

**Gestion INIS**Doc. Enreg. le *7/6/2002*
N° TRN *FR0005179*Presse
DossiersAvril
1998

24P

INIS-FR-169

tchernobyl, douze ans après

SOMMAIRE | I - tchernobyl en quelques chiffres | II - LE "SARCOPHAGE" ET les reacteurs DE la centrale de TCHERNOBYL | III - conséquences sanitaires de la catastrophe de TCHERNOBYL | IV - evolution de l'environnement a tchernobyl et gestion des territoires contaminés | V - l'impact en france des retombées de l'accident de tchernobyl | VI - cooperation internationale pour tchernobyl : l'initiative franco-allemande | VII - LEXIQUE

Contact :

Mireille REGNIAULT-LACHARME - Mission Communication (01 46 54 86 38

e-mail : mireille.lacharme@ipsn.fr

Daniel ROBEAU - Protection de l'Environnement (01 46 54 72 64

e-mail : daniel.robeau@ipsn.fr **SOMMAIRE****I. Tchernobyl en quelques chiffres****II. Le "sarcophage" et les réacteurs de la centrale de Tchernobyl**

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

III. Conséquences sanitaires de la catastrophe de Tchernobyl

1. Les populations des territoires les plus contaminés
2. La population des "liquidateurs"
3. Les populations du reste de l'Europe
4. Actions de l'IPSN et de la GRS

IV. Evolution de l'environnement à Tchernobyl et 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

V. L'impact en France des retombées de Tchernobyl

1. Dépôts et activités surfaciques résiduelles
2. Activités des productions agricoles, des produits naturels et des eaux de boisson
3. Doses

VI. L'initiative Franco-Allemande pour Tchernobyl**VII. Lexique** **I - tchernobyl en quelques chiffres****31 / 41**

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 ; 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 (dernier recensement en 1991), 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 becquerels par m² à l'Ouest (comme au Portugal et en Espagne) et plusieurs centaines de milliers de becquerels par m² dans les parties situées à l'Est et au Nord (Sud de l'Allemagne, Grèce ou Scandinavie).

Du point de vue sanitaire, dans les Républiques d'Ukraine, Bélarus et Russie, près de 900 cas de cancers de la thyroïde ont été observés chez les enfants et les adolescents entre 1986 et 1997. Certains experts indiquent que ce chiffre atteindrait aujourd'hui 1500. 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 : la tranche 1 est arrêtée en vue de son déclassement ; la tranche 2 est arrêtée suite à un incendie, la question de son redémarrage est régulièrement soulevée en Ukraine; 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

Les travaux de stabilisation du "Sarcophage" et de réfection de ses systèmes de surveillance sont désormais en cours d'étude.

Certains projets d'assainissement du site commencent à se concrétiser. Depuis le début de 1998, des études ont été entreprises pour la construction d'un entreposage de combustibles irradiés et de déchets solides ainsi que celle d'une station de traitement des effluents liquides.

En revanche, un important sujet d'inquiétude est apparu avec la détection de nombreuses fissures dans les circuits principaux du réacteur n°3, encore en service. Il n'est pas certain que l'exploitant soit capable de maîtriser une situation accidentelle correspondant à la rupture d'une grosse tuyauterie.

1. Risques associés au sarcophage : instabilité et criticité

En 1986, les autorités soviétiques ont fait construire en six mois une structure, appelée « Sarcophage », visant à reconstituer, 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. Une grande partie des débris radioactifs dispersés autour du bâtiment a été placée dans des alvéoles enterrés sous les nouveaux murs de renforcement et de protection biologique mis en place.

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 qu'aient été prises de dispositions pour assurer leur jointure et leur fixation. La restauration des anciennes parties de bâtiment servant de support à la charpente métallique 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.

Aujourd'hui, le risque principal associé au "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.

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, en 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 accident de criticité pourraient être graves pour les travailleurs, mais elles n'affecteraient pas l'environnement du site.

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 présentes dans le bâtiment et maîtriser les risques de criticité,
- améliorer la sécurité du personnel,
- étudier des stratégies à plus long terme, telles que l'optimisation du 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 TACIS. Les deux organismes travaillent actuellement avec l'Autorité de sûreté nucléaire ukrainienne (NRA) à l'élaboration des réglementations spécifiques nécessaires à sa mise en place, telles que les procédures d'autorisation.

Un premier ensemble d'actions doit débiter en 1998 afin de préparer la stabilisation des structures actuelles et de rénover les systèmes de surveillance du sarcophage et de son contenu. Ces travaux devraient durer environ trois ans.

Le principal problème de sûreté lié à ces travaux résidera dans l'évaluation des risques radiologiques pour les intervenants. A cet égard, un suivi dosimétrique adapté devra être mis en œuvre pour s'assurer de la tenue des objectifs de radioprotection et détecter les dérives possibles.

2. Les trois autres réacteurs du site

Lors d'une négociation avec le G7 en 1995, l'Ukraine s'est engagée à arrêter définitivement les réacteurs n°1, 2 et 3 de la centrale de Tchernobyl avant l'an 2000 si des financements suffisants lui étaient attribués pour cet arrêt et pour la construction d'installations de production électrique 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 remise en état des "tubes de force".

Le réacteur n° 2 est hors service depuis 1991, suite à des destructions dues un incendie. Bien que ce soit contradictoire à l'engagement du gouvernement, certains milieux ukrainiens font état de l'idée d'utiliser les parties turbine et alternateur du réacteur n° 1 afin de restaurer cette installation.

Le réacteur n° 3 reste en service. En travaux depuis plusieurs mois, il pourrait redémarrer prochainement. Toutefois, la détection, au cours de l'arrêt actuel, de nombreuses fissures, notamment sur des soudures, retarde sa remise en service. L'origine de ces fissures, et donc de risques de rupture de tuyauteries, n'est pas clairement identifiée. On sait que le même phénomène affecte plusieurs réacteurs RBMK en Russie et en Lituanie. Toutefois, son apparition se fait avec un temps de latence qui ne permet pas, à ce jour, de préciser l'étendue du problème pour l'ensemble de cette filière.

Cette situation préoccupe fortement les experts en sûreté français et allemands pour deux raisons principales: d'une part, les informations techniques disponibles ne permettent pas d'être sûr que le phénomène des fissures n'affecte pas aussi les grosses tuyauteries (900 mm de diamètre) ; d'autre part, il n'est pas prouvé, à ce jour, que l'exploitant soit en mesure de maîtriser les conséquences accidentelle qu'entraînerait la rupture d'un de ces circuits.

Fissures sur des tuyauteries du circuit primaire du réacteur n°3

La découverte de fissures sur des tuyauteries en acier inoxydable de 300 mm de diamètre de réacteurs russes de type RBMK, sur la centrale de Kursk, puis sur celles de Saint-Petersbourg et d'Ignalina, a conduit le concepteur NIKIET à en informer la centrale de Tchernobyl. Après un premier sondage faisant apparaître des anomalies sur 20 % des soudures contrôlées de la tranche 3, l'exploitant a entrepris de vérifier toutes les soudures des tuyauteries de 300 mm du circuit de refroidissement de secours et des tuyauteries à haute et basse pression du circuit primaire, suivant ainsi les demandes de l'Autorité de sûreté ukrainienne (NRA).

Compte-tenu du nombre important d'anomalies et de fissures observées sur les tuyauteries, l'exploitant a décidé de maintenir la tranche 3 à l'arrêt pour effectuer les réparations nécessaires. Fin décembre 1997, 160 fissures sur les 263 détectées avaient été réparées et l'exploitant prévoyait d'achever ces travaux au printemps 1998.

L'Autorité de sûreté ukrainienne prendra sa décision sur le redémarrage après une inspection effectuée à la fin des travaux de réparation. L'ampleur des défauts observés a conduit la Banque Européenne pour la Reconstruction et le Développement (BERD) à demander la tenue d'une réunion, sous l'égide de l'Agence

Internationale de l'Energie Atomique.

3. Autres actions de l'IPSN et de la GRS

En dehors de l'assistance qu'ils apportent pour la définition du programme d'actions visant à réduire les risques d'instabilité et de criticité du "Sarcophage" (cf. page 5), l'IPSN et la GRS participent à trois autres types d'actions visant à améliorer la sûreté du site de Tchernobyl..

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". Constituant une source d'information unique pour d'éventuels projets d'ingénierie, elle 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, d'analyser les données relatives aux travaux de consolidation effectués par la suite, d'étudier l'état de corrosion des structures, de valider les mesures effectuées par l'instrumentation mise en place dans le "Sarcophage", afin d'apprécier à leur juste niveau ses risques d'instabilité.

la situation radiologique et les équipements à l'intérieur du "Sarcophage"

Sous la responsabilité de l'exploitant de la centrale, ce projet vise à valider 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. Ces données devront permettre de classer l'accessibilité des différents espaces à l'intérieur du sarcophage, en fonction du danger radiologique.

la situation radiologique dans la proximité du "Sarcophage"

L'évaluation de la situation radiologique à l'extérieur du sarcophage doit tenir compte des modifications dues à la décroissance de la radioactivité mais aussi au transport de poussières radioactives dans l'air ou dans l'eau. Les mesures complémentaires et les estimations sont placées sous la responsabilité de l'ISTC.

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 caractériser ces "masses radioactives" ainsi que les autres déchets afin de pouvoir étudier la faisabilité de leur reprise.

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 et la GRS interviennent, en collaboration avec le Swedish Radiation Institute (SSI), dans la préparation du démantèlement des réacteurs de Tchernobyl. Il s'agit principalement d'aider l'Autorité de sûreté nucléaire ukrainienne à établir la réglementation à mettre en oeuvre et à définir les objectifs de sûreté qui devront être fixés à l'exploitant.

Le même type d'action est mené pour des projets de construction d'installations d'entreposage de combustibles irradiés et de traitement d'effluents liquides. En phase d'étude dès cette année, ces projets sont financés par le "fonds de sûreté nucléaire" créé auprès de la BERD en 1993. Deux autres installations de conditionnement et d'entreposage de déchets solides sont également en cours d'étude, avec un soutien du programme TACIS.

III - conséquences sanitaires de la catastrophe 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 l'accident. En 1997, le Bélarus, la Russie et l'Ukraine dénombraient près de 900 cas dans la tranche d'âge actuelle des 12-26 ans. Ces valeurs sont les seules validées aujourd'hui, mais certains experts avancent le chiffre de 1500 cas.

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 surnombre d'anomalies de ce type n'est attribuable aux retombées de l'accident.

Aucun excès de leucémie attribuable à Tchernobyl n'est observé, ni dans la population générale, ni chez les "liquidateurs".

Un taux de suicide nettement plus important que la moyenne est observé chez les "liquidateurs" estoniens.

Depuis 1996, à l'exception de quelques études effectuées sur la population des "liquidateurs", peu d'éléments scientifiques nouveaux ont permis d'améliorer la connaissance des conséquences sanitaires de la catastrophe de Tchernobyl. Cela s'explique notamment par la complexité du processus d'acquisition de données épidémiologiques, qui exige des étapes multiples de vérification et 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 ont été 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 irradiation 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 irradiation 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 (ouest de l'Europe comme au Portugal et en Espagne): et plusieurs centaines de milliers de becquerels par m² comme dans le Sud de l'Allemagne, la Grèce, la Scandinavie.

1. Les populations des territoires les plus contaminés

La plupart des résultats publiés ces deux dernières années sur les effets sanitaires de la catastrophe 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 d'étude étant très incomplète.

Cancers solides et cancers de la thyroïde

De façon globale, le taux des diverses tumeurs solides (reins, os, yeux) n'a pas augmenté depuis l'accident en Bélarus, en Russie et en Ukraine.

Le principal effet attribuable à Tchernobyl, détecté jusqu'à présent, 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. Début 1997, le Bélarus, la Russie et l'Ukraine ont dénombré, sur leurs territoires, près de 900 cas de cancers thyroïdiens dans la tranche d'âge actuelle des 12-26 ans. Ces valeurs sont les seules validées aujourd'hui par les experts internationaux, mais certains avancent le chiffre de 1500 cas.

Suivant les régions, ces nombres correspondent à une multiplication de 10 à 100 du taux naturel de cancer de la thyroïde chez les enfants, pour lesquels normalement cette maladie est très rare. Il faut noter qu'en Bélarus, seuls quatre cas cancers ont été recensés chez les enfants conçus bien après l'accident et donc non exposés à de l'iode radioactif. Cette observation confirme le rôle de l'iode radioactif dans la survenue de cette épidémie.

Nombre de cancers de la thyroïde observés de 1986 à 1996 chez l'enfant de moins de 15 ans dans les trois états les plus touchés par les rejets d'iode radioactif

	1986-1989	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996*	1997**	Total
Bélarus	2-5	7	29	59	66	79	82	91	84	?	497
	par an										
Ukraine	4-9	11	26	22	47	42	39	43	36	59	325
	par an										
Russie	0-1	0	4	4	8	13	21	11	?	?	61
région de Briansk	par an										
Total		18	59	85	121	134	142	145	-		883

* communication IPSN

** communication du gouvernement Ukrainien (février 1998, Conference Chernobyl research, Kiev)

Autres affections thyroïdiennes

Dans le cadre d'une coopération menée, de 1991 à 1996, par l'association japonaise Sasakawa avec la Bélarus, l'Ukraine et la Russie, environ 120 000 enfants vivant dans les zones affectées par les retombées 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 observée dans la région de Gomel (Biélorus), la plus contaminée. Une 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 la catastrophe 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 Biélorus suggèrent une augmentation de certains types d'anomalies : polydactylies, malformations multiples et anomalies de membres (luxations congénitales de hanches 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 Biélorus pour vérifier ces résultats.

Leucémies

Les 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 de personnes irradiées et de la disparité des doses reçues.

Une étude descriptive publiée en 1997, portant sur la population des enfants biélorusses entre 1978 et 1994, a été effectuée à partir du Registre National des Cancers en Biélorus. Les premiers résultats indiquent une fréquence des leucémies sur l'ensemble de la période de 2,7 pour 100 000 enfants. Ce taux est similaire à celui des registres français sur la période 1983-1987. Sur la période 1986-1994, c'est-à-dire après l'accident, l'incidence de la leucémie n'a pas augmenté chez les 0-14 ans par rapport à la période précédente.

2. La population des liquidateurs

Après l'accident, des mesures ont été prises d'urgence 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 collaboration entreprise il y a sept ans entre le National Cancer Institute (Etats-Unis) et des 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 aux "liquidateurs" 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, varient 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 pas souvent 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 surnombre 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 sur la santé publique.

"Liquidateurs" russes

Beaucoup plus nombreux que celui des estoniens, 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 et, en janvier 1996, le registre ne contenait d'informations 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 une dose de plus de 250 mSv.

Pour la période 1990-1993, un excès de leucémies (80 %) a été observé 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 infirmé par les mêmes auteurs.

3. Les populations du reste de l'Europe

En 1998, aucune évolution des cancers 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 de cancers radio-induits sera, 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 l'enfant âgé de moins d'un an en Grèce, et l'attribuait 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 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 les pays d'Europe de l'Est et d'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 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 Tchernobyl.

Par rapport à la période précédant l'accident, une diminution de 20 % du risque de leucémies est observée après l'accident pour les zones les plus exposées, aucune modification n'est observée pour les zones intermédiaires et une augmentation de 60 % du risque est observée pour les zones les moins exposées.

Cette étude confirme les résultats d'autres études réalisées en Suède et en Finlande.

Anomalies congénitales

Une étude a été effectuée en Bavière de 1984 à 1987 sur la fréquence des malformations congénitales à la naissance. 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. Les actions de l'IPSN et de la GRS

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 et 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 Bélarus et en Russie. Les experts de l'IPSN y participent dans le domaine de l'évaluation dosimétrique. Ces collaborations internationales permettent de réaliser les études de façon cohérente. C'est un élément fondamental pour permettre une analyse commune des données recueillies, seule façon de pouvoir détecter un excès de cancers, probablement faible compte tenu des doses reçues.

Dans le cadre de l'Initiative franco-allemande pour Tchernobyl, l'IPSN et la GRS ont mené des discussions, en 1997-1998, afin 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 (Bélarus) devrait débuter 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 Bélarus 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 la nutrition, 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) devrait aussi débuter cette année.

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 méthodologies 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 la catastrophe 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 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 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 celui 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 oeuvre 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 Bélarus, 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 - evolution de l'environnement a tchernobyl et gestion des territoires contaminés

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.

La quantité de produits agricoles dépassant les limites de commercialisation est devenue faible.

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 produits alimentaires 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 Bélarus, 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 financée par les organisations internationales et notamment l'Union Européenne. Les informations rassemblées depuis douze 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 téraBecquerels¹ 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 de sol. La migration en profondeur du césium est très faible et sa disparition de la surface des sols est très lente; s'effectuant essentiellement au rythme de la décroissance radioactive (le césium 137 décroît naturellement de moitié tous les 30 ans) et à la lixiviation (lessivage) des sols.

La lixiviation des sols est provoquée par le ruissellement des eaux, eaux de pluie, de crue et de fonte des neiges, qui entraîne une part des particules radioactives en surface des sols. La lixiviation du bassin de la rivière Prypiat 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 Becquerels par mètre carré. Les "points chauds" présentent des activités pouvant être dix fois plus élevées. Au delà, jusqu'à deux ou trois cents kilomètres vers le nord et le nord-ouest de la centrale, les concentrations maximale en ¹³⁷Cs 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 centrales 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 (⁹⁰Sr) 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 Prypiat 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. L'administration des territoires contaminés

En 1986, une loi a classé les agglomérations en fonction des niveaux de contamination des sols. 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 sont réglementées. En 1998, ces interdictions restent encore en vigueur.

Rappel des critères administratifs mis en place en 1986 pour la gestion des zones contaminées :

Les zones contaminées par le ^{137}Cs à plus de 15 curies² par kilomètre carré, ou à plus de 3 curies par kilomètre carré par le ^{90}Sr , ou à plus de 0,1 curie par kilomètre carré par le plutonium, ou pour lesquelles les doses reçues par les populations résidentes sont estimées à plus de 5 millisieverts par an doivent être évacuées et les mêmes restrictions que dans la zone d'exclusion doivent être appliquées.

Les zones contaminées par le ^{137}Cs à plus de 5 curies par kilomètre carré, à plus de 0,15 curie par kilomètre carré par le ^{90}Sr ou par le plutonium à plus de 0,01 curie par kilomètre carré ou pour lesquelles les doses reçues par les populations résidentes sont estimées à plus de 1 millisievert par an ont été mises sous le régime d'évacuation volontaire des populations ou de versement d'une indemnité aux populations restantes, de réglementation des travaux agricoles, d'exemption de taxe, d'interdiction d'implantation de nouvelles entreprises industrielles ou agricoles.

Les zones contaminées par le ^{137}Cs à plus de 1 curie par kilomètre carré, par le ^{90}Sr à plus de 0,02 curie par kilomètre carré, par le plutonium à plus de 0,005 curie par kilomètre carré ou pour lesquelles les doses reçues par les populations résidentes sont estimées à plus de 0,5 millisievert par an sont sous le régime de versement d'une indemnité aux populations, de réglementation des travaux agricoles, d'exemption de taxe, d'interdiction d'implantation de nouvelles entreprises industrielles ou agricoles polluantes pour l'environnement, d'interdiction d'implantation de sanatoriums et maisons de repos.

En 1998, en dehors de la zone d'exclusion, la Bélarus, la Russie et l'Ukraine appliquent des règles sensiblement identiques, mais se référant désormais au concept de "dose efficace engagée" et non plus de dépôt au sol. Ainsi, les territoires dont les populations reçoivent une dose inférieure à 1 millisievert par an sont considérés comme permettant une vie normale.

Les territoires dont les populations reçoivent une dose supérieure à 1 millisievert continuent à bénéficier d'avantages sociaux en fonction du niveau de dose. Les populations pour lesquelles les doses reçues sont estimées à plus de 20 millisieverts par an doivent être évacuées. Cette situation a modifié l'aide apportée aux populations. En Russie, sur la base de ces critères 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 car très fortement piégé par des particules argileuses ou des horizons organiques. Durant l'année de l'accident, 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, le niveau de contamination est resté constant.

La production de végétaux contaminés au delà des limites autorisées 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 est quasi nulle. En revanche, de 1986 à 1988 en Bélarus et en Ukraine, la production de lait et de viande au delà des limites autorisées 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 de commercialisation sont indiquées en becquerels par kilogramme dans le tableau suivant pour quatre des produits les plus consommés. La dernière colonne du tableau indique les limites de contamination fixées par l'Union européenne pour les produits alimentaires d'importation.

Evolution des limites d'autorisation de 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*	règlement européen
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

Douze 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 de 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, la diminution des limites de commercialisation des produits 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 qui pourront restaurer la confiance.

Nécessité d'une approche globale Pour la Réhabilitation : le projet ETHOS

Le programme européen ETHOS est une action qui a pour objectif la réhabilitation des conditions de vie dans les territoires contaminés. C'est une initiative originale qui se démarque des approches antérieures. La méthodologie développée prend en compte l'ensemble des champs de la vie quotidienne et postule une forte implication de la population. Concrètement, il s'agit de reconstruire

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). C'est un projet de trois ans qui a débuté en 1996. Il est mis en oeuvre par une équipe de recherche interdisciplinaire associant des spécialistes en radioprotection, économie, sociologie et gestion sociale du risque, agronomie et développement durable, communication et sécurité. Quatre instituts de recherche sont associés à ce projet: le Centre d'étude sur l'Évaluation 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 le groupe d'étude Mutacis (gestion sociale du risque) qui assure la coordination scientifique du projet.

L'application des principes développés dans ETHOS est mise en oeuvre dans le village d'Olmany, situé au sud-est du Bélarus, 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 becquerels par m². Au regard des autres territoires contaminés de ce pays, le niveau de contamination du village d'Olmany est considéré comme moyen. 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, plus particulièrement, la production laitière et la collecte des produits forestiers (champignons, baies...).

Sept 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 production de viande d'une qualité suffisante pour être commercialisée hors du village, la formation des enfants et des jeunes sur les aspects spécifiques de la vie dans les territoires contaminés, la gestion des déchets, etc. Ces projets ont été développés par des volontaires locaux 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 permet une reprise progressive d'initiative et d'autonomie au sein de la population. Par exemple, la contamination de la production laitière privée du village a baissé significativement, ce qui permet d'envisager le redémarrage de sa commercialisation. Des résultats analogues sont attendus dans le domaine de la production privée de viande.

V - l'impact en France des retombées de l'accident de tchernobyl

En 1997, l'IPSN a pu réaliser la première synthèse complète concernant l'impact radioécologique et dosimétrique en France des retombées de l'accident de Tchernobyl.

La contamination radioactive du sol et des aliments en France a été surveillée et étudiée depuis 1986 par plusieurs organismes publics et privés. Toutefois, 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 la catastrophe de Tchernobyl, et fournissant une évaluation de l'impact sanitaire qui en résulte, en focalisant l'étude sur les cas critiques. 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.

ASTRAL est un logiciel d'évaluation des conséquences radiologiques d'un accident conçu et développé par l'IPSN. Il permet d'établir la correspondance entre les Activités Surfaciennes Rémanentes des sols (ASR en Bq/m²), les activités massiques des

productions agricoles et les doses individuelles et collectives résultant des expositions externe et interne (inhalation et ingestion de denrées contaminées)

Ce rapport a été communiqué) en décembre 1997 au Conseil Supérieur de la Sûreté et de l'Information Nucléaires (CCSIN) qui en a tiré les conclusions suivantes :

" Sur la majeure partie du territoire français, la contamination provenant des retombées de Tchernobyl a décliné 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). 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. Ces personnes 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 ne semblent pas devoir conduire à un excès de risque 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,...)."

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

1. Dépôts et activités surfaciques résiduelles

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).

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 décroissance des activités surfaciques résiduelles d'Est en Ouest, définissant quatre zones, la plus contaminée s'étendant de part et d'autre d'une ligne Gard / Moselle.

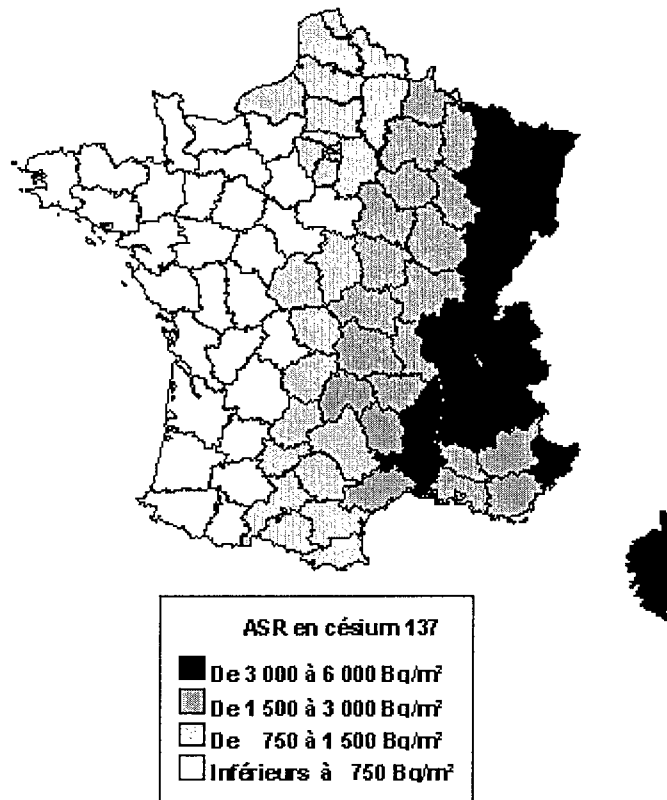
Dans cette zone, les ASR moyennes en ^{137}Cs allaient de 3 000 à 6 000 Bq/m² et celles en ^{131}I de 20 000 à 50 000 Bq/m². Dans la zone la moins contaminée de France, à l'Ouest d'une ligne Haute-Garonne / Seine-Maritime, les ASR étaient inférieures à 750 Bq/m² pour le ^{137}Cs et 5 000 Bq/m² pour l' ^{131}I .

Toutefois, trois facteurs sont responsables de l'hétérogénéité des ASR * au sein d'une même zone et ont pu provoquer des ASR sensiblement supérieures aux moyennes départementales : 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.m⁻² 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, Alpes, Jura, Bas-Rhin.



Enfin, des phénomènes de ruissellement sont probablement à l'origine de surconcentrations significatives sur des surfaces extrêmement réduites, la valeur maximale relevée par l'IPSN étant pour le ¹³⁷Cs de 314 000 Bq/kg de sol sec à Isola 2000 (Alpes Maritimes). Compte tenu de l'exiguïté des surfaces concernées, il n'est pas significatif de transformer les activités massiques mesurées en estimations d'Activités Surfaiques Rémanentes.

En conclusion, chacune des zones identifiées sur la carte ci-dessus constitue un ensemble homogène du point de vue des Activités Surfaiques Rémanentes moyennes. Néanmoins, il existe une hétérogénéité au sein de chaque zone, qui se traduit par une variation des ASR mesurées ponctuellement.

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

Les concentrations de ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs et ¹³¹I dans les produits agricoles ont atteint des **maxima immédiatement après les dépôts**, puis ont déçu avec des dynamiques variables. Pour **le lait et la viande**, les activités massiques moyennes en césium 137 début mai 1986 étaient de l'ordre de la centaine de Bq/kg dans tout l'Est de la France. Les valeurs maximales observées pour la viande pendant l'été 1986 ont été d'environ 1000 Bq/kg. A l'entrée de l'hiver, elles étaient revenues à une valeur de l'ordre de la dizaine de Bq/kg pour la viande et 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 et n'étaient plus que de quelques Bq/kg dès 1987. La décroissance a été plus lente dans le sud-est que dans le reste du pays.

En ce qui concerne l'¹³¹I, dans la même zone, les concentrations moyennes à l'origine ont pu atteindre plusieurs centaines de Bq/kg mais la décroissance a été beaucoup plus rapide avec une période effective d'environ 5 jours.

Les légumes-feuilles ont été les végétaux les plus contaminés. Les concentrations en ¹³⁷Cs ont atteint quelques centaines de Bq/kg dans les jours qui ont suivi les dépôts, notamment dans le nord-est ; pour l'¹³¹I, les valeurs aux mêmes endroits ont atteint quelques milliers de Bq/kg. Dans les

deux cas, la décroissance a été très rapide, avec des concentrations en ^{137}Cs de quelques Bq/kg et la disparition de ^{131}I dès juillet 1986. Pour les autres végétaux, les concentrations ont été plus faibles, mais avec une dynamique de décroissance plus lente, notamment en ce qui concerne les fruits, en raison du stockage de radiocésiums dans le bois des arbres. Actuellement, les concentrations se trouvent uniformément 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 de cette concentration dans le temps est beaucoup plus lente ; les teneurs en ^{137}Cs des champignons et du gibier ont peu varié depuis 1986. Actuellement, leur contamination peut être jusqu'à 10 000 fois plus forte que celle des céréales ou des produits issus de l'élevage tels que le lait et la viande. **Ponctuellement, les teneurs en ^{137}Cs dans les produits forestiers 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 évalué 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 relatives à l'immersion dans le panache.

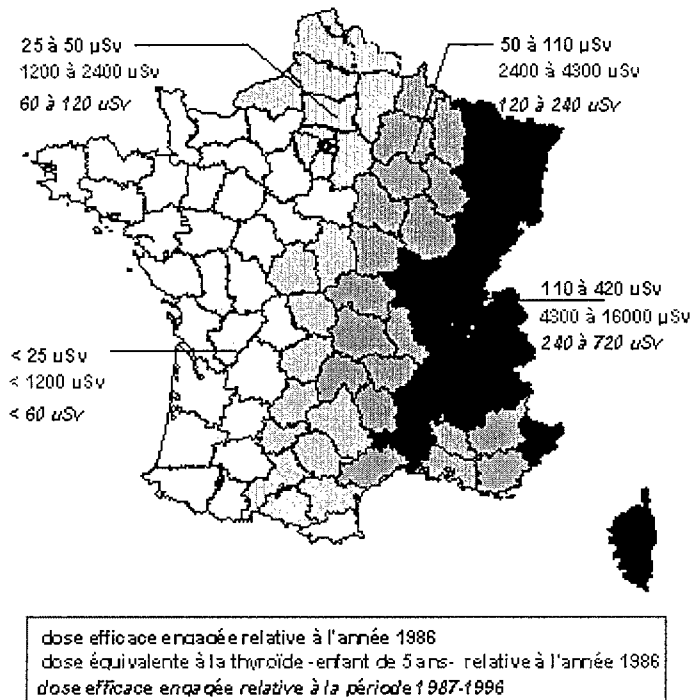
En ce qui concerne les expositions moyennes, les hypothèses de calcul prennent en compte un scénario réaliste correspondant au mode de vie le plus répandu. Le régime alimentaire, compte tenu de la taille des régions concernées, est basé sur une hypothèse d'autarcie complète.

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 mis en cause, ^{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 engagée en 1986 pour ces personnes serait de l'ordre de **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.



VI - coopération 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 à l'horizon 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 Bélarus et la Russie sur des projets scientifiques relatifs aux conséquences de la catastrophe 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 (Chornobyl Centre for Nuclear Safety, Radioactive Waste and Radioecology, créé par décret du gouvernement ukrainien en 1996).

Les Etats-Unis ont également signé avec l'Ukraine, en 1996, un accord de coopération qui s'inscrit dans la perspective de création d'un centre de recherche international à Tchernobyl. D'autres projets bilatéraux orientés vers ce même objectif et impliquant notamment le Royaume-Uni, l'Italie, le Canada et le Japon, sont actuellement en cours d'élaboration.

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'Ecus sur trois ans.

3. Les enjeux

Depuis douze 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 la catastrophe 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.

L'action franco-allemande aux côtés du Centre de Tchernobyl est programmée sur trois ans. Pour cette période, la France et l'Allemagne dotent trois grands projets de coopération d'un budget de l'ordre de 6 millions d'Ecus :

**l'évaluation de la sûreté du sarcophage de Tchernobyl ;
l'étude des conséquences radioécologiques de l'accident ;
l'étude de son impact sanitaire.**

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

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

Am = Américium (numéro atomique 95). L'américium n'existe pas dans la nature, il est obtenu par bombardement de l'uranium au moyen de particules alpha.

Atome : constituant la 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 bore ou de cadmium 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 exposés entre les sources de rayonnement (produits de fission présents dans le réacteur) et le milieu extérieur. Ces protections sont constituées successivement par :

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

Ba = Baryum (numéro atomique 56). Métal alcalino-terreux.

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 des activités tellement faibles que l'on emploie habituellement ses multiples : • le MBq (Méga ou million de becquerels), le GBq (Giga ou milliard de becquerels).

Bêta : les particules composant le rayonnement bêta sont les électrons de charge négative ou positive.

Bore : produit absorbeur de neutrons (d'où sont 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. Son isotope, le césium 137, est un produit de fission radioactif que l'on trouve dans les différents circuits de la zone nucléaire.

Coeur : équivalent du foyer dans une chaudière classique, le cœur 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 réacteurs à eau pressurisée).
d'éléments radioactifs. Des écrans de béton ou de plomb permettent de s'en protéger (symbole γ)

Concentration maximale admissible : limite de radioactivité qui ne doit pas être dépassée pour une installation en fonctionnement normal. En France, elle correspond à 7 Bq d'iode 131 / m³ dans l'air et 40 Bq de césium 137 par litre dans l'eau de boisson. Les valeurs naturelles sont de 1 Bq/l dans l'eau de pluie, 4 dans l'eau de certains fleuves (comme le Rhône) et 10 à 12 dans l'eau de mer. Les engrais phosphatés renferment 5000 Bq/kg.

Criticité : risque de reprise des phénomènes de fission dans le cœur du réacteur (dans le cas du réacteur accidenté de Tchernobyl notamment).

Curie : Ci = ancienne unité d'activité radioactive. 1 Curie = 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 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 dans des conditions de sécurité et de rentabilité satisfaisantes. 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 de combustible : enveloppe métallique et étanche en forme de crayon qui entoure les pastilles d'uranium 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 : rayonnement électromagnétique, très pénétrant mais peu ionisant, émis par la désintégration

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, xénon, krypton) 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.

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 : l'uranium 234 (92 protons, 92 électrons et 142 neutrons), l'uranium 235 (92 protons, 92 électrons et 143 neutrons) et l'uranium 238 (92 protons, 92 électrons et 146 neutrons). On recense actuellement environ 325 isotopes naturels et 1200 isotopes créés artificiellement.

Période radioactive : temps nécessaire pour que la quantité d'atomes d'un élément radioactif se soit désintégrée de la 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.

RBMK : Les *Reactor Bolshoi Moschmosti Kanalnyy* sont des réacteurs à tubes de force refroidis par un mélange eau-vapeur et modérés en 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 afin d'éviter sa vaporisation. Le parc électronucléaire français repose essentiellement sur l'utilisation de cette filière qui compte, avec des réacteurs de 900 MW et de 1300 MW le plus grand nombre d'unités en service dans le monde.

Ru = Ruthénium (numéro atomique 44)

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 le strontium 90, qui se fixe dans les tissus osseux.

Terme source : quantité et nature des corps radioactifs relâchés en cas d'accident dans l'enceinte

de confinement du réacteur puis de ceux susceptibles de contaminer l'extérieur en cas de fuite ou de rupture de cette dernière barrière. Le terme source s'exprime en pourcentage de la quantité initiale de produits de fission présente dans le cœur du réacteur.

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

Transuraniens : famille des éléments chimiques plus lourds que l'uranium (numéro atomique 92). Les principaux sont : Neptunium (93), Plutonium (94), Americium (95), Curium (96). Un écran de quelques mètres d'air ou une simple feuille d'aluminium suffisent à les arrêter (symbole B).

U = Uranium (numéro atomique 92)

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).

1 1 térabecquerel = 1 Tbq = mille milliards de becquerels

2 1 curie = 37 000 becquerels

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