est pas une quantité physique mesurable. On l'obtient par le calcul en multipliant la dose absorbée (exprimée en rad) par un facteur de qualité dont la valeur dépend de la nature du rayonnement.

Sr = Strontium (numéro atomique 38) : élément dont certains isotopes sont très abondants dans les produits de fission, en particulier l'isotope 90, qui se fixe dans les tissus osseux et dont la période est de 28,15 ans.

Tranche : unité de production électrique comportant une chaudière et un groupe turbo-alternateur. Une tranche nucléaire se caractérise essentiellement par le type du réacteur et la puissance du groupe turbo-alternateur.

Transuraniens : famille des éléments chimiques plus lourds que l'uranium. Les principaux sont le neptunium (numéro atomique 93), le plutonium (numéro atomique 94), l'americium (numéro atomique 95), le curium (numéro atomique 96).

U = Uranium (numéro atomique 92). L'isotope 238 a une période de 4,46 milliards d'années.

VVER : les *Vodaa Vodiannee Energititscheski Reactor* sont des réacteurs à eau sous pression de conception soviétique dont le principe de fonctionnement ressemble à celui des réacteurs à eau sous pression occidentaux (REP).