

Tchernobyl

25 ans après



STUDIECENTRUM VOOR KERNENERGIE
CENTRE D'ETUDE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE

Rédaction
SCK•CEN

Avec la contribution de

Philippe Antoine

Max Bausart

Michel Bruggeman

Johan Camps

Louis de Saint-Georges

Andrew Dobney

Luc Holmstock

Christian Hurtgen

Paul Jacquet

Frank Joppen

Felice Mastroleo

Lieve Sweeck

Hans Vanmarcke

Eric Van Mieghem

Ellen Van Roey

Anne Verledens

Tchernobyl

25 ans après



	Préface	4
1	L'accident	6
	Description de l'accident	6
	Causes de l'accident	7
	Développement ultérieur de l'accident	7
	Comparaison avec les réacteurs nucléaires belges (du type à eau pressurisée)	8
2	Conséquences de l'accident pour les travailleurs, les services de secours et la population locale	9
	Aperçu général de l'exposition	9
	Effets sanitaires constatés chez les travailleurs, les services de secours et la population locale	11
	Contamination de la chaîne alimentaire	17
3	Conséquences de l'accident en Belgique	20
	Aperçu de l'exposition	20
	Effets sanitaires pour la population belge	21
	Contamination de la chaîne alimentaire en Belgique	22
4	Impact de Tchernobyl sur l'organisation du plan d'urgence en Belgique	24
	Diffusion de l'information et assistance étrangère	24
	Directives concernant les produits agricoles contaminés	24
	L'organisation belge	24
5	Résumé	28
6	Pour plus d'informations	30

Préface

Le 26 avril 1986, le réacteur de l'unité 4 de Tchernobyl explose. C'est le début du plus grand accident de l'histoire des applications pacifiques de l'énergie nucléaire. Aujourd'hui, 25 ans plus tard, les causes aussi bien que les conséquences de l'accident ont fait l'objet d'études très approfondies, et beaucoup de leçons ont pu en être tirées.

Les principales causes de l'accident furent:

- la conception RBMK du réacteur, instable et non fiable. Les réacteurs de type RBMK utilisés à Tchernobyl sont conçus pour produire de l'électricité mais aussi du plutonium à usage militaire. De ce fait, l'événement ne peut être dissocié du contexte politico-militaire de l'ancienne Union Soviétique;
- le manque de formation théorique et de connaissances des opérateurs. Pendant la guerre froide, la sécurité n'était de toute évidence pas une priorité. L'absence de culture de la sécurité joua un rôle critique à Tchernobyl;
- le climat de stricte confidentialité qui régnait dans l'ex-Union Soviétique. Dans le contexte de l'époque, les opérateurs n'étaient pas supposés avoir de réflexion critique, ni prendre d'initiative dans une situation officiellement impensable.

Cette brochure décrit les principaux éléments techniques et les erreurs humaines qui furent à la base de l'accident. Elle décrit également les conséquences de l'accident pour la population et pour l'environnement, de même que ses conséquences institutionnelles. Par contre, elle n'aborde pas les aspects politico-militaires sous-jacents.

Localement, l'accident a suscité une très grande détresse humaine. Celle-ci est, par définition, très difficilement quantifiable. Bien sûr, le nombre de victimes pouvant être imputé directement à l'accident est connu: il s'élève à 49. En 2006, le nombre de décès supplémentaires attendus, suite à des cancers, a été estimé à 4 000, avec cependant un haut degré d'incertitude. Réduire la souffrance humaine à un nombre de décès est toutefois beaucoup trop restrictif. Dans les anciennes républiques soviétiques, les conséquences sociales de l'accident sont très difficiles à objectiver en raison de la grande convergence entre les intérêts économiques et politiques, du suivi médical bien meilleur après l'accident qu'auparavant, du déplacement incontrôlé de centaines de milliers de personnes, etc... Ce texte donne une description aussi objective que possible des suites de l'accident pour les travailleurs, les équipes de secours et la population locale.

Tchernobyl est situé en Ukraine, à environ 2 000 km à l'est de Bruxelles, près de la frontière commune entre la République du Bélarus actuelle, la Russie et l'Ukraine. Quelques jours après l'accident, après avoir survolé l'est, le nord et le sud de l'Europe, le nuage radioactif a atteint la Belgique. Le SCK•CEN et d'autres institutions ont suivi très minutieusement l'augmentation de la radioactivité en Belgique. Celle-ci n'a jamais donné lieu à des doses alarmantes et elle est aujourd'hui négligeable. Les conséquences de l'accident sur le plan de la santé et de la chaîne alimentaire en Belgique sont traitées plus loin dans cette brochure.

Sur le plan international, la conséquence la plus importante de l'accident fut sans aucun doute son impact sur l'opinion publique. La population était à juste titre fort inquiète à la suite de l'accident, entre autres en raison du climat de secret entretenu autour de celui-ci par les autorités soviétiques. Nous en avons tous, individuellement, tiré nos propres conclusions. Au niveau institutionnel, des décisions ont également été prises, comme une réorganisation des actions à prendre en situation d'urgence ou la création de l'Agence Fédérale pour le Contrôle Nucléaire (AFCN). Les retombées de l'accident sur l'organisation du plan d'urgence sont explicitées dans le texte.

Le SCK•CEN

En tant qu'institution fédérale de recherche, le SCK•CEN est statutairement chargé, entre autres, 'd'effectuer de la recherche relative aux aspects de sûreté, de gestion des déchets, de protection de l'homme et de l'environnement, de gestion des matières fissiles et autres matières stratégiques et des implications sociales dans une perspective de développement durable', et 'de développer, rassembler et répandre la connaissance nécessaire par la formation et la communication'.

En 2010, le gouvernement belge a libéré un budget pour le développement d'un nouveau type de réacteur de recherche, nommé MYRRHA. Ce dernier sera utilisé entre autres pour l'étude des matériaux dans le cadre des réacteurs de quatrième génération, et pour la production de radio-isotopes pour des applications médicales et industrielles.

En collaboration avec des partenaires nationaux et internationaux, le SCK•CEN réalise ou a réalisé de nombreuses recherches liées à l'accident ou à ses causes:

- des recherches en radio-écologie, sur le comportement des radionucléides dans la zone la plus contaminée située à proximité du lieu de l'accident de Tchernobyl;
- des recherches sur l'influence de modèles climatiques sur la dispersion des radionucléides;
- le développement de logiciels pour l'analyse de la sécurité des réacteurs en situation d'accident;
- l'aide au développement de techniques de décontamination et de démantèlement appropriées, pour les réacteurs RBMK de l'ancien bloc de l'Est.

On trouvera un aperçu complet des recherches effectuées au SCK•CEN sur notre site web (<http://www.sckcen.be>).

La mission du SCK•CEN stipule explicitement son rôle dans la diffusion de son expertise. Ce texte a pour but de fournir aux médias, aux autorités politiques et à toutes les personnes intéressées, des faits scientifiques concernant l'accident et ses conséquences, et de leur fournir des sources d'information plus larges. Pour la rédaction de cette brochure, le SCK•CEN s'en est tenu strictement à sa volonté d'ouverture scientifique, d'indépendance et d'intégrité conformément à sa charte d'éthique.

[Prof. Frank Deconinck](#)
[Président du Conseil d'Administration](#)

L'accident

Description de l'accident

Le 25 avril 1986, le réacteur n° 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl (voir figure 1) devait être arrêté pour des raisons d'entretien et profitant de cette occasion, réaliser un test. Le maintien en fonction d'un certain nombre d'éléments d'une centrale nucléaire requiert de l'électricité. En cas d'urgence, des moteurs diesel sont prévus, mais ils ont besoin de quelques secondes pour démarrer. Après l'arrêt du réacteur, la turbine à vapeur continue à tourner en raison de sa masse et de sa vitesse importante. Cette énergie est utilisable pour générer de l'électricité durant la brève période séparant l'arrêt du réacteur et le démarrage des moteurs diesel. Ce système ne fonctionnait pas convenablement dans la centrale de Tchernobyl. Un nouveau système avait été installé et devait être testé. Pour pouvoir procéder au test, un certain nombre de systèmes de sécurité furent mis hors service. Le test était considéré comme une tâche de routine ne nécessitant pas de mesures de sécurité particulières.



► Fig. 1 – Le site de Tchernobyl avec ses quatre réacteurs. L'accident eut lieu dans l'unité numéro 4.

Les opérateurs commencèrent à diminuer la puissance du réacteur le 25 avril à 1 heure du matin. A 14 heures, le réacteur fournissait encore la moitié de sa capacité maximale et les conditions étaient réunies pour procéder au test. La société de distribution d'électricité demanda alors de ne pas arrêter le réacteur, à cause d'une trop grande consommation sur le réseau. A 23 heures, après un délai de neuf heures, la centrale obtint l'autorisation de stopper la fourniture de courant pour procéder au test. En raison d'une erreur dans la mise au point d'un système de réglage, la puissance diminua à un niveau trop bas. A cet instant, le réacteur aurait dû être arrêté sans effectuer le test. Mais les opérateurs voulurent quand même réaliser le programme prévu et essayer de ré-augmenter la puissance. Ceci n'était possible qu'en retirant du réacteur bien plus de barres de contrôle que ce qui était autorisé.

L'exécution du programme de test commença le 26 avril à 1 heure 22, alors que le réacteur ne fonctionnait pas conformément au régime d'exploitation autorisé. Les opérateurs débranchèrent la protection automatique qui doit arrêter le réacteur lorsque l'apport de vapeur vers la turbine est coupé. Ceci n'était pas prévu dans le programme, mais donnait aux opérateurs la possibilité de répéter le test en cas d'échec.

A 1 heure 23 minutes et 4 secondes, les opérateurs débranchèrent la turbine à vapeur. Les pompes de refroidissement du réacteur se mirent à l'arrêt. Toutefois, les opérateurs constatèrent que la puissance du réacteur était en train d'augmenter!

A 1 heure 23 minutes et 40 secondes, ils poussèrent sur le bouton destiné à laisser tomber les barres de contrôle, afin d'essayer d'arrêter le réacteur manuellement. Quelques secondes plus tard, des chocs furent ressentis dans la salle de contrôle. Un certain nombre de barres de contrôle n'étaient pas tombées complètement dans le cœur. Des observateurs



► Fig. 2 – Le réacteur détruit.

qui se trouvaient en dehors de la centrale entendirent deux explosions consécutives. Des matériaux enflammés furent projetés dans l'air et mirent le feu au bâtiment de la turbine.

Causes de l'accident

L'accident fut le résultat combiné d'une série d'erreurs humaines et d'une conception peu fiable du réacteur. Nous avons déjà évoqué les erreurs humaines dans la description de l'accident. Une première erreur fut de lever les barres de contrôle plus haut que ce que les procédures de la centrale n'autorisaient. Une seconde erreur grave fut de débrancher le système de protection automatique juste avant le test, en enfreignant les consignes relatives à l'exécution du test. Deux raisons sont susceptibles d'expliquer cette attitude. La première a trait au report du test, suite à la demande de maintenir le réacteur opérationnel plus longtemps. Du fait de ce report, nous étions déjà dans la nuit du vendredi au samedi et les opérateurs voulaient encore exécuter le test avant la fin de la semaine. La seconde est liée à la réalisation de ce test par les seuls opérateurs, en l'absence de personnel dirigeant. Les opérateurs improvisèrent quelques mesures d'intervention dans le but probable de faciliter le test mais sans en mesurer les conséquences possibles.

La seconde cause de l'accident tient au concept du réacteur. Ce type de réacteur est fondamentalement différent de ceux utilisés dans le monde occidental. Le problème avec les réacteurs comme celui de Tchernobyl (RBMK) est que dans certaines circonstances, ils se comportent de manière instable. L'acronyme RBMK signifie en Russie: Reaktor Bolshoy Mosjtsjnosty Kanalny, ce qui signifie: 'réacteur de grande puissance à tube de force'.

Une augmentation de la puissance, par exemple à la suite d'un dérèglement, entraîne une élévation de la température de l'eau de refroidissement. Pour qu'un réacteur soit sûr, il doit réagir à une telle situation par une diminution automatique de la puissance. Les réacteurs RBMK ont tendance à réagir de manière inverse dans certaines circonstances. Une montée en puissance mène à une élévation de température qui entraîne à son tour une nouvelle hausse de la puissance, de sorte que la température augmente encore et provoque à nouveau une augmentation de la puissance. Si cette réaction nucléaire en chaîne n'est pas interrompue rapidement, elle mène inévitablement à une explosion. Cette explosion peut être comparée, par exemple, à celle qui surviendrait dans une installation à vapeur suite à une surchauffe. En enfreignant à plusieurs reprises les procédures décrites, les opérateurs entraînèrent le réacteur vers une situation incontrôlable.

Développement ultérieur de l'accident

Après les explosions, un des opérateurs alla voir le réacteur. Il vit que celui-ci était totalement détruit (voir figure 2). Le couvercle du réacteur (un lourd couvercle en béton) s'était soulevé pour retomber en oblique. Le cœur du réacteur, construit avec des blocs de graphite et contenant les éléments combustibles, était en flammes. Cet opérateur reçut une dose d'irradiation mortelle.

Les centrales RBMK ne sont pas pourvues d'une enceinte isolant complètement le bâtiment de l'extérieur, ce qui faci-



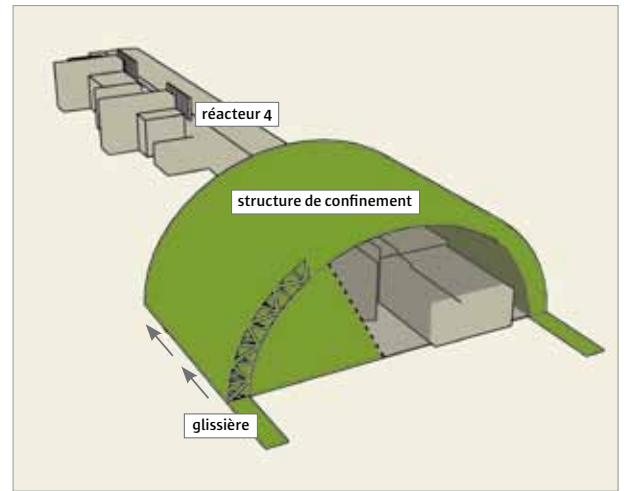
➤ Fig. 3 – Le premier sarcophage.

lita grandement la dispersion de la radioactivité à l'extérieur.

Immédiatement après l'accident, deux types d'action s'imposaient: il fallait évidemment éteindre l'incendie, mais il fallait avant tout être sûr que la réaction nucléaire en chaîne s'était arrêtée. La seule possibilité pour l'arrêter était de larguer un matériau pouvant, comme les barres de contrôle, absorber les neutrons. Cette tâche fut exécutée par des hélicoptères qui survolèrent le réacteur détruit. De plus, la population aurait dû être avertie immédiatement de l'accident, mais ceci ne fut fait que bien plus tard.

Ultérieurement, il a fallu faire en sorte que la radioactivité encore présente dans le cœur ne se disperse pas davantage dans l'environnement. Pour ce faire, un 'sarcophage' constitué d'une enveloppe de béton, entourant complètement le bâtiment du réacteur fut construit (voir figure 3). Du béton fut également injecté sous le bâtiment, pour éviter que la radioactivité ne pénètre les nappes aquifères. Le premier sarcophage présente des fissures et est instable. La construction d'un nouveau sarcophage a commencé en septembre 2010. Ce nouveau sarcophage est construit à côté du réacteur et sera transporté via des rails par-dessus l'ancien. De cette façon, le démantèlement du réacteur et de l'ancien sarcophage deviendra possible (voir figure 4).

Aujourd'hui, tous les réacteurs de Tchernobyl sont définitivement arrêtés. Quelques années après l'accident, un grave incendie, en dehors de la partie nucléaire, s'était encore déclaré dans un des autres réacteurs de la centrale. Dans l'ancienne Union Soviétique, un certain nombre de réacteurs de ce type sont toujours exploités, mais certaines adaptations ont été réalisées, afin de rendre leur fonctionnement plus sûr.



➤ Fig. 4 – Projet de nouveau sarcophage.

Comparaison avec les réacteurs nucléaires belges (du type à eau pressurisée)

Les réacteurs nucléaires belges diffèrent totalement de ceux de Tchernobyl. Un fonctionnement instable entraînant une montée en puissance n'est pas possible dans des réacteurs à eau pressurisée, tels ceux de Doel ou de Tihange. Ces réacteurs sont conçus de telle façon qu'une augmentation de la température de l'eau de refroidissement entraînera toujours une diminution de la puissance, ce qui rend leur fonctionnement stable. D'autre part, en Belgique, les réacteurs sont pourvus de différentes enceintes de confinement pour éviter tout rejet incontrôlé de matière radioactive; la cuve du réacteur ainsi que les principales installations de sécurité et le générateur de vapeur se trouvent dans un bâtiment pourvu d'une double enceinte d'acier et de béton. Un tel bâtiment est capable de résister à une pression interne et à des forces externes, comme par exemple la chute d'un avion.

L'efficacité d'une telle construction a été démontrée en 1979 aux États-Unis. Le 28 mars 1979, une série de problèmes survinrent dans un des réacteurs à eau pressurisée de la centrale de Three Mile Island à Harrisburg. Suite à un déficit d'eau de refroidissement, un certain nombre d'éléments combustibles se mirent à fondre. Bien que cet accident eut de graves conséquences pour le réacteur, la quantité de radioactivité rejetée dans l'environnement resta faible, grâce à la conception du bâtiment du réacteur.

Sur le plan de l'exploitation du réacteur, une expérience telle que celle qui avait été prévue dans la centrale de Tchernobyl ne serait pas réalisée de la même manière dans notre pays. De tels tests exigent l'accord préalable de l'autorité en charge du contrôle, parfois même la présence d'un inspecteur. De plus, ils ne seraient jamais confiés à des opérateurs et feraient l'objet d'une surveillance particulière.

2

Conséquences de l'accident pour les travailleurs, les services de secours et la population locale

Aperçu général de l'exposition

Différents groupes de population ont été impliqués dans l'accident de Tchernobyl: les travailleurs de la centrale nucléaire, les pompiers et autres services de secours, les liquidateurs qui, ultérieurement, se sont affairés à combattre les conséquences de l'accident, et enfin la population locale des régions contaminées.

Le texte qui suit donne un aperçu des doses de radiation auxquelles ces groupes de population ont été exposés. A titre de comparaison: la dose moyenne annuelle à laquelle

nous sommes exposés en Belgique, et qui est essentiellement due à la radioactivité naturelle et aux applications médicales des rayonnements, est de 4,6 mSv (millisievert); la limite de dose annuelle pour les travailleurs professionnellement exposés se situait en 1986 à 50 mSv et a été abaissée à 20 mSv en 2001. C'est cette dernière valeur (désignée comme 'limite de dose pour les travailleurs') que nous utilisons comme référence dans cet aperçu de l'exposition. Dans le cas des rayons gamma, cette valeur correspond aussi à 20 milligray (mGy). Les chiffres mentionnés ci-après se réfèrent essentiellement aux rapports UNSCEAR 2000 et 2008. (UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation).

Quelles unités?

Le becquerel (symbole Bq) est l'unité de radioactivité. La radioactivité est la particularité qu'ont certains radioéléments de se transformer en un autre élément par désintégration spontanée de leur noyau atomique, en libérant des rayons alpha, bêta ou gamma. Un becquerel correspond à une désintégration par seconde.

Le Gray (symbole Gy) est l'unité de dose absorbée. C'est la quantité d'énergie de rayonnement déposée dans une certaine quantité de matière. Un gray correspond à un dépôt d'énergie de 1 joule par kilogramme. Le gray est l'unité indiquée pour des doses de radiations très élevées qui peuvent induire des effets à court terme (syndrome aigu d'irradiation).

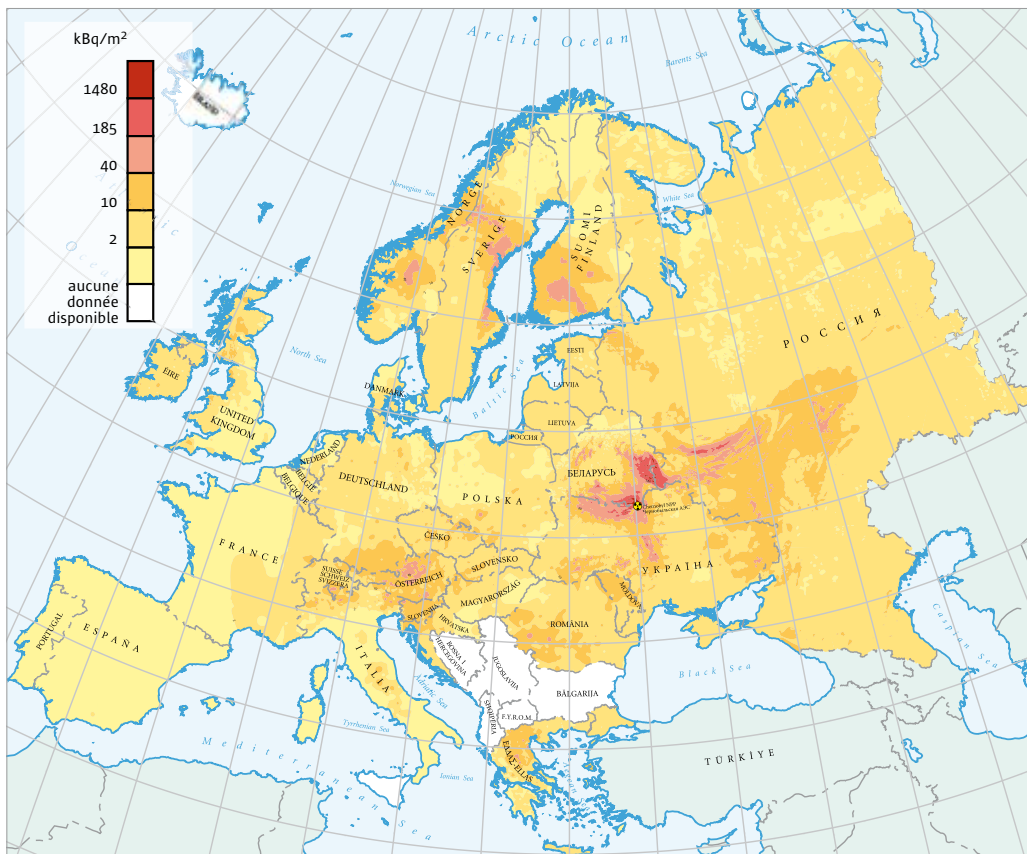
Le Sievert (symbole Sv) est l'unité utilisée pour exprimer les effets des radiations ionisantes sur la santé de l'homme à long terme (cancers et autres affections).

Rejet de matières radioactives en dehors du réacteur

Durant les 10 premiers jours suivant l'accident, tous les gaz et une partie des autres matières radioactives (radionucléides) qui se trouvaient dans le cœur du réacteur furent dispersés dans l'atmosphère. Les experts ont estimé que 50% ($1\,760\,10^{15}$ Bq) de tout l'iode radioactif qui se trouvait dans le cœur au début de l'accident s'est retrouvé dans l'atmosphère. L'estimation actuelle des quantités d'iode rejetées est 5 fois plus importante que celle que l'on avait admise en 1988. Pour le césium radioactif, l'estimation actuelle du rejet est de l'ordre de 30% ($85\,10^{15}$ Bq), ce qui concorde assez bien avec les évaluations précédentes.

Contamination de l'environnement autour de Tchernobyl

A la suite de l'accident, de grandes étendues de terre situées en Ukraine, République du Belarus et la Fédération de Russie subirent une contamination radioactive. A long terme, c'est surtout la contamination radioactive par le césium qui est importante. Les conditions atmosphériques prévalant durant l'accident entraînèrent une dispersion très inégale de la contamination.



► Fig. 5 – Contamination du sol par le césium-137 en Europe, le 10 mai 1986. La contamination résulte tant de l'accident de Tchernobyl que des tests atmosphériques d'armes nucléaires réalisés précédemment.

Au total, dans ces trois républiques, une superficie d'environ 150 000 km², équivalente à 5 fois celle de la Belgique, fut sérieusement contaminée par du césium radioactif (plus de 37 kBq/m², soit plus de 10 fois la contamination mesurée en Belgique). La contamination exprimée en kBq/m² en Europe est montrée sur la carte dans la figure 5.

Exposition des travailleurs et des services de secours

Environ 600 membres du personnel et des services de secours étaient présents durant la nuit de l'accident et les heures qui suivirent. Les membres du personnel portaient des dosimètres dont la capacité de mesure était limitée à environ 0,02 Gy (gray). Étant donné les champs d'irradiation élevés régnant dans les environs du réacteur, les doses reçues furent supérieures à celles mesurables par les dosimètres. Quant aux pompiers engagés, ils ne portaient pas de dosimètre. La dose reçue par toutes ces personnes fut donc estimée par la méthode de dosimétrie biologique, qui fournit une estimation raisonnable pour de fortes doses.

De ces personnes, 237 présentèrent des symptômes de la maladie des rayons. Le diagnostic de syndrome aigu d'irradiation fut confirmé plus tard chez 134 personnes. Parmi

celles-ci, 41 avaient reçu une dose corporelle d'irradiation externe inférieure à 100 fois la limite de dose annuelle pour les travailleurs (2,1 Gy), 50 autres entre 100 et 200 fois (2,2 et 4,1 Gy), 22 entre 200 et 300 fois (4,2 et 6,4 Gy) et 21 travailleurs entre 300 et 800 fois cette limite de dose annuelle (6,5 et 16 Gy).

La dose corporelle moyenne entraînant le décès de 50% des personnes irradiées endéans les premières semaines est de 5 Gy. En dépit des soins médicaux, 28 personnes décédèrent des suites de l'irradiation au cours des 4 premiers mois suivant l'accident. Deux personnes décédèrent encore pour d'autres raisons, durant l'intervention des services de secours.

Exposition des 'liquidateurs'

Au total, environ 530 000 personnes furent concernées par les travaux de colmatage du réacteur et de nettoyage du site de Tchernobyl et des environs. Près de la moitié d'entre eux étaient des militaires. En 1986, un registre de doses pour ces 'liquidateurs' a été créé. L'interprétation des données de dosimétrie n'est pas facile. Différentes sortes de dosimètres ont été utilisées sans procéder à des comparaisons

entre ceux-ci. Un grand nombre de mesures donnèrent des valeurs proches de la limite de détection et les résultats furent parfois fortement arrondis. Pour les années 1986-2005, la dose corporelle moyenne reçue par les liquidateurs fut évaluée à 117 mSv, soit environ 6 fois la limite de dose annuelle pour les travailleurs.

Exposition externe de la population autour de Tchernobyl

Cinq millions de personnes vivent sur les 150 000 km² de terres hautement contaminées par le césium radioactif (plus de 37 kBq/m²). La population en question est répartie de façon plus ou moins égale entre les trois républiques concernées.

En quelques semaines, 115 000 personnes et 60 000 animaux furent évacués des régions les plus contaminées d'Ukraine et de la République du Belarus. D'importantes campagnes de mesure et de calculs furent réalisées afin de déterminer la dose d'irradiation externe subie par ce groupe de population. Selon les estimations, environ 30% de ces personnes furent exposées à une dose inférieure à 10 mSv, 56% entre 10 et 50 mSv, 10% entre 50 et 100 mSv et seulement 4% à une dose supérieure à 100 mSv. Après 1986, 220 000 personnes vivant dans des régions plus éloignées furent aussi évacuées.

Avec une mise en garde plus rapide et le conseil de rester à l'intérieur des habitations, la dose reçue par la population aurait pu être limitée. De nombreuses personnes habitent dans des régions qui n'avaient pas été évacuées et qui sont très sérieusement contaminées par du césium radioactif (plus de 550 kBq/m²). Dans ces régions, grâce à des mesures appropriées, la dose annuelle a été limitée à 5 mSv, soit un quart de la limite de dose pour les travailleurs. En 1986, cette situation concernait 273 000 personnes, mais suite à l'émigration d'un certain nombre d'entre elles, ce nombre est descendu à 150 000 en 1995. Actuellement, de nombreuses personnes vivent encore dans ces régions.

Exposition interne de la population autour de Tchernobyl

Durant l'accident, la population vivant autour de Tchernobyl respira de l'iode radioactif libéré par le réacteur en feu. Suite à la contamination interne, des cancers de la thyroïde furent constatés chez des enfants. La dose délivrée à la thyroïde dépendit de l'âge, du lieu de résidence, de l'ingestion de nourriture contaminée ainsi que du moment où une évacuation éventuelle eut lieu. Cette dose représenta environ 5% de la dose corporelle totale. Pour les personnes qui furent évacuées au cours des 48 premières heures, la dose reçue par la thyroïde fut estimée à 0,07 Gy pour les adultes et jusqu'à une dose élevée de 2 Gy pour les nourrissons. Pour l'ensemble de ces personnes, elle fut en moyenne de 0,47 Gy. En ce qui concerne les personnes qui ne furent pas évacuées, les doses reçues à la thyroïde par les nourrissons les plus exposés furent estimées à plus d'un Gy, dans chacune des trois républiques.

C'est l'iode radioactif qui a fourni durant les premières semaines suivant l'accident la plus grande contribution à l'irradiation interne. Depuis 1987, l'exposition dans les régions contaminées est surtout due au césium radioactif déposé sur le sol. Le césium est responsable de l'exposition externe mais entre également dans la chaîne alimentaire. La somme des doses de césium (interne + externe) reçues par les habitants des régions contaminées au cours des dix premières années suivant l'accident a été estimée à 10 mSv.

Effets sanitaires constatés chez les travailleurs, les services de secours et la population locale

Il convient de faire une distinction claire entre les effets sanitaires à court terme (qui ne surviennent qu'après une exposition à de fortes doses d'irradiation) et ceux à long terme comme le cancer, qui peuvent aussi survenir après une exposition à de faibles doses.

Degré de sévérité du syndrome d'irradiation	Nombre de patients traités*		Nombre de décès	Nombre de survivants
	à Moscou	à Kiev		
Débutant (stade I)	23	18	0 (0%)	41
Modéré (stade II)	44	6	1 (2%)	49
Sérieux (stade III)	21	1	7 (32%)	15
Très sérieux (Stade IV)	20	1	20 (95%)	1
Total	108	26	28	106

* Le syndrome aigu d'irradiation n'a pas été diagnostiqué chez 103 autres patients hospitalisés.

► *Suivi médical durant les quatre premiers mois, des patients affectés du syndrome d'irradiation à la suite de l'accident de Tchernobyl.*

Effets à court terme: le syndrome d'irradiation

Seuls certains travailleurs de la centrale nucléaire et quelques membres des services de secours extérieurs ont reçu, suite à un manque de précautions durant les interventions, des doses tellement élevées qu'elles ont nécessité leur hospitalisation. Chez 134 des liquidateurs (représentant environ la moitié des patients hospitalisés), des symptômes caractéristiques du syndrome d'irradiation ont été observés, à des degrés divers. De tels symptômes n'ont pas été observés dans la population vivant aux alentours de la centrale.

Les symptômes les plus fréquents du syndrome d'irradiation étaient liés à une atteinte de la moelle osseuse et à des lésions du système gastro-intestinal. Ce furent cependant surtout les brûlures induites par les radiations au niveau de la peau et des muqueuses de la bouche et de la gorge, ainsi que des lésions pulmonaires qui furent responsables des 28 décès enregistrés. Ces décès, survenus au cours des 4 premiers mois suivant l'accident de 1986, doivent être attribués au syndrome d'irradiation (voir tableau ci-dessus). Durant la période de 1987 à 2006, on assista encore au décès de 19 patients initialement hospitalisés pour ce même syndrome ainsi que de deux personnes ayant prêté leur aide aux secours d'urgence. Ce qui porte le total des victimes directes à 49, si l'on considère les 19 décès mentionnés ci-dessus comme directement liés à l'accident.

Effets à long terme

Les études

L'année suivant l'accident, le gouvernement de l'ancienne Union Soviétique décida de recenser les effets à long terme par un suivi continu des personnes qui avaient été le plus exposées aux radiations, soit:

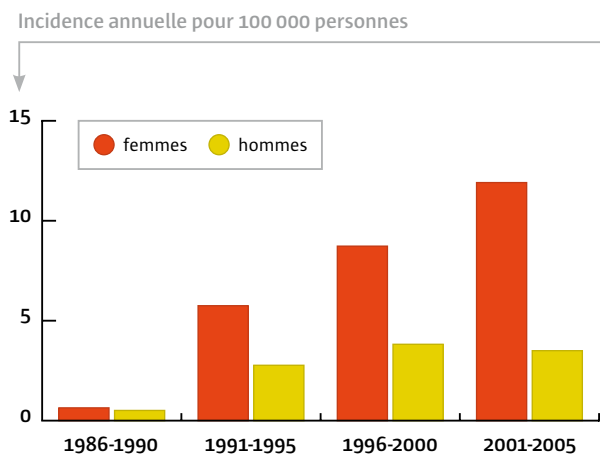
- les personnes engagées pour les travaux de colmatage et de nettoyage (liquidateurs);
- la population évacuée des sites les plus contaminés;
- la population qui résidait toujours dans des sites relativement fort contaminés.

Les enfants des personnes répertoriées dans ces trois groupes (nés après l'accident de 1986) devaient également faire l'objet d'un suivi.

Suite au démantèlement de l'Union Soviétique en 1991, les projets de recherche furent décentralisés et transférés vers les Etats les plus concernés. D'innombrables registres furent constitués au niveau national, pour y consigner les résultats des analyses sanguines, les cancers de la thyroïde, les cancers infantiles, les anomalies héréditaires et les malformations congénitales, etc. Cependant, au fil des ans, les chercheurs des différents Etats se mirent de plus en plus à appliquer leurs propres méthodologies, compliquant de ce fait souvent la synthèse des données des études.

Les résultats: cancers et autres affections corporelles

A ce jour, le seul effet que l'on ait pu démontrer de manière irréfutable dans la population générale est un accroissement net de la fréquence des cancers de la thyroïde chez les enfants des régions les plus contaminées (Biélorussie, Ukraine et territoires adjacents de la Fédération Russe). La figure 6 montre l'évolution du nombre de cancers de la thyroïde en Biélorussie, chez les personnes qui étaient enfants ou adolescents au moment de l'accident. Déjà 4 ans après l'exposition aux produits de fission nucléaire, une nette augmentation de la fréquence de ce type de cancer a été constatée. Il existait aussi une bonne corrélation géographique entre l'apparition du cancer de la thyroïde et le de-



► Fig. 6 – Incidence du cancer de la thyroïde en République du Belarus chez les enfants et les adolescents au moment de l'accident de Tchernobyl (moins de 18 ans en 1986).

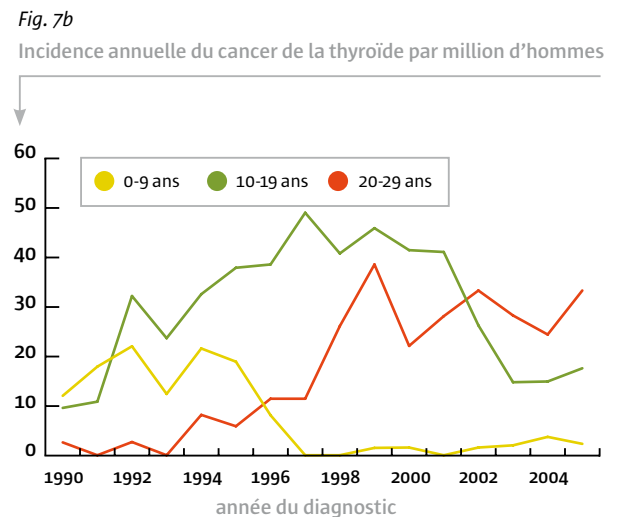
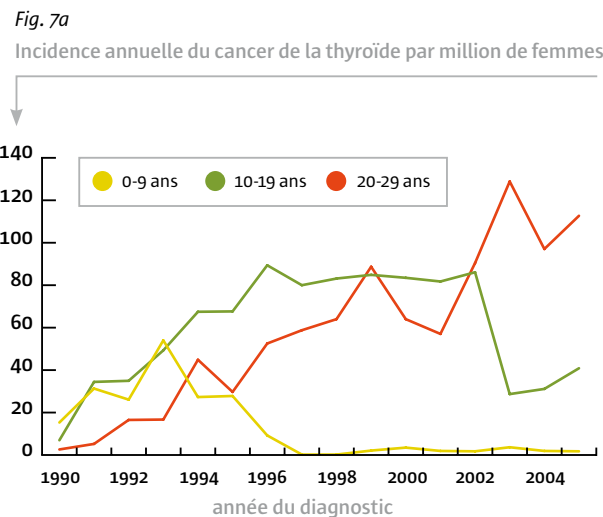
gré de contamination du sol. Le risque de cancer de la thyroïde continue d'augmenter chez les personnes qui étaient enfants ou des adolescents au moment de l'accident.

Quelles sont les raisons de cet accroissement significatif du taux de cancers de la thyroïde parmi les jeunes enfants? D'une part, les isotopes radioactifs de l'iode constituent une fraction importante des produits de fission nucléaire originellement formés, et d'autre part la thyroïde concentre ces isotopes de l'iode, avec comme conséquence des doses parfois très élevées à cet organe. De plus, les jeunes enfants sont nettement plus sensibles que les adultes à l'induction de cancer de la thyroïde par les radiations. A noter aussi chez les enfants une très nette influence de l'âge: l'accroissement du taux de cancers de la thyroïde fut maximal chez les enfants âgés de moins de 4 ans au moment de l'accident (voir figure 7a et 7 b). Pour une absorption équivalente d'iode radioactif, la dose à la thyroïde sera plus élevée chez les enfants, car une même quantité est concentrée dans un plus petit organe. Dans certaines régions de l'ancienne

Union Soviétique, il existait en outre dès avant l'accident un déficit d'iode dans l'alimentation, avec pour effet une plus grande capacité d'absorption d'iode par la thyroïde. L'absorption d'iode radioactif se fit par inhalation, l'ingestion de légumes contaminés, mais surtout par la consommation de produits laitiers contaminés (représentant une part essentielle de l'alimentation des enfants).

Les raisons pour lesquelles les doses à la thyroïde purent être aussi élevées dans les régions les plus affectées sont qu'aucune mesure de protection ne fut prise et que de l'iode stable ne fut distribué que beaucoup trop tardivement (ou pas du tout) à la population. Par la prise précoce d'iode non radioactif, la thyroïde est rapidement saturée, de sorte qu'elle ne peut plus absorber d'iode radioactif par la suite. Au cours de la période 1991-2005, plus de 6 000 cas de cancers de la thyroïde furent diagnostiqués parmi les (ex-)jeunes gens habitant les régions les plus contaminées. Une fraction importante de ceux-ci peut être imputée à la consommation de lait fortement contaminé par l'iode radioactif (principalement de l'iode-131) durant une courte période suivant l'accident.

Des doses élevées d'iode radioactif peuvent donc provoquer le cancer de la thyroïde. Par l'administration de doses encore beaucoup plus élevées d'iode radioactif, ces cancers peuvent toutefois être guéris et leurs métastases même éliminées, du fait que toutes les cellules cancéreuses sont alors irradiées à dose mortelle. Ce traitement est particulièrement efficace et l'expérience a montré que les chances de survie dans ce cas sont très élevées. Ceci explique aussi pourquoi, jusqu'en 2005, seuls 15 des patients mentionnés ci-dessus avaient perdu la vie. Des réserves doivent cependant être émises concernant ce chiffre. D'une part, la probabilité minimale de décès ne reflète pas la souffrance que le patient et sa famille éprouvent lorsqu'ils sont confrontés à un cancer, et d'autre part la dose massive d'iode radioactif utilisée pour le traitement peut également, à long terme, donner naissance à d'autres cancers.



► Fig. 7 – Incidence du cancer de la thyroïde pour différents groupes d'âge (âge au moment du diagnostic) dans la population féminine et masculine en République du Belarus.

Jusqu'à présent, la mise en évidence d'un excès d'autres types de cancers (y compris la leucémie) demeure difficile. Certaines études tendent à suggérer une augmentation éventuelle de la fréquence des leucémies (et aussi de la cataracte, une affection du cristallin) parmi certains groupes de population plus exposés ayant participé au nettoyage du site au cours des années 1986-1987. De nombreux chercheurs mettent toutefois en doute ces conclusions en raison de certaines erreurs méthodologiques. Le nombre de tumeurs diagnostiquées au sein des services de nettoyage les mieux suivis a été comparé aux chiffres nationaux moins bien documentés. L'augmentation de l'incidence des tumeurs mentionnée dans ces études pourrait ainsi être la conséquence, en tout ou en partie, d'un effet dit de 'screening'. Certains scientifiques avaient par exemple émis la même hypothèse en relation avec un début d'augmentation de la fréquence du cancer de la thyroïde parmi les jeunes des régions les plus contaminées de l'ancienne Union Soviétique en 1990. Les études qui ont suivi ont toutefois démontré que cette hypothèse était infondée.

Partant des doses d'irradiation reçues par les 600 000 personnes les plus exposées (c.-à-d. les personnes employées au nettoyage du site durant la période 1986-1987, la population évacuée ainsi que les habitants des territoires les plus contaminés), des estimations du nombre de décès par cancer à venir ont été réalisées en 2006 sur base d'un modèle. Selon celles-ci, l'augmentation globale de ce nombre (tous

types de cancers confondus) considérée sur l'ensemble de la vie de ces personnes les plus exposées, serait d'environ 4 000.

On pourrait de même s'attendre à 7 500 cas de cancers de la thyroïde supplémentaires pour le groupe de population (environ 1,1 million d'habitants) habitant les territoires les plus contaminés de Biélorussie, de la Fédération Russe et d'Ukraine. Ces projections ne reposent toutefois que sur des calculs. Jusqu'à ce jour, il s'est en effet révélé difficile de mettre en évidence une augmentation de la fréquence de cancers autres que ceux de la thyroïde. La raison en est que ni les cancers radio-induits ni les décès qu'ils entraînent ne peuvent être différenciés de ceux survenant normalement dans ces régions. En Biélorussie, les probabilités de contracter un cancer ou de mourir d'un cancer avant l'âge de 75 ans sont normalement de $\pm 22\%$ et $\pm 15\%$, respectivement. L'UNSCEAR n'est cependant pas partisan de ces extrapolations sur base d'un modèle, en raison de leur degré important d'incertitude.

La raison pour laquelle l'augmentation du nombre de cancers de la thyroïde ressort si clairement des statistiques est, d'une part, que ce type de cancer survient rarement chez les jeunes et, d'autre part, que la dose moyenne délivrée à la thyroïde dans ce groupe d'âge était particulièrement élevée.

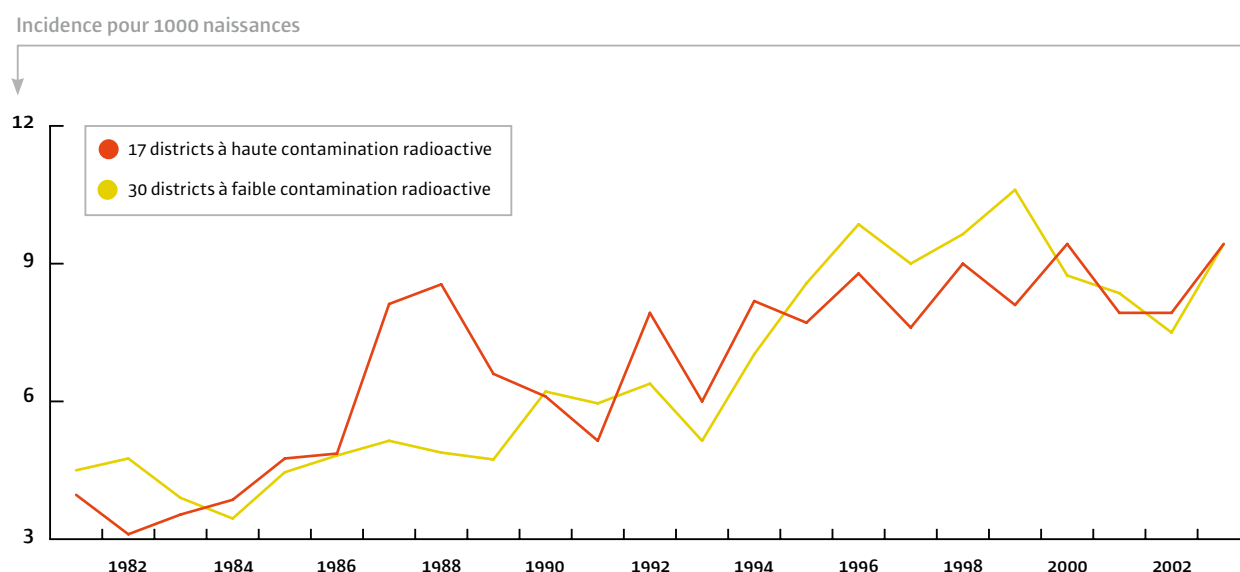
Il ne fait d'autre part aucun doute que de nombreux autres problèmes de santé venus s'ajouter sont la conséquence de la situation économique très difficile dans laquelle les territoires touchés se sont retrouvés après la chute de l'ancienne Union Soviétique. La dégradation claire des soins de santé et des conditions de vie ont même abouti à une diminution de la durée de vie moyenne. Imputer tout cela à l'accident de Tchernobyl serait de toute évidence contraire à la vérité (voir plus loin).

Selon l'UNSCEAR, une augmentation nette du taux d'anomalies congénitales n'a globalement pu être mise en évidence, en dépit des articles publiés à ce sujet par la presse à sensation. De telles anomalies congénitales ont bien été rapportées, mais la question est à nouveau de savoir si leur fréquence s'est accrue de manière statistiquement significative par rapport à la normale et si cette augmentation était bien due à la dose d'irradiation reçue. Cette dernière condition est très importante.

Rien que par l'utilisation de techniques de dépistage plus précises, plus orientées, ou par le recours plus systématique à de meilleurs centres de traitement, il est possible de se trouver confronté sur place à des pseudo-augmentations d'anomalies de toutes sortes.

Selon l'UNSCEAR, les diverses études qui ont suivi l'exposition aux radiations de Tchernobyl n'ont pu démontrer d'augmentation univoque du syndrome de Down (mongolisme), des fausses couches, de la mortalité périnatale (décès à la naissance ou peu après) ou des effets génétiques. Ceci concerne aussi bien la Biélorussie que l'Ukraine et les régions les plus contaminées d'Europe.

Il faut toutefois signaler que plusieurs auteurs ont récemment rapporté une augmentation de la fréquence de certaines anomalies congénitales. L'une de ces études (initiée certes tardivement), centrée sur la période 2000-2006, a montré une telle augmentation dans la région la plus



➤ Fig. 8 – Evolution du nombre de malformations congénitales dans certains districts de la République du Belarus avec un haut ou un faible niveau de contamination du sol.

contaminée d'une province d'Ukraine, par comparaison avec la région la moins contaminée de cette province (Rivne) ainsi qu'avec la moyenne européenne. Bien qu'on ne dispose d'aucune donnée dans ce sens, l'auteur de cette étude a suggéré que ces résultats pourraient être dus à l'ingestion de nourriture contaminée. D'autre part, il a souligné le fait que d'autres facteurs bien connus pouvaient avoir joué un rôle important dans l'étiologie de ces anomalies: par exemple, l'exposition de l'embryon à l'alcool ou un déficit d'acide folique durant la grossesse.

Une autre étude réalisée en Biélorussie s'est basée sur les données récoltées par le National Research Institute for Hereditary and Inborn Diseases. Dans celle-ci, les auteurs ont comparé l'évolution de la fréquence d'anomalies congénitales dans 17 des districts les plus contaminés (contamination du sol par le Cs-137 ≥ 555 kBq/m²) avec celle constatée dans 30 districts beaucoup moins contaminés (contamination du sol par le Cs-137 < 37 kBq/m²). Les résultats de cette étude sont présentés dans la figure 8.

Durant la période 1987-1989, ils ont constaté une augmentation significative du taux d'anomalies congénitales dans les régions les plus contaminées. Après 1989, cette différence statistique a disparu mais une tendance à la hausse a persisté dans les deux groupes.

L'augmentation du taux d'anomalies congénitales au cours de la période 1987-1989 ne ressortait pas d'une étude réalisée précédemment par les mêmes auteurs au niveau de régions plus étendues ('oblasts'). Selon eux, ceci serait dû au fait que les résultats obtenus récemment dans les 17 districts les plus contaminés (contamination du sol par le Cs-137 ≥ 555 kBq/m²) avaient été 'dilués' à l'époque par les résultats des analyses d'autres districts des mêmes oblasts dans lesquels la population vivait sur des territoires peu contaminés. En outre, il y avait dans l'oblast de Minsk servant de contrôle dans la première étude, des territoires dans lesquels la contamination du sol excédait 185 kBq/m².

Effets psycho-sociaux

On ne peut certainement pas sous-estimer les répercussions psychiques de cet accident au niveau du personnel d'intervention et de la population, et selon certains il s'agit peut-être là du principal effet à long terme.

On a constaté chez le personnel d'intervention qui avait été impliqué tout de suite et de manière directe, des symptômes post-traumatiques de stress, tels que de fortes insomnies et le souvenir obsessionnel des événements traumatisants vécus.

Les répercussions psychiques du fait que des familles aient tout à coup dû abandonner leurs biens pour être déplacées vers des colonies situées dans des régions qui leur étaient totalement inconnues ne peuvent être négligées. La rupture des contacts sociaux, jointe aux changements économiques et politiques importants survenus à la veille de la désintégration de l'ancienne Union Soviétique, ne pouvait que renforcer le sentiment d'insécurité, de désarroi, de solitude et d'abandon.

La population qui ne fut pas évacuée considère encore aujourd'hui la contamination résiduelle comme une menace invisible non localisable ou chiffrable, si ce n'est par un appareil de mesure. En raison de ce manque de possibilités de procéder soi-même aux contrôles adéquats, cette population dépend d'experts, de médecins ou de politiciens en lesquels elle n'a pas totalement confiance. De nombreux habitants assistent aux allées et venues des équipes de chercheurs et de celles en charge des mesures, et ils finissent par éprouver le sentiment de servir de cobayes. La population est souvent d'avis que les experts méconnaissent les risques ou les minimisent lorsqu'ils essaient de leur donner des explications et surtout de mettre ces risques en perspective par rapport aux autres risques inhérents à notre société. Cette méfiance ne fait dès lors que renforcer leur angoisse. D'autre part, une corrélation nette a été aussi établie entre l'angoisse des parents et le stress éprouvé par leurs enfants.

Dans la population considérée ci-dessus, une augmentation de la fréquence des maux de tête, des troubles du sommeil et de la concentration, une fragilité émotionnelle et des symptômes dépressifs ont été mis en évidence. Plutôt que d'en attribuer la cause à la mauvaise situation économique, beaucoup ont cherché à rendre l'accident directement responsable de ce mauvais état de santé général. Cette tendance à attribuer tous les problèmes à l'accident nucléaire entraîne régulièrement les personnes dans une fuite de la réalité quotidienne, une dépendance exagérée, un refus de collaboration, la conviction que la résolution de tous les problèmes incombe au système de sécurité sociale et aux autorités. Le peu d'estime de soi mène régulièrement à une consommation exagérée d'alcool et de médicaments, à des accidents de la circulation et au suicide. Il est donc clair que Tchernobyl – en partie avec les changements politiques évoqués ci-dessus – exerce aujourd'hui encore un impact très important sur le bien-être des habitants des régions les plus contaminées.

Contamination de la chaîne alimentaire

Dans les premiers jours qui ont suivi l'accident de Tchernobyl, la contamination de la chaîne alimentaire a résulté principalement des dépôts radioactifs atmosphériques à la surface des légumes à feuilles (ceux dont les feuilles sont comestibles) et en particulier de l'herbe, source du transfert de la radioactivité dans le lait.

Différents éléments radioactifs furent dispersés dans la biosphère lors de l'accident de Tchernobyl. Au cours des premières semaines, c'est l'iode, élément radioactif à courte durée de vie, qui a contribué principalement aux doses radiologiques reçues par les populations. Les enfants, grands consommateurs de lait, étaient plus particulièrement exposés. Par la suite, ce sont les substances radioactives à longue durée de vie comme le césium et, dans une moindre

mesure, le strontium qui contribuèrent principalement à la contamination résiduelle de la chaîne alimentaire.

Les polluants radioactifs qui se sont retrouvés dans le sol après l'accident sont absorbés par voie racinaire, en même temps que les éléments minéraux utiles à la croissance de la végétation. La disponibilité des éléments radioactifs pour la plante dépend essentiellement du type de sol et de la solubilité des radionucléides déposés lors du rejet. Ainsi, le césium peut rester très disponible dans les sols organiques (tourbe, sols de forêt et de prairie naturelle) alors qu'il est progressivement et fortement immobilisé par les argiles dans les sols minéraux. Ceci explique que, dans les régions entourant Tchernobyl où les sols organiques et sableux sont très représentés, une fraction des produits agricoles présente encore des concentrations dépassant les niveaux maximums admissibles. Ces zones restent aujourd'hui sous surveillance.

Pour réduire la contamination des productions agricoles, plusieurs contre-mesures ont été appliquées. Les principales sont:

- le labour profond des sols, pour diluer la radioactivité initialement concentrée dans la rhizosphère;
- le chaulage des sols acides, pour diminuer la solubilité du césium et réduire l'absorption de strontium par les plantes, par un apport de calcium;
- l'application d'engrais minéraux (surtout potasse): l'apport de potassium diminue l'absorption du césium par les plantes;
- la sélection de variétés de plantes agricoles ayant un potentiel d'accumulation des éléments radioactifs plus faible;
- la rationalisation de l'alimentation des animaux de ferme, en fixant les périodes de récolte du fourrage non-contaminé;

Fig. 9a

% de la production annuelle au-dessus des niveaux de référence (Biélorussie)

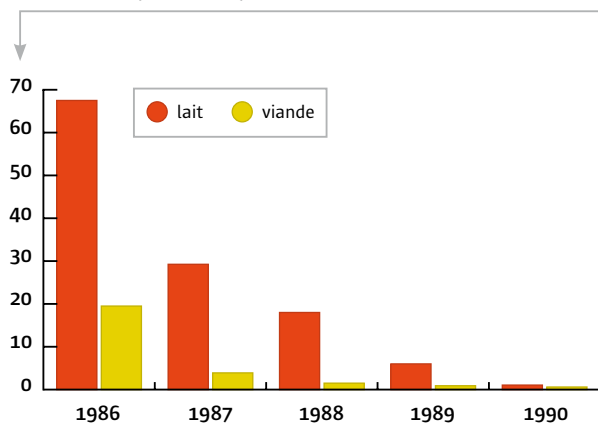
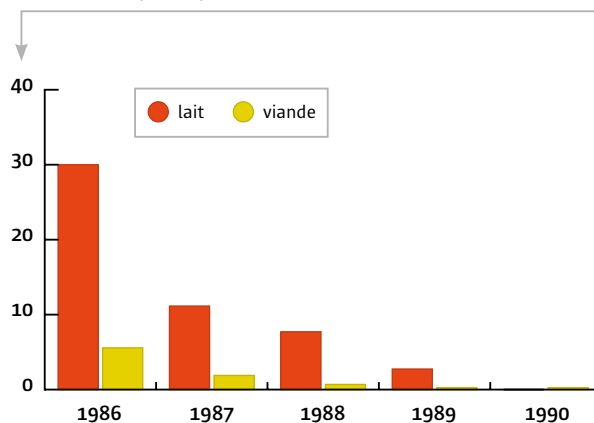


Fig. 9b

% de la production annuelle au-dessus des niveaux de référence (Russie)



► Fig. 9 – Evolution des quantités de produits agricoles contaminés par des niveaux de césium supérieurs aux seuils de référence, en République du Belarus (région de Gomel) et en Russie. La diminution observée résulte de l'application de contre-mesures agricoles et des processus naturels de diminution de la disponibilité du césium-137.

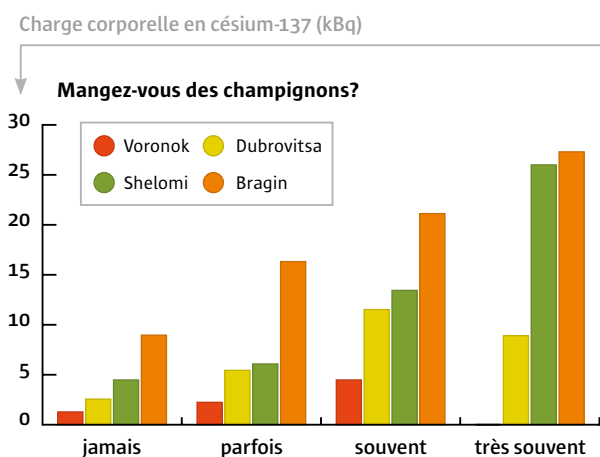
- l'introduction dans la ration alimentaire des animaux d'additifs (bleu de Prusse, minéraux argileux) réduisant l'absorption des radionucléides, surtout du césium, par le tube digestif;
- la transformation des produits agricoles (principalement le lait) en dérivés moins contaminés (comme le beurre et le fromage);
- l'interdiction de l'activité agricole dans les régions les plus contaminées.

Entre 1986 et 1990, l'application de contre-mesures, combinée aux processus naturels d'immobilisation du césium dans les sols, a entraîné une diminution constante des quantités de produits agricoles présentant des niveaux de césium supérieurs aux normes en vigueur (voir figure 9).

Plus tard, la dégradation de la situation économique dans les républiques de l'ancienne Union Soviétique a entraîné une diminution de l'application des contre-mesures. En conséquence, une augmentation de la concentration des radionucléides dans les produits agricoles a été observée

dans certaines régions. Ainsi, dans le district de Novozybkov (Région de Briansk), la réduction des budgets dévolus aux contre-mesures a entraîné une multiplication par 10 du niveau de contamination du foin, des plantes à racine comestible et des pommes de terre, entre 1991 et 2003.

Dans les régions forestières proches de Tchernobyl, la consommation de champignons sauvages et d'autres produits de la forêt représente une part traditionnellement importante de l'alimentation des populations rurales. Du fait des caractéristiques propres aux sols forestiers (riches en matières organiques et pauvres en éléments nutritifs, notamment en potassium), la teneur en césium du sol diminue très lentement et reste disponible pour la végétation. De ce fait, la contamination des produits de la forêt (tels que les champignons, les fruits des bois, ou encore les sangliers) reste remarquablement haute. Une relation claire a été établie entre la charge corporelle en césium des habitants de régions rurales et leur consommation de champignons (voir figure 10).



► Fig. 10 – Relation entre le niveau de contamination en césium-137 des habitants de quatre villages et leur consommation de champignons [d'après Strand et al., 1996, EUR 16539 EN].

La consommation des champignons par le gibier en automne influence directement leur contamination par le césium. Les niveaux individuels de contamination sont cependant très variables. Ils dépendent en effet de la région fréquentée par les animaux et des changements saisonniers dans leur régime alimentaire.

Localement, le niveau de contamination des poissons des lacs peut atteindre plusieurs dizaines de kBq/kg. Les espèces prédatrices, comme la perche et le brochet, montrent des niveaux de contamination plus élevés que ceux des espèces herbivores comme le gardon ou la carpe. Dans certaines régions, des restrictions sont toujours en vigueur concernant la pêche, la chasse au gibier et la consommation de ces produits naturels.

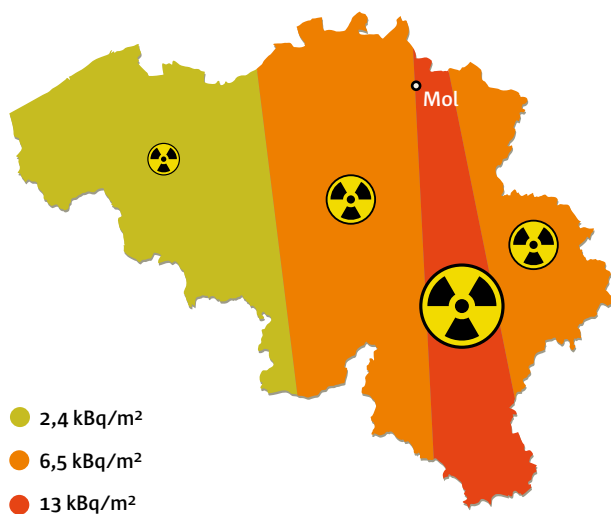
3

Conséquences de l'accident en Belgique

Aperçu de l'exposition

Au cours de la période qui suivit l'accident de Tchernobyl, la population belge fut exposée de différentes manières à la contamination radioactive. L'exposition la plus importante résulta de l'irradiation externe par les particules radioactives déposées sur le sol, de l'inhalation de particules contaminées et de l'ingestion de nourriture contaminée.

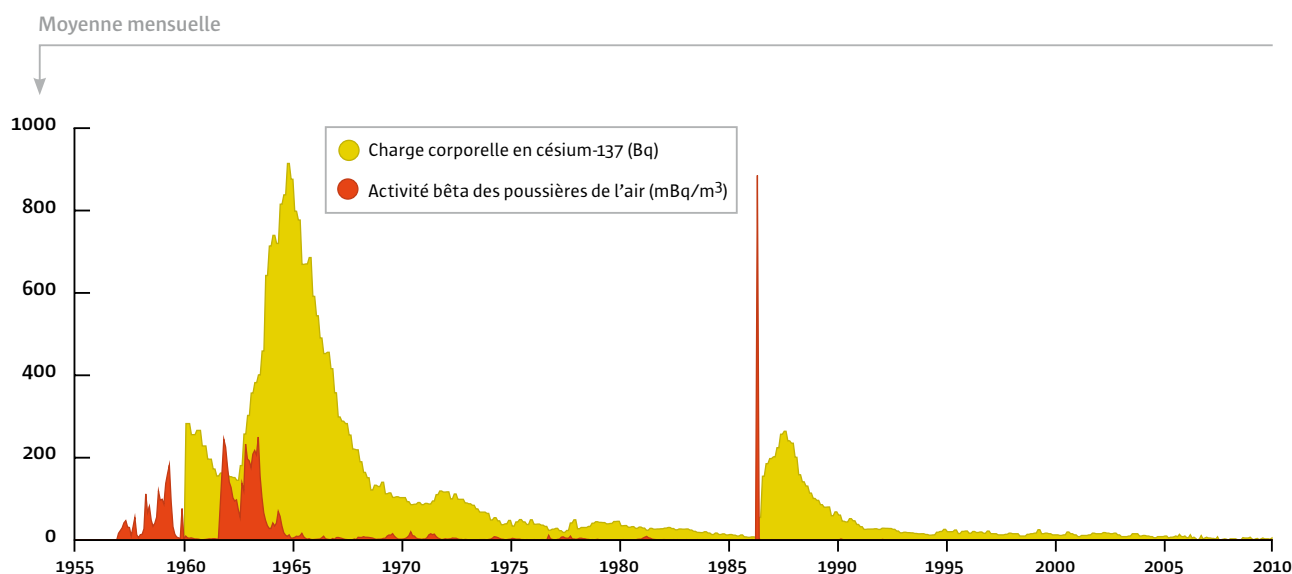
En Belgique, la distribution de la contamination en 1986 a dépendu des conditions atmosphériques. Aux endroits où il pleuvait, les particules radioactives présentes dans l'air sont retombées sur le sol, créant ainsi des zones où la contamination de surface était plus importante qu'aux endroits demeurés secs. La figure 11 montre la contamination en surface du sol par l'iode ($I-131$) et le césium ($Cs-134$ et $Cs-137$) est indiquée. A Mol, qui se trouve dans la zone la plus contaminée, le SCK•CEN a réalisé un grand nombre de mesures qui ont servi par la suite de référence pour la Belgique.



➤ Fig. 11 – Distribution de la contamination en surface du sol par le césium ($Cs-134$ et $Cs-137$) et l'iode-131, d'après les mesures réalisées en 1986.

Outre l'irradiation de l'environnement, nous avons surtout mesuré la radioactivité due à l'iode et au césium présents dans les poussières atmosphériques, l'herbe, les légumes verts, le lait et la viande. Les valeurs de doses additionnelles qui en ont résulté pour la Belgique sont très faibles. Pour les adultes, la dose reçue a varié entre 0,03 et 0,1 mSv au cours de la première année suivant l'accident. Cette valeur a pu atteindre 0,3 mSv pour les jeunes enfants les plus exposés, en raison de leurs habitudes alimentaires différentes et de leur plus grande sensibilité vis-à-vis des radiations. Pour la période des 30 années suivantes et pour notre pays l'estimation de la dose supplémentaire moyenne est de 0,1 à 0,2 mSv. La dose à la thyroïde reçue par un jeune enfant qui se serait essentiellement nourri du lait le plus contaminé s'élèverait à 4 mSv pour la première année suivant l'accident.

La figure 12 illustre l'évolution de la charge corporelle mensuelle moyenne mesurée en césium-137 chez des Belges (voir graph jaune). Le fort accroissement observé entre 1962 et 1968 est à attribuer aux essais nucléaires atmosphériques qui ont été réalisés surtout avant 1963. A partir de 1986, l'augmentation est due à l'accident de Tchernobyl. La quantité de césium absorbée par notre corps suite à l'accident de Tchernobyl est environ 4 fois plus faible que celle absorbée suite aux essais nucléaires des années '60. De nos jours, les valeurs des mesures sont plus basses que la limite de détection qui est d'environ 25 Bq césium-137 environ. La moyenne mensuelle de l'activité bêta des poussières de l'air en Belgique (voir graph rouge) fut 4 fois plus élevée après l'accident de Tchernobyl qu'après les essais nucléaires, mais cette accroissement dura moins d'un mois, si bien que la quantité de césium disponible pour une absorption par le corps fut moindre.



➤ Fig. 12 – Evolution des moyennes de la charge corporelle en césium-137 dans la population belge et de l'activité bêta des poussières de l'air en Belgique.

Effets sanitaires pour la population belge

Des effets ont-ils été constatés?

Comme mentionné ci-dessus, en Belgique, la dose de rayonnements additionnels reçue suite à l'accident fut faible, comparée au niveau moyen d'exposition de notre population (elle fut même dérisoire par rapport aux fluctuations géographiques de l'exposition aux rayonnements naturels). Même en utilisant les facteurs de risque les plus pessimistes en ce qui concerne l'induction de cancers et d'anomalies congénitales ou héréditaires, il n'est pas possible de détecter un accroissement éventuel de ces affections. D'autres effets sur la santé (problèmes fonctionnels de la thyroïde, baisse de la fertilité, dépression de la moelle osseuse, etc.) n'ont pu être mis en évidence dans notre pays du fait qu'ils ne peuvent survenir qu'à partir d'une dose-seuil élevée.

Prévention des dommages à la santé

Les doses élevées délivrées à la thyroïde et le développement de cancers thyroïdiens parmi les jeunes des régions contaminées entourant Tchernobyl furent la conséquence d'une protection insuffisante de la thyroïde juste après l'accident. Des mesures telles que le fait de rester à l'intérieur de sa maison, de fermer portes et fenêtres durant le passage du nuage radioactif, protègent non seulement de l'iode radioactif mais aussi des autres matières radioactives présentes dans le nuage.

En cas d'accident dans une centrale nucléaire, il y a toujours moyen, juste avant ou après une exposition présumée ou réelle à de l'iode radioactif, de saturer la thyroïde avec de l'iode 'stable' avec pour objectif de limiter considérablement l'accumulation d'iode radioactif dans la thyroïde. Une telle mesure réduit très fortement le risque de développer un cancer de la thyroïde par la suite.

En Belgique, les autorités ont organisé à diverses reprises des campagnes de formation pour les médecins, les pharmaciens et les responsables des services d'intervention actifs autour des principales installations nucléaires. Il s'en est suivi une distribution préventive d'iode stable autour des sites concernés. Ces tablettes ne doivent être consommées qu'en cas d'accident nucléaire et sur recommandation des autorités.

Protection de la thyroïde en cas de voyage dans les environs de Tchernobyl

On pose régulièrement la question de savoir si l'on doit prendre préventivement des tablettes d'iode pour se protéger la thyroïde lors de voyages dans les environs de Tchernobyl. Ceci n'est absolument plus nécessaire, du fait de la disparition complète de quasiment tous les isotopes radioactifs de l'iode au cours des premiers mois suivant un accident nucléaire. Certains autres produits de fission – contre lesquels les tablettes d'iode n'offrent aucune protection – peuvent cependant rester radioactifs beaucoup plus longtemps (par exemple, le césium).

Contamination de la chaîne alimentaire en Belgique

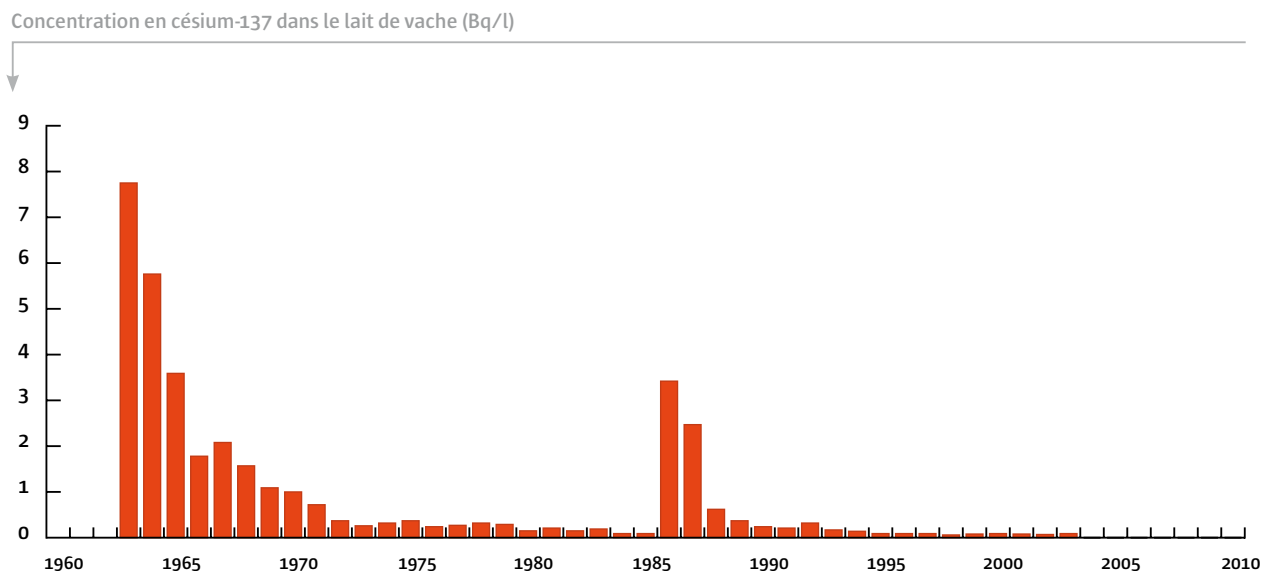
En mai 1986, les nombreuses mesures effectuées sur des denrées alimentaires ont révélé des niveaux de contamination généralement très inférieurs aux normes en vigueur. Certains légumes dont les feuilles ont été directement exposés aux dépôts atmosphériques, ont montré des activités maximales en I-131 de 400 Bq/kg pour la salade de blé, 300 Bq/kg pour la laitue et de 100 à 200 Bq/kg pour d'autres végétaux (épinards, cresson, endives, poireaux, céleri...). Les niveaux de concentration en césium-137 des épinards ont rapidement diminué, d'une valeur maximale de 200 Bq/kg

immédiatement après le dépôt à 30 Bq/kg au cours de la seconde moitié de mai 1986. Suite à l'accident de Tchernobyl, la législation a été harmonisée et de nouvelles normes ont été établies pour les denrées alimentaires en cas de nouvel accident nucléaire. Selon ces normes les niveaux maximum autorisés dans le lait sont de 1 000 Bq/kg pour le césium et 500 Bq/kg pour l'iode; pour les autres denrées, les limites sont de 1 250 Bq/kg pour le césium et 2 000 Bq/kg pour l'iode.

Le transfert de l'iode radioactif et du césium de l'herbe au lait de vache est très rapide. Le lait est donc un bon bio-indicateur de l'intensité des dépôts radioactifs dans une région donnée. De plus, sa consommation contribue généralement de manière significative à la dose interne de la population. Pour ces raisons, le lait de laiterie et le lait de ferme ont fait l'objet d'un suivi fréquent. Le pays a été couvert dans sa presque totalité par une campagne d'échantillonnage incluant les principales laiteries. La concentration maximale en iode radioactif mesurée dans les échantillons de laiterie a atteint une valeur de 225 Bq/l le 5 mai 1986. Pour ce qui est du lait de ferme, il a atteint des valeurs comprises entre 100 et 660 Bq/l. D'autre part, les concentrations maximales de césium mesurées dans le lait ont été bien inférieures, ne dépassant pas quelques dizaines de Bq/l.

La figure 13 représente l'évolution, depuis 1963, de la concentration de césium dans le lait de vache d'une ferme située dans la région de Mol-Dessel (Province d'Anvers). L'influence de l'accident de Tchernobyl en 1986 ressort clairement. Dans les mois et les années qui ont suivi, la diminution rapide de la contamination du lait a résulté principalement de l'immobilisation du césium dans le sol. Aujourd'hui, l'accumulation du césium dans l'herbe et les fourrages est fortement réduite et le lait a retrouvé des niveaux de contamination très faibles.

Certains champignons sauvages ont pu montrer, en 1986, des niveaux de contamination en césium situés au-delà des



► Fig. 13 – Contamination en césium-137 du lait de vache échantillonné dans une ferme de la région à Mol-Dessel (Province d’Anvers). A titre de comparaison, la teneur du lait en potassium-40 (radionucléide naturel) est d’environ 45 Bq/l et sa nocivité est moitié que celle du césium-137 (depuis 2004, la concentration en césium du lait est inférieure au niveau mesurable).

niveaux de référence. Il s’agissait de certaines espèces se développant préférentiellement sur la litière fraîchement contaminée des sols forestiers. La contamination de ces champignons a rapidement diminué, du fait du renouvellement de la litière et de la migration du césium dans le sol. D’autres espèces de champignons (par exemple le bolet), qui trouvent leurs éléments nutritifs dans les couches plus profondes de l’humus des forêts, ont été touchés beaucoup plus tard par la contamination et ont vu leur niveau de contamination augmenter avec le temps. La disponibilité persistante du césium dans l’humus des sols forestiers explique que certaines espèces de champignons puissent présenter encore actuellement des niveaux de césium facilement mesurables.

Aujourd’hui, la quasi totalité des denrées alimentaires de notre pays a retrouvé des niveaux de contamination très faibles, semblables à ce qu’ils étaient avant l’accident de Tchernobyl. Pour les bois, par contre, la contamination du sol va diminuer très lentement au cours des prochaines décennies. De ce fait, certains produits forestiers (champignon, baies, gibier) pourraient encore présenter très localement des niveaux de contamination relativement élevés.

4

Impact de Tchernobyl sur l'organisation du plan d'urgence en Belgique

Suite à l'accident de Tchernobyl, diverses mesures ont été prises afin d'éviter un certain nombre de problèmes en cas d'accident nucléaire futur. Le manque de phase d'alarme et de notification par l'Union Soviétique a démontré la nécessité d'avoir une meilleure circulation de l'information. La confusion régnant autour des seuils d'alerte pour les mesures d'urgence a entraîné le développement de directives européennes. Nous présenterons ci-dessous l'organisation de planification d'urgence belge.

Diffusion de l'information et assistance étrangère

L'AIEA (l'Agence Internationale de l'Energie Atomique, à Vienne) a élaboré deux conventions qui lient toutes les parties signataires: la 'Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire' et la 'Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique'. Ces conventions obligent tous les partenaires (dont la Belgique et ses voisins) à prévenir l'AIEA et à lui fournir toutes les informations en cas d'accident nucléaire ayant un impact sur des pays tiers. L'AIEA distribuera ensuite ces informations aux autres pays membres. La convention d'assistance contient un certain nombre d'accords traitant de la demande officielle d'aide aux autres pays ou visant à faciliter les formalités et à éviter autant que possible les problèmes administratifs ou juridiques. Des accords au niveau de l'Union européenne existent également pour transférer des données aux autres pays membres. Une harmonisation entre les obligations vis-à-vis de l'Europe et vis-à-vis de l'AIEA est actuellement recherchée.

Directives concernant les produits agricoles contaminés

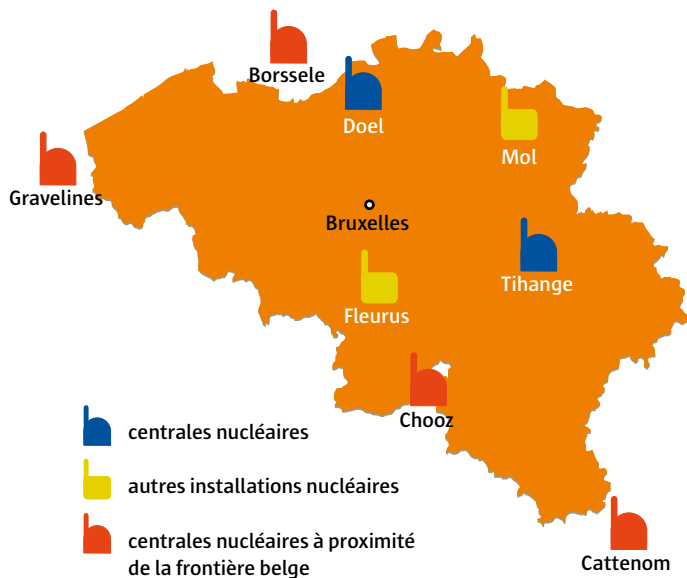
Au moment de l'accident, il n'y avait pas d'indications claires du niveau de contamination en dessous duquel des produits agricoles pouvaient être vendus, et au-dessus duquel des mesures devaient être prises. Ceci entraîna une certaine confusion et l'adoption d'attitudes différentes dans les divers pays d'Europe Occidentale ainsi qu'entre les régions belges. Pour éviter de tels problèmes à l'avenir, l'Union Européenne a défini des niveaux de contamination ne pouvant être dépassés pour la commercialisation des produits agricoles destinés à la consommation humaine ou animale après un accident nucléaire. Les valeurs dépendent de la nature des produits, de leur destination et de la nature des substances radioactives qui les contaminent. La Commission Européenne décide de l'application de ces directives en cas de problèmes réels.

L'organisation belge

Après l'accident de Tchernobyl, une commission sénatoriale s'est penchée sur cette période de crise. Il en a résulté des rapports et recommandations détaillés. Nous donnons ci-dessous les initiatives principales qui en ont découlé.

L'organisation du plan d'urgence belge

Les responsabilités, l'organisation, les valeurs d'interventions, etc. concernant la planification d'urgence nucléaire et radiologique ont été fixées par Arrêté Royal en 1991. Cet AR a été revu en 2003 afin d'inclure les expériences des exercices de plan d'urgence, ainsi que pour mieux tenir compte d'autres cas, comme par exemple le terrorisme radiologique. L'accent y est mis sur les principaux sites nucléaires



➤ Fig. 14 – Les principales installations nucléaires belges et aux alentours de la Belgique.

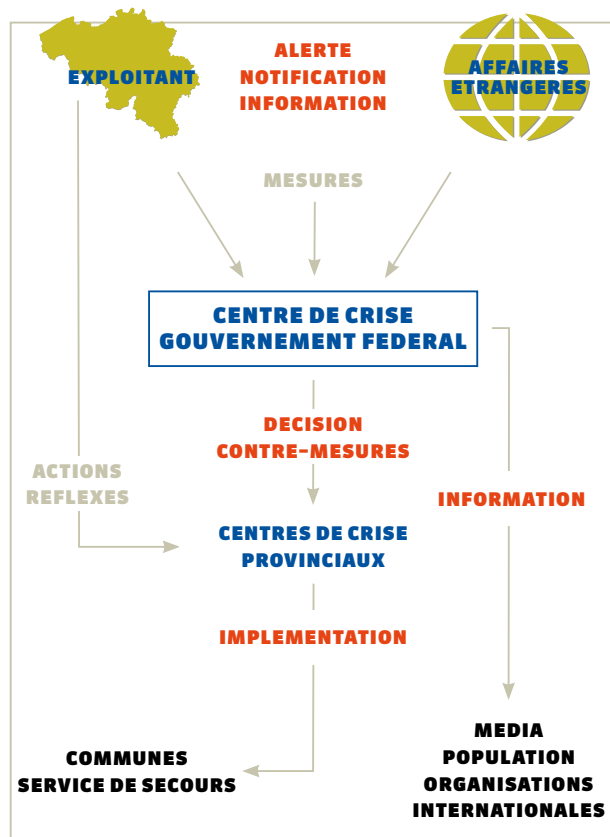
belges et sur les sites étrangers situés à proximité immédiate de nos frontières (voir figure 14).

La structure de l'organisation est présentée à la figure 15. Si un accident nucléaire survient en Belgique, l'exploitant doit alerter le centre de crise gouvernemental ('notification') et lui fournir toute information utile permettant aux autorités de prendre une décision fondée quant aux mesures à prendre pour la population. Pour des cas urgents de gravité suffisante, un schéma plus rapide, intitulé 'niveau d'alarme réflexe', est mis en application. Dans ce cas, le gouverneur décide d'un confinement dans une zone prédéterminée.

C'est évidemment à l'exploitant qu'incombe la responsabilité de combattre le sinistre lui-même. Lors d'un accident nucléaire à l'étranger, l'information doit être fournie via le ministère des Affaires étrangères, les instances européennes et l'AIEA. Toutes les informations sont transmises au centre

de crise gouvernemental établi à Bruxelles. C'est là que sont rassemblées toutes les données, complétées par les mesures disponibles, les prévisions météorologiques, etc.

Dans la 'cellule d'évaluation', des experts techniques et en radioprotection analysent toutes ces informations avant de remettre un avis au comité de crise. Celui-ci est composé des principaux ministres sous la présidence du ministre de l'Intérieur. Outre les recommandations d'ordre technique et radiologique, ce comité reçoit également des avis d'une cellule particulière tenant compte des aspects socio-économiques; les aspects opérationnels et légaux sont aussi pris



➤ Fig. 15 – Schéma de l'organisation du plan d'urgence nucléaire belge.

en considération. C'est en tenant compte de tous ces paramètres que le comité de crise décide de mesures de protection pour la population et l'environnement. Le comité de crise de Bruxelles transmet ses décisions aux provinces pour exécution. Les gouverneurs des provinces se chargent de la coordination des actions envers la population, en suivant les plans d'urgences nucléaires provinciaux. L'exécution pratique des décisions est assurée par les divers services de secours (sapeurs-pompiers, services de police, corps médical, protection civile...). La 'cellule d'information' opère à partir du centre de crise gouvernemental et assure la diffusion des informations vers la population et les médias.

Les contre-mesures les plus appropriées que le gouvernement puisse prendre sont fonction de la gravité et du type d'accident. Ce sont: le confinement (mise à l'abri), l'évacuation, la prise d'iode stable (ces tablettes sont utiles pour protéger la thyroïde contre l'iode radioactif), ainsi que certaines décisions concernant la chaîne alimentaire (agriculture et eau potable). Le fonctionnement du plan d'urgence est testé plusieurs fois au cours des exercices de plan d'urgence.

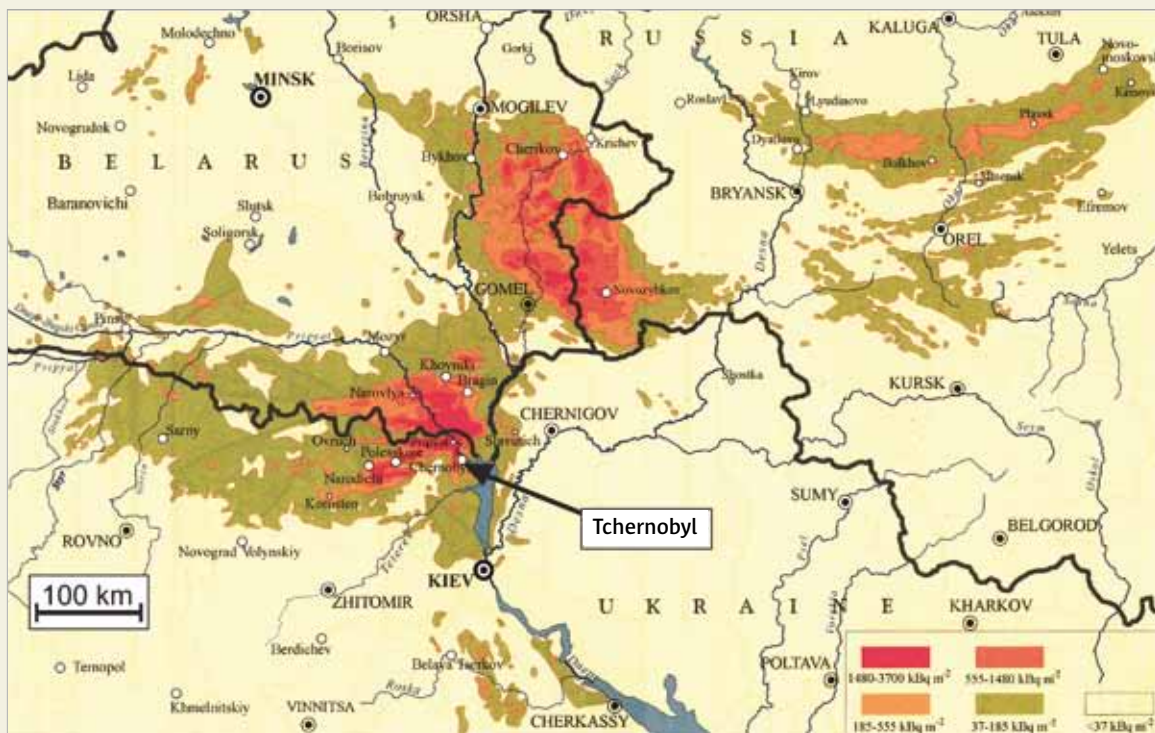
Le SCK•CEN est un des partenaires le plus importants des autorités pour perfectionner et accompagner la planification d'urgence, entre autres par de ses recherches et la fourniture de services concernant la diffusion de radioactivité dans l'atmosphère, le développement de stratégies de mesure et le développement et l'intégration des procédures de planification d'urgence.

L'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire (AFCN)

La commission sénatoriale a également conclu qu'il serait plus indiqué de confier les contrôles du secteur nucléaire à une seule instance de pouvoir public, devenue 'l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire'. Cette agence, créée par une loi de 1994, a connu un démarrage difficile. Il a fallu attendre 2001 pour que son financement soit fixé, et 2003 pour que les membres de son Conseil Scientifique soient nommés par Arrêté Ministériel. Actuellement, l'AFCN regroupe toutes les compétences en matière de contrôle des installations nucléaires et de surveillance de l'utilisation sûre des rayonnements ionisants en Belgique (applications industrielles et médicales, production d'énergie). Elle joue également un rôle essentiel dans la planification d'urgence.

TELERAD

Dès avant l'accident de Tchernobyl, la Belgique avait jeté les bases d'un réseau de mesure automatique de la radioactivité, TELERAD. L'accident a entraîné une révision des exigences de ce réseau. Le réseau est constitué de stations de mesure distribuées autour des installations nucléaires et sur l'ensemble du territoire belge. Le réseau est maintenant opérationnel depuis plusieurs années et une alarme est générée automatiquement lors de chaque dépassement de niveaux de rayonnement ou d'activité. Ce réseau est actuellement en cours de modernisation afin d'en augmenter sa sensibilité.



► La contamination radioactive du sol en césium-137 dans un rayon de quelques centaines de kilomètres autour du réacteur (situation au 10 mai 1986). source: UNSCEAR 2000 Report, Annex J

Résumé

L'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl fut le plus grave de toute l'histoire de l'industrie nucléaire. Lors de l'exécution d'un test, le réacteur fut placé dans une situation instable et incontrôlable, entraînant des explosions et des incendies.

En dépit du dévouement héroïque des pompiers et d'autres services de secours, de grandes quantités de matières radioactives furent libérées durant dix jours.

L'absence d'une enceinte de confinement autour du bâtiment du réacteur mena à la dispersion de l'inventaire complet des gaz nobles et d'une grande partie des éléments volatils tels l'iode et le césium. Les conditions atmosphériques changeantes (direction des vents, précipitations...) entraînèrent une distribution irrégulière de la contamination, et une étendue d'environ 150 000 km² (soit 5 fois la superficie de la Belgique) située en République du Belarus, en Ukraine et en Russie, fut fortement contaminée par la radioactivité.

L'accident provoqua un syndrome aigu d'irradiation chez 134 liquidateurs, dont 28 décédèrent au cours des premiers jours et semaines. Dix-neuf personnes de ce groupe décédèrent encore plus tard et 2 personnes moururent par accident en participant aux secours d'urgence, portant le nombre total des victimes directes à 49. Les conséquences de l'accident furent énormes pour la population locale. Tous les habitants furent évacués dans un rayon de 30 km autour de la centrale. 115 000 habitants furent contraints

de déménager en 1986 et il en fut de même au cours des années suivantes pour 220 000 autres habitants vivant dans des régions plus distantes. L'abandon de tous leurs biens fut, pour beaucoup de personnes évacuées, une expérience fort traumatisante. L'accident désorganisa également la vie de la population locale, entraînant des plaintes pour diverses raisons de santé. Les habitants eurent la pénible sensation d'être abandonnés et d'être condamnés à vivre comme des citoyens de second ordre dans un environnement contaminé.

Au cours de ces vingt-cinq dernières années, la communauté scientifique a étudié les effets sur la santé de cette contamination radioactive. A partir de 1990, une nette augmentation de la fréquence du cancer de la thyroïde a été observée chez les personnes fortement exposées à l'iode radioactif au cours de leur enfance. L'augmentation est la plus forte parmi les enfants qui, à l'époque de l'accident, avaient moins de 4 ans. A ce jour, le nombre de cas est estimé à 6 000 et les experts s'attendent à ce que ce risque accru se maintienne encore durant plusieurs années. Parmi les personnes qui contractèrent le cancer de la thyroïde, seules quelques-unes décédèrent. L'expérience a montré que la probabilité de survie pour cette forme de cancer est très élevée.

Il est difficile de démontrer scientifiquement d'autres effets sur la santé. Ceci ne signifie pas que d'autres types de can-

chers ou que des anomalies héréditaires ne seront pas mis en évidence, mais il ne nous est actuellement pas possible de les discerner de ceux qui surviennent de manière normale. Un facteur limitant pour les études épidémiologiques est la situation économique désastreuse dans laquelle les territoires touchés se sont trouvés après la chute de l'ancienne Union Soviétique, avec une dégradation des soins de santé et une baisse de la durée de vie moyenne. Dans ces conditions, il est très difficile de tirer des conclusions scientifiquement valables quant à d'éventuels effets héréditaires, des anomalies congénitales ou des cancers autres que celui de la thyroïde.

En Belgique, l'impact de l'accident fut insignifiant. En 1986, la dose de radiation attribuable à l'accident de Tchernobyl s'élevait à seulement une petite fraction de notre dose annuelle moyenne. Elle s'élève actuellement à moins d'un dix-millième de celle-ci.

La conception des centrales belges diffère fondamentalement de celle des réacteurs du type de Tchernobyl. Un fonctionnement instable entraînant une montée automatique en puissance n'est pas possible chez nous. Nos réacteurs sont isolés de l'environnement par un bâtiment étanche à l'air. Les centrales belges disposent d'une double construction d'acier et de béton armé pouvant résister à une pression interne et à des impacts extérieurs, comme la chute

d'un avion. À côté de la production d'électricité, le réacteur de Tchernobyl avait été conçu pour la production de plutonium à des fins militaires. Le combustible nucléaire pouvait être chargé et déchargé sans la mise à l'arrêt du réacteur.

Les retombées de l'accident de Tchernobyl sur l'organisation de notre plan d'urgence nucléaire furent importantes. La dissimulation de l'accident par l'Union Soviétique à son début, et la confusion qui suivit à propos des mesures à adopter pour l'agriculture dans les différents pays de l'Europe de l'Ouest ont conduit à l'élaboration de diverses mesures.

- Les autorités nationales doivent à présent déclarer immédiatement un accident nucléaire à l'AIEA (Agence Internationale de l'Energie Atomique à Vienne), à l'Union Européenne et aux pays voisins concernés;
- L'Union Européenne a déterminé les niveaux de contamination admissibles pour les produits agricoles en cas d'accident nucléaire futur;
- La Belgique a établi un plan d'urgence financé par une taxe sur la production nucléaire d'électricité;
- La Belgique a construit le réseau de mesure automatique TELERAD pour contrôler en permanence la radioactivité;
- La Belgique a créé l'Agence Fédérale pour le Contrôle Nucléaire (AFCN) afin de centraliser les compétences très dispersées dans le domaine de la radioprotection.

6 Pour plus d'informations

Sites web d'intérêt

www.sckcen.be

Contient des liens vers d'autres sites nucléaires, toutes sortes d'informations et brochures documentaires. Des versions web de la brochure sur Tchernobyl en français, néerlandais et anglais sont librement accessibles sur: <http://www.sckcen.be/fr/Science-Society/Documentation-Multi-media>

www.iaea.org

Site web de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique à Vienne. Le Chernobyl Forum, issu de la collaboration entre 8 organisations des Nations Unies et les trois républiques les plus touchées, a évalué la mortalité induite chez les groupes de population les plus irradiés. Les rapports du Chernobyl Forum sont disponibles sur le site web de l'IAEA: <http://www.iaea.org/newscenter/focus/chernobyl/>

www.unscear.org

Site web du Comité Scientifique des Nations Unies pour l'étude des Effets des Radiations Atomiques, une institution des Nations Unies. Les différents rapports de l'UNSCEAR traitant des suites de l'accident de Tchernobyl sont disponibles gratuitement à l'adresse: <http://www.unscear.org/unscear/en/chernobyl.html>

www.nea.fr

Site web de 'l'Agence pour l'Energie Nucléaire' sur lequel se trouve un rapport intitulé '2002 update of Chernobyl: ten years on': <http://www.nea.fr/html/rp/chernobyl/chernobyl.html>

<http://www.fanc.fgov.be/fr>

Site web de l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire, avec un lien vers le site web de TELERAD: <http://telerad.fgov.be/>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Catastrophe_de_Tchernobyl.

Des informations plus détaillées sur l'accident sont disponibles dans la version anglaise

Documentation

SCK•CEN 1986 The Chernobyl accident and its impact. Publications 86.02. Proceedings of a Seminar, Mol, October 1986.

M. De Cort, G. Dubois, Sh. D. Fridman et al Atlas of caesium deposition on Europe after the Chernobyl accident. EUR 16733 (1998).

Loi Relative à la protection de la population et de l'environnement contre les dangers résultant des rayonnements ionisants et relative à l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire. Loi du 15 avril 1994, Moniteur Belge du 29 juillet 1994.

Arrêté Royal RGPRI: Règlement Général de la Protection de la Population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des Rayonnements Ionisants. AR du 20 juillet 2001, Moniteur Belge du 30 août 2001.

Arrêté Royal portant fixation du plan d'urgence nucléaire et radiologique pour le territoire belge. AR du 17 octobre 2003, Moniteur Belge du 20 novembre 2003.

Euratom EC directive 87/600/Euratom du 14 décembre 1987: Early Exchange of Information in the Event of a Radiological Emergency: the ECURIE – protocol (European Community Urgent Radiological Information Exchange) (1987).

IAEA Convention on Assistance in the case of a Nuclear Accident or a Radiological Emergency, published in IAEA INF-CIRC/336; into force: 26 February. 1987.

Rapport du Sénat Sénat Belge, Séance 1986-1987, Suites de l'accident nucléaire de Tchernobyl; premier rapport de la commission d'information et d'enquête sur la sécurité nucléaire, par Messieurs De Kerpel et de Wasseige, Sénat Belge 263, nr. 2, annexe 14, R.A. 13575, 23 mars 1987.

Rapport du Sénat Sénat Belge, Séance 1987-1988, Suites de l'accident nucléaire de Tchernobyl; second rapport de la commission d'information et d'enquête sur la sécurité nucléaire, par Messieurs De Kerpel et de Wasseige, Sénat Belge 263, nr. 3, R.A. 13575, 15 octobre 1987.

IAEA Convention on Early Notification of a Nuclear Accident, published in IAEA INF-CIRC/335; into force: 27 October. 1986.

Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire, SCK•CEN
Le SCK•CEN est une fondation d'utilité publique ayant un statut de droit privé,
sous la tutelle du ministre fédéral belge de l'Energie.

Siège d'exploitation
SCK•CEN, Boeretang 200, BE-2400 MOL

Siège social
SCK•CEN, Avenue Herrmann-Debroux 40, BE-1160 BRUXELLES

Editeur responsable
Eric van Walle
Directeur général

Copyright © 2011 – SCK•CEN
Cet ouvrage est protégé par la loi sur les droits d'auteur (2011).
Il ne peut être photocopié ou diffusé, en tout ou en partie,
sans l'autorisation écrite préalable du SCK•CEN.

Mise en page
meerwit.be

Photo de couverture
Ville de Pripjat évacuée et abandonnée peu après l'accident.
En arrière-plan le réacteur détruit (photo 2010).

CL – 2

Contact

SCK•CEN

Boeretang 200

BE-2400 MOL

Tél. +32 14 33 25 86

Fax +32 14 33 25 84

info@sckcen.be

www.sckcen.be