

notes

L'accident de Tchernobyl: un aperçu de ses causes et l'évaluation de ses effets en Suisse

S. PRÊTRE*

(Manuscrit reçu le 9 septembre 1987)

En écho au colloque de Créteil sur l'impact sanitaire de l'accident de Tchernobyl (14-15 mai 1987) et au congrès franco-italien de Castelgandolfo (12-13 octobre 1987) dont ce numéro de Radioprotection reproduit plusieurs communications, la Commission de la revue a estimé utile de reproduire ce texte qui conserve son actualité, bien que rédigé dès octobre 1986.

Alarme avec 66 h de retard

Samedi 26 avril 1986 à 1 h 24 min (heure locale). Chez nous, c'était vendredi 25 avril à 23 h 24 min. Le bloc n° 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl explose, détruisant complètement le bâtiment du réacteur et projetant une énorme quantité de radioactivité dans l'atmosphère.

Ce n'est que lundi 28 avril à 17 h 30, c'est-à-dire 66 h plus tard, que l'organisation d'alarme suisse est informée d'une augmentation anormale de la radioactivité en Suède. Entre-temps, Finlandais et Suédois avaient analysé la situation et estimaient que la source devait se trouver en Ukraine. Lundi soir, les médias annoncent cette augmentation de radioactivité sur la Scandinavie et présumant qu'il pourrait s'agir d'un accident grave de centrale nucléaire en Ukraine.

Ce n'était pas ce qu'on croyait

Que s'était-il passé ? On ne le saura seulement que fin août, lorsqu'une forte délégation de savants soviétiques viendra décrire et expliquer cet accident dans le cadre d'un colloque international organisé par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), à Vienne.

Entre-temps, les suppositions allèrent bon train. On construisit l'hypothèse qu'il s'agissait d'un accident de perte de réfrigérant suivi d'une défaillance des systèmes de refroidissement d'urgence, puis d'une fonte du cœur, d'une production d'hydrogène et finalement d'une explosion de gaz tonant.

* Division principale de la sécurité des installations nucléaires DSN (HSK), CH 5303 Würenlingen, Suisse.

Ce scénario, qui se développe sur plusieurs heures, est celui qui occupe tous les esprits depuis la parution du rapport Rasmussen en 1975 ; il était donc évident que l'on pense d'abord et surtout à ce scénario-là. Mais c'était manquer de fantaisie, car, en fait, il s'était passé tout autre chose.

Une réaction en chaîne qui s'emballe

En l'espace de 5 s, la réaction en chaîne s'emballa, devint incontrôlable et le réacteur explosa. C'est ce qu'on appelle un accident de criticité ou accident de réactivité ou excursion nucléaire. De tels accidents eurent lieu, en 1952 et 1962, pendant la période où les pionniers du nucléaire expérimentaient cette nouvelle technique. Depuis lors, les pays industrialisés de l'Occident ont construit des réacteurs qui ont des caractéristiques et comportements tels que les accidents de criticité sont pratiquement exclus. C'est pour cela, qu'à l'Ouest, presque personne ne pensa que l'accident de Tchernobyl était une excursion nucléaire.

Les secrets soviétiques

Ce qui compliquait nos hypothèses, c'est que l'information disponible sur les centrales soviétiques RBMK était très maigre, presque inexistante. Alors que des dizaines de milliers de publications sont disponibles décrivant en détails les centrales nucléaires des pays non-communistes, les Soviétiques ont voulu garder leur technique secrète. Tout de même, un peu d'information avait filtré et il y a cinq ou six ans, une équipe anglaise avait émis un avertissement, car elle estimait que ce type de réacteur était dangereusement instable. Mais cet avertissement resta ignoré.

Le réacteur RBMK 1000

Le réacteur RBMK 1000 est refroidi à l'eau bouillante et modéré par le graphite. Le cœur du réacteur n'est pas contenu dans une cuve pressurisée, comme c'est le cas chez nous, mais il est composé de plus de 1 600 tubes verticaux contenant l'uranium enrichi et refroidis individuellement. Ces tubes sont insérés dans un empilement d'environ 21 000 blocs de graphite. Ce cœur a ainsi des dimensions nettement plus grandes que celles de nos réacteurs occidentaux. En particulier, il faut signaler que sa hauteur est de 7 m ce qui est beaucoup, et jouera un rôle dans l'accident. Un système de 187 barres de commande sert à régler la puissance du réacteur. Ce même système est utilisé pour l'arrêt d'urgence. Les barres de commande pénètrent dans le cœur depuis le haut. Elles absorbent les neutrons et stoppent ainsi la réaction en chaîne. La vitesse maximale d'insertion est de 0,4 m/s, ce qui signifie que, si une barre est à fin de course en position haute, il lui faut 17 s pour atteindre la position basse où sa fonction absorbante est pleinement efficace.

Sûreté nucléaire en Occident

Dans les réacteurs occidentaux, la sécurité nucléaire a atteint un niveau très évolué. En ce qui concerne les systèmes et les composants de ces systèmes (par exemple : pompes, valves), elle est basée sur la redondance et la

diversité. C'est dire qu'une même fonction est assurée par plusieurs composants ou systèmes différents. Dans le cas de Super-Phénix à Creys-Malville, par exemple, l'arrêt d'urgence est assuré par trois systèmes : l'un de ces systèmes est composé de barres absorbantes suspendues par des aimants permanents dont l'aimantation disparaît à la température d'environ 800°C. Lorsque cette température est atteinte, les barres tombent et stoppent la réaction en chaîne. Ce système fonctionne à coup sûr et ne peut pas être contourné électroniquement. Il n'y a pas moyen de bricoler un pontage pour mettre ce système hors circuit. Ce système est composé de barres absorbantes articulées capables de s'insérer même dans un cœur déformé, et ceci par leur propre poids.

Il manque un système d'arrêt d'urgence vraiment rapide

Les réacteurs RBMK n'ont rien de tout cela, et surtout n'ont aucun système d'arrêt d'urgence vraiment rapide. Lorsqu'on pilote un réacteur capable de s'emballer en 5 s, il est désagréable de n'avoir à sa disposition qu'un système d'arrêt qui, dans le pire des cas, a besoin de 17 s pour être pleinement efficace.

Compenser la faiblesse technique par des directives administratives

Les constructeurs de ce type de réacteur étaient certainement conscients de cette faiblesse, car ils ont voulu la compenser par des mesures administratives exigeant que, dans tous les cas, au moins 30 barres de commande restent insérées complètement dans le réacteur, qu'il est interdit de lever les barres de commande au-dessus de la cote de 1,2 m. Il aurait été facile par un automatisme électronique ou par des butoirs mécaniques de faire en sorte que ces deux conditions de sécurité soient respectées. Mais là encore, rien n'avait été prévu pour dissuader l'opérateur de violer ces deux directives importantes.

Une technologie vétuste

Les spécialistes occidentaux de la sécurité nucléaire ont été très étonnés de constater que, dans ce domaine en tous cas, la technologie soviétique était franchement vétuste.

L'idée des électriciens

Le réacteur n° 4 du site de Tchernobyl, situé à 130 km au nord de Kiev, devait être arrêté le vendredi 25 avril 1986 pour la maintenance annuelle. Il était prévu de profiter du moment où l'on arrête le réacteur pour faire un test. Lorsqu'on arrête un réacteur, il y a un moment où l'on déconnecte le générateur du réseau électrique, ce qui fait que l'ensemble turbo-générateur continue à tourner à vide. L'idée avait été développée que l'on pourrait utiliser l'énergie cinétique résiduelle contenue dans ce turbo-générateur qui tourne à vide.

Assurer l'alimentation électrique des pompes

Derrière cette idée, il y avait une intention d'augmenter la sécurité des réacteurs RBMK. En effet, les ingénieurs soviétiques avaient étudié plusieurs

scénarios d'accidents et en particulier l'accident couplé à un "blackout" du réseau électrique. La plupart des centrales nucléaires ont un besoin vital d'énergie électrique, car le fonctionnement des pompes de refroidissement doit être toujours assuré. En général, on réalise l'apport indépendant d'électricité grâce à des groupes électrogènes diesel à démarrage très rapide. Les ingénieurs soviétiques ayant pris conscience que leurs groupes électrogènes étaient trop lents à démarrer, cherchèrent à assurer un appoint d'énergie pour combler le temps critique situé entre le déclenchement de la turbine et le moment où les diesel de secours sont à pleine puissance. Ils ont donc développé l'idée, en soi excellente, d'utiliser électriquement l'énergie cinétique résiduelle du turbo-générateur tournant à vide.

C'était le seul moment pour faire cet essai

Cette idée avait été élaborée et mise au point, et il fallait expérimenter son efficacité. Une équipe d'ingénieurs-électriciens était venue expressément à Tchernobyl pour effectuer ce test au moment du déclenchement du réacteur. Et comme on ne déclenche un tel réacteur que tous les 12 à 18 mois, il fallait réussir ce test, sinon ça retarderait le projet de plus d'une année.

Deux équipes, donc deux chefs

Il y avait donc, dans la centrale, une équipe d'ingénieurs-électriciens venus de l'extérieur et ne comprenant pas grand' chose à la sécurité nucléaire. Cette équipe était sous pression car elle n'avait reçu qu'un court créneau de temps pour réaliser son test, et elle voulait absolument réussir cette expérience cette année. D'autre part, il y avait, dans la centrale, l'équipe de quart normale qui effectue les opérations que la direction lui demande de réaliser, et qui est responsable de ce que toutes les opérations se déroulent dans les marges de sécurité usuelles.

Trop ou trop peu de personnalité

Dans ces conditions, il était prévisible que le conflit éclate entre le chef de l'équipe extérieure et le chef de quart de la centrale. Il ne fait pas de doute que l'équipe extérieure chargée du test a imposé sa volonté, car elle a fait effectuer à l'équipe de quart toute une série d'opérations interdites par le règlement d'exploitation. C'est seulement au dernier moment que le chef de quart a réagi de sa propre initiative, mais il s'est décidé environ 10 s trop tard. Il faut que le chef-électricien venu de l'extérieur ait eu une trop forte personnalité, ou que le chef de quart de l'installation ait eu une trop faible personnalité pour qu'on en arrive là.

Placé dans ce contexte, le scénario de l'accident se comprend très bien.

Première violation

Vendredi 25 avril 1986, 13 h. On commence à réaliser les conditions nécessaires à l'exécution du test. En particulier, on découple le système de refroidissement d'urgence pour éviter que celui-ci ne vienne de façon intempestive perturber le test. Cette action est en principe une violation du règlement d'exploitation.

Un certain laxisme

Vendredi 14 h. La direction reçoit l'ordre d'assurer encore quelques heures la production d'électricité. Le test est interrompu. Le système de refroidissement d'urgence n'est pas re-couplé, ce qui reflète un certain laxisme. L'équipe d'ingénieurs-électriciens doit attendre; elle est contrariée.

11 heures d'attente

Vendredi 23 h 10. Enfin après 11 h d'attente, le test peut reprendre. L'équipe d'ingénieurs-électriciens est fatiguée et nerveuse. Elle veut mettre les bouchées doubles et va commencer à faire du forcing. Entre temps, l'équipe de quart a changé. Selon le programme, on a l'intention de démarrer l'expérience à partir d'un niveau de puissance d'environ 22 %.

Erreur de réglage

Samedi 26 avril 0 h 28. A la suite d'une erreur de réglage, la puissance du réacteur tombe à environ 1 %. L'équipe chargée du test exige que l'on remonte la puissance à 22 %, ne sachant pas qu'il est très difficile de redémarrer un réacteur qui vient de s'arrêter.

On crée les conditions d'accident

Samedi 1 h. L'équipe de quart remonte presque toutes les barres de contrôle et les remonte au delà de la cote limite (1,2 m). Il ne reste plus que 8 barres dans le cœur, alors que le minimum exigé est de 30. Malgré tous ces efforts pour remonter la puissance, on arrive difficilement à atteindre le niveau de 6 %. A ce niveau de puissance, les réacteurs RBMK sont dangereusement instables. Ce fait est connu, car le règlement d'exploitation interdit de faire fonctionner le réacteur à ce niveau de puissance.

Le chef ne comprend rien à la sûreté nucléaire

Samedi 1 h 07. L'équipe des électriciens exige que l'on enclenche les deux pompes de réserve. Il s'agit de simuler la charge électrique des pompes de secours. Cette action est aussi en violation du règlement d'exploitation. Il est tout à fait clair que les électriciens ne voient que leur test et ne comprennent rien au comportement d'un réacteur. Malheureusement, l'équipe de quart continue à obéir. Le réacteur devient de plus en plus difficile à stabiliser. L'automatisme déclenche l'arrêt d'urgence, mais cet ordre est annulé pour ne pas perturber le fameux test. Cette violation du règlement est grave.

Hésitation

1 h 22 min 30 s. La calculatrice électronique de l'installation imprime le bilan de l'état actuel du cœur. De ce bilan, il est évident que l'arrêt d'urgence s'impose, mais l'équipe de quart hésite encore.

La septième violation du règlement d'exploitation

1 h 23 min 4 s. Le fameux test, tant souhaité, est mis en route. Le turbo-générateur est découplé, ce qui normalement engendre un arrêt du réacteur. Mais le signal qui devrait déclencher l'arrêt a été détourné et rendu inefficace, car les électriciens désirent conserver le réacteur en fonctionnement de façon à pouvoir répéter le test en cas de besoin. Il est inutile de préciser qu'une telle action est grave et qu'elle représente une sorte de sabotage inconscient.

Le cercle infernal

1 h 23 min 21 s. On entre dans le cercle infernal de la rétroaction positive: l'eau commence à bouillir → les bulles dans l'eau augmentent la puissance du réacteur car les neutrons sont moins absorbés → la température de l'eau augmente → l'eau bout plus fort → ça fait plus de bulles → la puissance augmente etc. A cet instant précis, on aurait encore pu tout juste arrêter le réacteur normalement, sans dommage. En 17 s, la réaction en chaîne aurait encore pu être stoppée.

Trop tard

1 h 23 min 40 s. Le chef de quart réagit enfin, mais trop tard. Il provoque l'arrêt d'urgence. Mais les barres de commande rentrent dans le cœur à la vitesse maximale de 40 cm/s, ce qui est trop lent.

Deux énormes explosions

1 h 23 min 44 s. La puissance neutronique monte à 100 fois sa valeur maximale. La température du combustible monte à 2 000°C. Cela produit une explosion qui décolle et place à la verticale la dalle de béton de 1 000 t qui recouvrait le réacteur. Comme les barres de commande étaient suspendues à cette dalle, elles sont arrachées du réacteur. Une seconde explosion plus puissante que la première détruit tout le cœur et le bâtiment du réacteur et projette du combustible nucléaire incandescent sur tout le site produisant quelques 30 foyers d'incendie.

Des pompiers héroïques

1 h 30. Les pompiers de Pripjat et de Tchernobyl sont alarmés. Ils vont travailler toute la nuit de façon héroïque pour éteindre tous les incendies et surtout pour protéger le bloc 3 qui risquait d'être englobé dans le brasier.

5 h. Tous les incendies sont maîtrisés sauf le feu de graphite qui va durer environ 10 jours. Plusieurs pompiers montrent déjà des symptômes d'irradiation aiguë et doivent être hospitalisés.

L'armée intervient efficacement

Du 27 avril au 10 mai 86. L'armée engage de gros moyens pour venir à bout du feu de graphite. A partir d'hélicoptères, on étouffe le foyer incandescent sous 5 000 t d'un mélange de bore, sable, plomb et terre glaise.

Ces mesures sont efficaces pour étouffer le feu de graphite, mais, en même temps, on étouffe le cœur du réacteur qui n'arrive plus à évacuer sa chaleur résiduelle. La température du cœur augmente à nouveau à partir du 2 mai. On risque la fonte du cœur et ce qu'on appelle le syndrome chinois. Les 4 et 5 mai, on arrive à introduire dans les débris du cœur de l'azote liquide, par la voie de canaux arrachés. Les rejets radioactifs dans l'atmosphère remontent à de très hautes valeurs les 4 et 5 mai. Enfin, le feu de graphite est maîtrisé et la température du cœur stabilisée.

D'énormes moyens mis en œuvre

Ensuite, pendant plusieurs mois, les soviétiques vont mettre de gros moyens en œuvre pour décontaminer le site et construire autour du réacteur détruit une énorme tombe en béton épais qui, cependant, devra encore longtemps assurer le refroidissement du cœur. Parallèlement, ils vont développer de gros efforts pour créer des conditions radiologiques acceptables dans les unités n^{os} 1 et 2 qui reprendront leur service en octobre 86.

Les grands irradiés

Parmi le personnel du site et les pompiers, il y eut 203 cas d'irradiation aiguë, avec des doses corps-entier allant de 80 à 1 600 rem (0,8 à 16 Sv). Ces blessés radiologiques furent traités dans des hôpitaux de Kiev et de Moscou. Nous rappelons ici que la dose limite des travailleurs est de 5 rem/an (0,05 Sv/an) et que la dose mortelle dans 50 % des cas est d'environ 400 rem (4 Sv). Dans de nombreux cas, le traitement fut compliqué par des brûlures de la peau, dues d'une part aux incendies et d'autre part au rayonnement bêta des matières radioactives présentes dans les habits. En août 86, le bilan sanitaire était de 31 morts. Les traitements spéciaux basés sur des transplantations de moelle osseuse furent inefficaces.

Evacuer une ville de 50 000 habitants en 4 h

La population des environs eut une certaine chance dans sa malchance. De par l'énergie énorme développée au moment de l'accident et la thermique due au feu de graphite, une bonne partie des matières radioactives est montée très haut dans l'atmosphère et a été emportée au loin. De ce fait, l'environnement proche a été relativement épargné. La ville de Pripjat (49 000 habitants), directement attenante au site, aurait pu être beaucoup plus contaminée qu'elle ne l'a effectivement été. Le samedi 26 avril, l'ordre fut donné à toute la population de la ville de rester dans les maisons et de fermer portes et fenêtres. En outre, des pilules d'iode stable furent distribuées à toute la population pour protéger la glande thyroïde contre l'accumulation d'iode radioactif. Le dimanche 27 avril, on avait réquisitionné 1 000 autobus grâce auxquels toute la ville de Pripjat fut évacuée en 4 h. Cette action fut d'une efficacité remarquable.

Dans un rayon de 30 km

Dans les jours qui suivirent, la zone d'évacuation fut portée à un cercle de 30 km de rayon ainsi qu'à certaines localités particulièrement touchées, situées au-delà de 30 km. Au total, 135 000 personnes et 10 000 têtes de

bétail furent évacuées. Cette population a accumulé une dose moyenne évaluée à 12 rem (0,12 Sv). Les maximums se situent vers 40 rem (0,4 Sv). Il faut s'attendre à ce qu'elle présente une prédisposition au cancer légèrement supérieure à la moyenne.

A quand le retour des populations évacuées ?

Une grande partie de la zone 3 (de 10 à 30 km du site) sera probablement ré-habitable dans le courant de l'année 87 et la production agricole pourrait reprendre mais sous contrôle radiologique. Ceci concerne, en particulier, la petite ville de Tchernobyl. Dans la zone 2 (de 5 à 10 km) certains travaux de décontamination seront nécessaires, mais on ne parle pas encore du repeuplement de cette zone. Quant à la zone 1 (0-5 km), elle pourrait bien ne plus être repeuplée pendant très longtemps. Cela signifie que la ville de Pripjat va rester ce qu'on appelle une ville fantôme.

Des rejets énormes de radioactivité dans l'atmosphère

Les rejets de radioactivité dans l'atmosphère furent énormes et durèrent 10 jours. Presque tout ce qu'un cœur de réacteur nucléaire est potentiellement capable de rejeter à l'atmosphère fut effectivement rejeté. Le réacteur endommagé se trouvait à ciel ouvert et les matières radioactives étaient rejetées en proportion de leur degré de volatilité. Les rejets des premiers jours contaminèrent des masses d'air qui se transportèrent d'abord vers la Scandinavie, puis vers l'Europe centrale, puis vers les Balkans. Au cours des dix jours que durèrent les rejets, les quatre points cardinaux furent copieusement arrosés. Pratiquement toute l'Europe fut concernée par le nuage, à des degrés variables. Les pays les plus touchés furent, à part l'Union soviétique : la Pologne, la Roumanie, la Suède et la Finlande. En Europe centrale, on constate une forte concentration de retombées dans la région Bavière-Salzburg. Du point de vue des doses d'irradiation, ce seront probablement les populations consommant beaucoup de viande de mouton (p. ex. Turquie, Grèce, Grande-Bretagne) et celles consommant beaucoup de viande de renne (Laponie) qui absorberont finalement les plus hautes doses. Ceci est dû au fait que ces animaux concentrent fortement le césium 137 dans leurs muscles.

L'exemple de la Suisse

En Suisse, les appareils de surveillance de la radioactivité de l'air commencèrent à réagir le mercredi 30 avril. Le 1^{er} mai, toute la Suisse était recouverte d'une masse d'air contaminée par des matières radioactives dont les éléments dominants étaient l'iode 131, le césium 137 et le césium 134. Cette contamination de l'air allait diminuer lentement pour retrouver sa valeur normale après environ dix jours.

Le taux de la contamination de l'air en Suisse était préoccupant, mais ne méritait pas qu'on qualifie l'événement de catastrophe. Les doses dues à l'irradiation par le nuage ainsi que les doses dues à l'inhalation restèrent insignifiantes.

Le rôle important de la pluie

Mais la pluie sur certaines régions de la Suisse précipita ces matières radioactives sur le sol; ainsi, le nord-est puis le sud-est reçurent des retombées relativement élevées. Dans ces régions, l'irradiation due à l'environnement atteignit, début mai, environ 10 fois sa valeur naturelle, et retourna à une valeur proche de la normale en l'espace de trois à quatre semaines. Les doses dues à cette irradiation provenant de l'environnement sont évaluées à environ 40 millirem (0,4 mSv), dose suffisamment faible pour que des mesures de protection ne s'imposent pas. Si l'on avait voulu économiser une partie de cette dose, il aurait fallu recommander aux populations concernées de rester le plus possible dans les maisons. On aurait pu aussi interdire le camping et les jeux en plein air dans ces régions. Mais l'ampleur de la contamination ne justifiait pas de telles mesures.

Le problème principal vient de la chaîne alimentaire

A une telle distance du lieu de l'accident (plus de 1 500 km), il était prévisible que les problèmes radiologiques principaux apparaîtraient dans la chaîne alimentaire. Tous les laboratoires suisses équipés pour faire ces analyses se mirent donc à travailler jour et nuit pour analyser en première priorité l'iode 131 dans l'herbe et le lait, puis dans les salades et légumes frais. Il en résulta des recommandations destinées à réduire les doses du groupe le plus sensible de la population: les nourrissons et les foetus. L'Annexe 1 ci-joint récapitule les recommandations officiellement émises.

La gravité de la situation

L'état-major de crise s'était évidemment posé la question: Faut-il que le gouvernement édicte en bonne et due forme des interdictions ou des restrictions, ou suffit-il que le département de l'intérieur émette des recommandations? Du fait que la situation n'était pas catastrophique et que les prévisions permettaient d'estimer que les limites nationales et internationales de dose ne seraient pas dépassées, on décida d'en rester aux recommandations.

La psychose allemande

Malheureusement, dans certains Länder d'Allemagne, des politiciens régionaux mirent à profit cette situation pour faire de la surenchère sur le thème: "La santé n'a pas de prix". L'une des tendances de l'âme germanique est de se révolter contre la souillure et de militer pour un idéal de pureté. Cela peut conduire à une épidémie psychique qui, dans le cas particulier, devint presque incontrôlable et entraîna des mesures de protection nettement exagérées.

Le dédain français

En France, au contraire, les autorités réagirent de façon presque trop pragmatique, avec la tête froide, estimant que la pollution venant de Tchernobyl n'était pas plus importante que d'autres pollutions chimiques déjà

existantes, qu'il s'agissait là du revers de la médaille de notre civilisation et qu'il nous fallait apprendre à vivre avec un certain niveau inévitable de souillure. Les médecins français refusèrent de s'occuper d'une pollution qui produira peut-être quelques cas de cancer au cours des prochaines années, estimant que si on voulait faire quelque chose pour la santé, il fallait commencer par interdire le tabac qui cause plus de 20 000 morts chaque année en France.

Le spectacle des contradictions

En Suisse, la réaction des autorités fut nuancée, à mi-chemin entre la réaction allemande et la réaction française, bien que, sur le moment, au beau milieu de la crise, il leur fut difficile de ne pas se laisser emporter par l'épidémie des attitudes extrêmes. Il faut réaliser que le citoyen suisse reçoit sur sa télévision tous les programmes allemands, français, italiens et autrichiens et, de ce fait, il assistait directement à un révoltant spectacle de contradictions.

Le césium radioactif dans les viandes

Comme l'iode 131 est une substance radioactive qui décroît d'elle-même en quelques semaines, les problèmes dus à ce nucléide s'estompèrent vers le 20 mai. Mais il y avait encore le césium, radioactif pendant des dizaines d'années. Il était connu que le césium se concentre volontiers dans les muscles et l'on s'attendait à voir la contamination de certaines viandes augmenter sérieusement. Comme prévu, les hautes valeurs apparurent dans les viandes de mouton, de gibier, et plus tard dans les poissons du lac de Lugano (région la plus touchée). Certaines mesures de protection furent mises en œuvre pour réduire les doses dues au césium.

La contamination de notre environnement par le césium n'est pas une nouveauté. Elle apparut avec les nombreuses explosions nucléaires expérimentales des années 1958-63. De nombreux travaux scientifiques et même des congrès furent consacrés au césium. On sait, par exemple, que les animaux qui concentrent le plus fortement le césium sont les caribous, rennes et élans. En Suisse, on connaît très exactement la contamination de notre biosphère par le césium des années soixante, et on estime que Tchernobyl a apporté à peu près autant de césium (en moyenne) que les retombées des bombes. On peut donc prédire la façon dont ce césium va s'insérer dans toute notre biosphère. Et ce qui est remarquable, c'est qu'on peut vérifier les calculs de dose en mesurant directement, dans un compteur de corps entier, la quantité de césium radioactif contenue dans le corps de certaines personnes.

Au maximum une radiographie de la colonne vertébrale

Les représentants typiques du groupe le plus touché sont les agriculteurs de Suisse italienne se nourrissant de leur propre production et ayant un régime alimentaire comprenant passablement de lait de chèvre et de viande de mouton. Pour ces personnes, la contamination de Tchernobyl produira une irradiation environ équivalente à une radiographie de la colonne vertébrale.

La comptabilité des millirems

Le bilan de dose pour l'année 1986 pour la population suisse conduit à une dose individuelle comprise entre 5 et 200 mrem (0,05 et 2 mSv) en fonction du lieu et du mode de vie. Il est évident que de telles doses se perdent dans le mélange des autres doses d'irradiation faisant partie de notre vie habituelle.

Le bilan sanitaire

La signification biologique de telles doses, c'est-à-dire de doses qui s'inscrivent dans la fourchette des fluctuations des doses usuelles, n'est pas connue, mais on sait que, si signification il y a, elle est très faible. Selon la théorie qui prévaut, une dose telle que celle due à Tchernobyl, en Suisse, conduirait statistiquement à 1 cas mortel de cancer par an. Ce cas viendrait donc s'ajouter aux quelques 15 000 décès par cancer par an en Suisse (2 300 de ces morts sont causés par le cancer du poumon provenant du tabac). Selon une autre théorie, qui s'appuie sur un grand nombre d'observations faites chez les animaux, les faibles doses sont nécessaires à l'organisme car elles stimulent les mécanismes de défense et, de ce fait, elles participent à la lutte de l'organisme contre les cellules mutantes qui pourraient potentiellement engendrer un cancer.

Que l'effet soit négatif ou positif, ou les deux à la fois, on ne le sait pas; mais, cependant, si effet il y a, il est minime (voir annexe 2).

Il faut compter avec les pannes de la *psyché* humaine

L'histoire de Tchernobyl est pleine d'enseignements dont un nous paraît particulièrement important. Si l'on se représente ce qui s'est passé dans la salle de commande du bloc 4 de Tchernobyl, si l'on devine ce qui s'est passé dans tous les états-majors de crise qui ont dû prendre des décisions quant aux mesures de protection à appliquer, si l'on observe ce qui s'est passé au niveau des médias et à celui des populations, on voit que, presque partout, le comportement de l'être humain en situation de crise est insatisfaisant, voire malsain. Les responsables ont réagi plutôt subjectivement, mûs par des émotions, par des sentiments de peur ou d'orgueil, ou mûs par une recherche de puissance. Les réactions objectivement raisonnées et raisonnables ont eu de la peine à émerger.

Lorsqu'on analyse les grands accidents ou les catastrophes, on constate que, parmi tout un enchevêtrement de causes, il y a, à la base, les imperfections de la *psyché* humaine. Il faudra vraiment que l'on apprenne à prendre cet élément au sérieux, à le connaître mieux, et surtout à en tenir compte.

ANNEXE 1

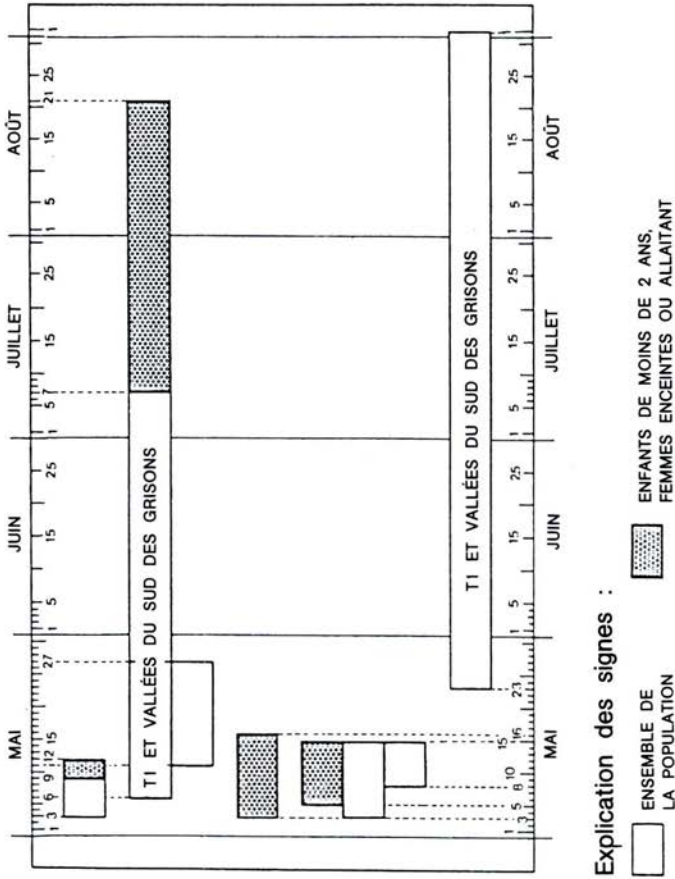
Mesures de protection prises en Suisse à la suite de l'accident de Tchernobyl

Il est utile de se remémorer la situation, en ce qui concerne les résultats des mesures, telle qu'elle se présentait au début du mois de mai. A cette époque, en effet, on ne disposait que de peu de résultats de mesures, parfois très divergents, qui ne donnaient donc pas une image fiable de la réalité. Les valeurs maximales et la régression prévisible de la contamination étaient incertaines. D'emblée, il était clair que les conditions météorologiques influenceraient également la situation radiologique. De plus, un certain nombre de données importantes n'étaient pas immédiatement disponibles, du fait que les méthodes de mesure exigeaient beaucoup de temps (p. ex. détermination du strontium). Or, c'est dans ce contexte qu'il fallait prendre les décisions qui s'imposaient en matière de radioprotection, décisions qui devaient tomber très rapidement, notamment en ce qui concerne l'iode, pour avoir quelque chance d'être véritablement efficaces. L'incertitude des pronostics rendait difficile cette prise de décision. Il était inévitable qu'elle soit influencée par des points de vue subjectifs et intuitifs. Il n'est donc guère étonnant que d'autres pays aient pris des décisions totalement différentes.

Mesures de protection instaurées

Toute mesure de protection imposée et ayant force contraignante a des conséquences financières. Dès le début, il était donc évident que celles que l'on prendrait devaient entraîner une réduction sensible des doses, sous peine d'être inopportunes. On partit donc du principe que, puisque le but était de ne pas dépasser une dose de 5 mSv (500 mrem), des mesures qui, dans le meilleur des cas, provoqueraient une diminution de 0,1 mSv (10 mrem) de la dose dans le groupe critique ne feraient qu'induire des dépenses sans avoir de conséquence véritablement positive. On y renonça donc. En revanche, on estima que des mesures qui entraîneraient une baisse de 0,5 mSv (50 mrem) étaient justifiées. On n'en décelait cependant guère qui promettent une telle diminution de dose. Il y a entre ces deux valeurs toute une zone dans laquelle il est difficile de juger de l'opportunité d'instaurer des mesures de protection. C'est à partir de l'évaluation de cette situation que s'est dessinée la voie suivie en Suisse pour maîtriser le problème des doses consécutives à l'accident de Tchernobyl: elle consista à renoncer, à quelques rares exceptions près, à instaurer des mesures contraignantes et se limita à des recommandations officielles. Les seules véritables interventions ont été le fait du gouvernement tessinois, approuvées par les instances fédérales. Elles concernaient entre autre le transport du lait du nord du Tessin dans le sud et visaient à limiter la radioactivité totale dans le lait à 555 Bq/l (15 nCi/l) au maximum aussi dans le sud de ce canton. D'autre part, le Département fédéral de l'intérieur s'est résolu à interdire la pêche dans le lac de Lugano.

Subsidiairement, on fit toute une série de recommandations (figure 1). Celle qui provoqua la plus forte diminution de la dose fut l'invitation à renoncer au lait frais pour les enfants en bas âge et les femmes enceintes.



PAS DE CONSOMMATION
D'EAU DE CITERNE

PAS DE CONSOMMATION
DE LAIT DE BREBIS
ENTREPOSER LE FROMAGE AU
LAIT DE BREBIS PENDANT 3 SEMAINES

PAS DE CONSOMMATION
DE LAIT DE VACHE

PAS DE CONSOMMATION
DE SALADE ET DE LÉGUMES FRAIS
LAVER LA SALADE
ET LES LÉGUMES FRAIS
ÉPLUCHER LES PRODUITS MARAICHERS

PAS D'ABATTAGE DE MOUTONS ET
DE CHEVRES

Fig. 1. – Sommaire des recommandations (T1: canto du Tessin)

Penchons-nous donc brièvement sur cette recommandation. Dans les premiers jours qui ont suivi les retombées, environ $1,5 \cdot 10^{15}$ Bq (40 000 Ci) d'iode 131 s'étaient déposés sur la Suisse. D'emblée, il ne faisait aucun doute que l'iode ne poserait des problèmes que pendant quelques semaines seulement, puisqu'il se désintègre rapidement (période de 8 jours). Mais l'on savait également que, dans ces circonstances, une activité élevée apparaît dans le lait en l'espace de quelques jours. En outre, on avait des raisons de supposer que ce lait ne serait pas dangereux pour les adultes. Effectivement, la dose due à l'iode aux adultes les plus touchés en raison de la consommation de lait n'a même pas atteint 0,1 mSv (10 mrem). En revanche, la situation se présente tout différemment pour les nouveaux-nés et les enfants en bas âge. Comme ils consomment de grandes quantités de lait et que leur glande thyroïde est petite, on a établi que l'iode 131 est douze fois plus radiotoxique pour eux que pour les adultes. Si l'on voulait que la dose aux petits enfants due à la contamination par l'iode ne soit pas plus élevée que pour les adultes, il fallait, tout au moins pendant la période critique, faire en sorte que les enfants en bas âge et les nourrissons ne consomment pas de lait frais. C'est cette analyse qui a poussé les autorités à recommander que les enfants en bas âge et les femmes enceintes s'abstiennent de consommer du lait frais. Les excédents de lait frais ainsi que la forte demande de lait en poudre permettent de conclure que cette recommandation a été très bien suivie.

ANNEXE 2

Comparaison des effets dus à Tchernobyl en Suisse avec d'autres sources d'irradiations

1. Comparaison avec l'irradiation naturelle

En Suisse, la dose par irradiation naturelle atteint environ 3 mSv par an (300 mrem). Pour plus de 50 %, elle est causée par le radon présent dans l'air que l'on respire. Il est à noter que, tout comme les doses consécutives à Tchernobyl, l'irradiation naturelle varie fortement en fonction du style de vie et de la région. Une dose par irradiation naturelle de 1,5 mSv par an (150 mrem/a) est une valeur tout aussi probable que 50 mSv par an (5 000 mrem/a). La figure 2 montre la situation telle qu'elle se présente pour le radon. La dose moyenne subie par le Suisse à la suite de Tchernobyl en 1986 se situe à environ 0,15 mSv (15 mrem). D'autre part, on a calculé que la valeur maximale atteignait 2 mSv (200 mrem). A la dose par irradiation naturelle subie par le Suisse moyen est donc venu s'ajouter 5 % consécutif à l'accident de Tchernobyl. Même les personnes les plus touchées de la région la plus fortement contaminée n'ont finalement reçu qu'une dose équivalant à environ une année d'irradiation naturelle. En résumé, la situation se présente donc ainsi :

Rayonnement provenant du sol	: 0,4 - 2,0 mSv/an (40-200 mrem)
Rayonnement cosmique	: 0,3 - 0,8 mSv/an (30-80 mrem)
Irradiation par le radon	: 1,4 - 3,8 mSv/an (140-380 mrem)
(valeurs moyennes dans différentes régions)	

NOTES

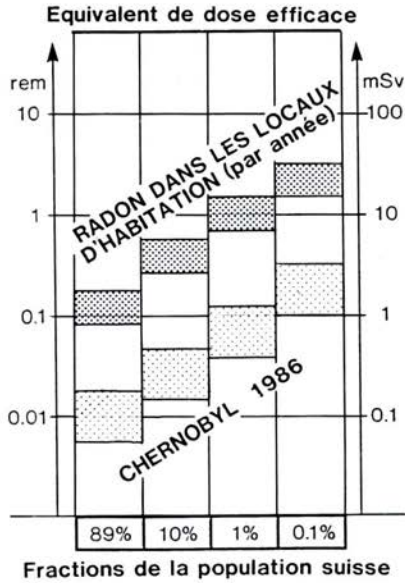


Fig. 2. — Comparaison entre les doses provoquées en 1986 par l'accident de Tchernobyl et les doses causées par le radon présent dans les locaux d'habitation.

En comparaison de cela :

Diagnostics aux rayons X : 0 – > 10 mSv/an (0 – > 1 rem)

Accident de Tchernobyl 1986 : 0,05 - 2,0 mSV (5-200 mrem)

Il est tout à fait admissible de comparer les doses consécutives à l'accident de Tchernobyl avec celles de l'irradiation naturelle, tout au moins pour ce qui est des doses causées par le césium. Du point de vue du métabolisme, le césium est apparenté au potassium 40, ce dernier étant responsable de la plus grande partie de l'irradiation naturelle interne. Outre le césium radioactif, c'est principalement l'iode 131 qui est à l'origine des doses artificielles élevées. Certes, la nature ne connaît aucun radionucléide contribuant de manière prépondérante à la dose par irradiation naturelle, qui soit comparable à l'iode 131. Cependant, ce dernier est un radionucléide utilisé à des fins médicales depuis des décennies sur des milliers de patients et en doses élevées, sans que l'on ait observé d'effets secondaires imprévus.

Il est à signaler que les retombées radioactives consécutives à l'accident de Tchernobyl ne contenaient que des quantités minimales d'émetteurs de particules alpha. Contrairement à cela, plus de 50 % de la dose naturelle est causée par de tels émetteurs alpha, à savoir par le radon et ses descendants. Cet aspect est important car, dans le domaine des faibles doses, les émetteurs alpha sont, à juste titre, considérés comme plus dangereux que les émetteurs de particules bêta et de rayons gamma. On peut estimer que le radon relâché par le sol et les matériaux de construction est responsable, en Suisse, de plus de 100 cancers du poumon par année.

2. Comparaison avec les retombées des bombes atomiques

Il faut tenir compte de l'évolution chronologique différente des retombées. Les retombées radioactives consécutives aux explosions nucléaires se sont accumulées de façon continue entre 1956 et 1966, alors que celles dues à l'accident de Tchernobyl se sont déposées en quelques jours. Au contraire du cas Tchernobyl, la répartition des retombées radioactives provoquées par les explosions nucléaires était assez homogène en Suisse. Il est à noter que le radionucléide responsable de la majeure partie de la dose est le même (^{137}Cs) dans les deux cas. Le tableau I donne des valeurs plus précises sur l'augmentation relative des dépôts présentant une longue période (^{137}Cs et ^{90}Sr) à la suite de Tchernobyl. La contamination du sol par le ^{137}Cs a pratiquement doublé en moyenne, mais elle atteignait au Tessin une valeur 6 fois plus élevée que celle mesurée immédiatement avant l'accident de Tchernobyl.

TABLEAU I

Comparaison entre les retombées consécutives à Tchernobyl et celles provenant des essais nucléaires

A. Augmentation relative de la contamination du sol consécutivement à l'accident de Tchernobyl				
Situation 1986	Avant Tchernobyl	Après Tchernobyl		
		Moyenne	Sud du Tessin	
Césium 137	100 %	≈ 200 %	≈ 600 %	
Strontium 90	100 %	101 %	104 %	
B. Doses moyennes en mSv consécutives aux essais nucléaires et à l'accident de Tchernobyl				
Doses jusqu'en 1985	1986	1987	1988	1990
Essais nucléaires ≈ 1,5	≈ 0,02	≈ 0,02	≈ 0,02	≈ 0,02
Tchernobyl —	≈ 0,15	≈ 0,06	≈ 0,02	≈ 0,02

3. Calcul des effets des rayonnements consécutifs à Tchernobyl

En raison de la contamination du foin engrangé, une partie non négligeable des doses consécutives à Tchernobyl s'est manifestée durant l'hiver 1986-1987. Pour 1986, on a estimé que la dose collective subie par la population suisse atteint 960 H.Sv. Pour 1987, on prévoit qu'elle sera de l'ordre de 370 H.Sv. Par la suite, les doses s'atténueront considérablement et il est difficile de faire un pronostic quelque peu fiable. Pour cette raison, on tente ici d'évaluer les conséquences pour les années les plus marquantes (c.à.d. 1986 et 1987 avec un total de 1 330 H.Sv ou 133 000 H.rem). On applique, à cet effet, les coefficients de risque recommandés par la CIPR.

3.1. Effets génétiques

La majeure partie (≈ 90 %) des doses consécutives à l'accident de Tchernobyl se rapporte au corps entier (césium et irradiation externe). Par conséquent, on peut admettre que les 1 330 H.Sv constituent une dose aux

gonades. Mais seule est importante la part de la dose aux gonades subie par des personnes jeunes, susceptibles de procréer; en moyenne, ce sont des gens âgés d'une trentaine d'années ou moins. A partir de la pyramide des âges de la population suisse, on peut calculer que seuls 45 % de la dose collective aux gonades sont significatifs, autrement dit 600 H.Sv (60 000 H.rem). Selon la publication CIPR 26, le coefficient de risque, calculé pour toutes les générations futures, est de 0,02 cas par Sv. Les calculs statistiques donnent donc douze cas de maladies héréditaires graves qui apparaîtront en Suisse dans une période correspondant à une dizaine de générations à cause de l'accident de Tchernobyl. Or, on estime, en fonction des connaissances actuelles, que 10 % environ des gens souffrent ou souffriront d'affections dues totalement ou partiellement à des facteurs génétiques.

3.2. Affections cancéreuses

Selon la CIPR, le taux de risque officiel pour les maladies cancéreuses générées par irradiation est de 0,0125 cas par Sv. C'est sur ce chiffre que se base la radioprotection des personnes exposées professionnellement aux rayonnements. Mais, comme la population globale renferme une forte proportion de personnes jeunes, plus sensibles aux rayonnements, il est plus prudent de calculer avec la valeur de 0,02 cas par Sv, chiffre également utilisé dans la publication CIPR 45.

Selon cette valeur, il faudrait prévoir pour les 50 prochaines années, 27 cas de cancers mortels dus aux doses consécutives à Tchernobyl. De plus, on compte un nombre équivalent d'affections cancéreuses curables. Ces nombres doubleraient, si l'on tenait compte non seulement des doses subies en 1986 et 1987, mais jusqu'à la désintégration totale du césium 137.

Remarquons, néanmoins, que les chiffres ci-dessus sont entachés d'incertitudes et qu'ils se situent plutôt à la limite supérieure. Il existe des arguments relevant de la radiobiologie, selon lesquels des doses aussi faibles n'auraient absolument aucun effet.

Ces cas de cancers supplémentaires hypothétiques, résultats de calculs statistiques, apparaîtront au cours des prochaines cinquante années; cela signifie donc qu'il y aurait environ un décès supplémentaire par année. Si l'on compare les conséquences dues à l'accident de Tchernobyl et les effets du rayonnement naturel, également calculés, avec les conséquences du tabagisme étayées par plusieurs études, on obtient l'image suivante:

	Cancers mortels par année en Suisse
Tchernobyl	℞ 1
Rayonnement naturel	℞ 400
Tabagisme	℞ 2 300
Toutes causes confondues	℞ 15 000