

La catastrophe de Tchernobyl

Les leçons à en tirer pour les programmes nucléaires d'Électricité de France

Pierre TANGUY

Dans le cadre des exposés consacrés aux radiations, la parole a été donnée le 11 Mars 1987 par M. le Président Jean DAUSSET à M. Pierre TANGUY, pour relater et commenter l'accident de Tchernobyl et ses suites tels qu'ils ont été vécus d'un point de vue français par un inspecteur général pour la sûreté et la sécurité nucléaire :

Je vais vous parler de Tchernobyl. Je crains de vous redire des choses que vous savez déjà parce qu'on en a beaucoup parlé, on a beaucoup écrit. J'essaierai de faire une synthèse, un peu plus de dix mois après la catastrophe. La deuxième partie, qui est peut-être plus nouvelle, c'est de dire, puisque je suis à Electricité de France, les enseignements que nous en tirons et quelle est la perspective que l'on peut imaginer pour le développement des programmes nucléaires français après Tchernobyl.

Les faits et leur synthèse

Les données

Tchernobyl, souvenez-vous : ça s'est passé dans la nuit du vendredi 25 au samedi 26 avril 1986. C'était en Ukraine. Sur la

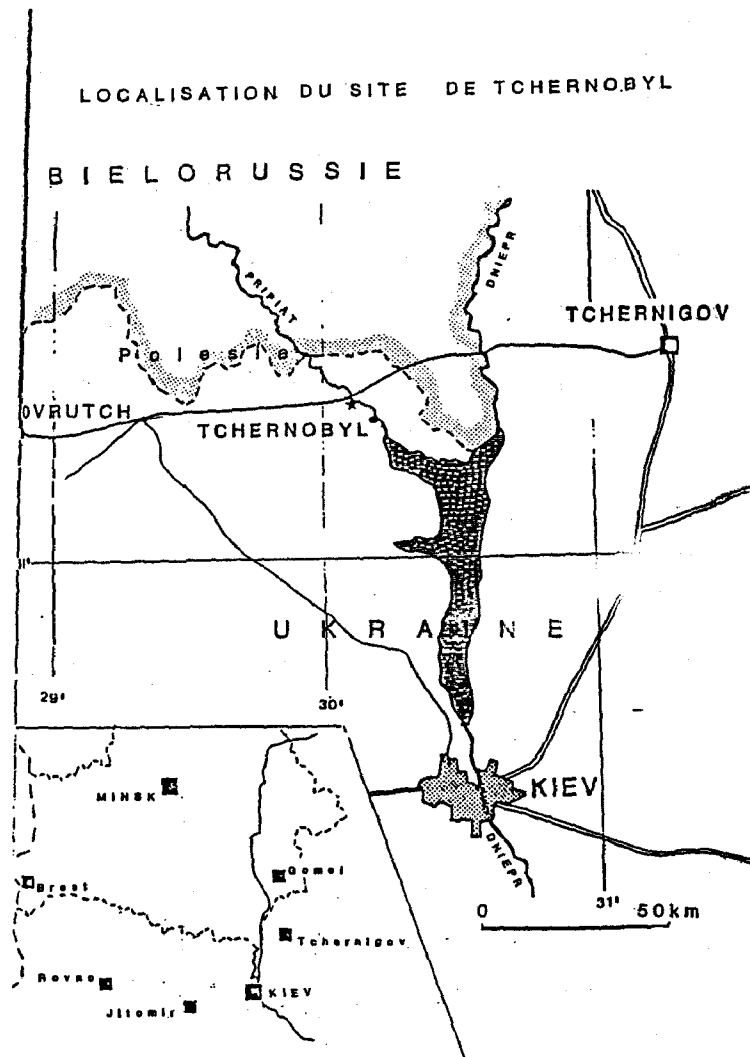
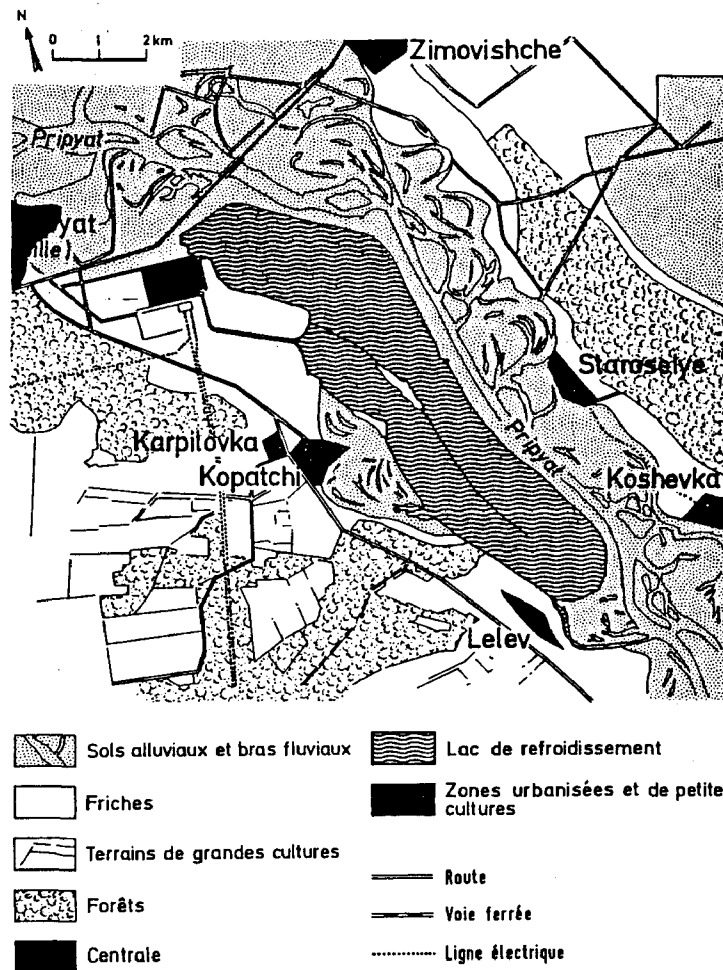


figure 1 je signale un point de détail. Si vous regardez la carte, vous voyez une étoile qui est la centrale sur la rivière Pripiat, affluent du Dniepr, située à, à peu près 130 km au nord ouest de la grande capitale de l'Ukraine qui est Kiev. Vous voyez que la ville de Tchernobyl, qui est un petit point noir, est au sud; c'est une ville de 12.500 habitants. Il n'y a rien au nord, notamment il n'y a pas cette fameuse ville de Pripiat de 50.000 habitants qui a été évacuée dans les premiers jours après l'accident. Ceci parce que c'est une carte qui a été établie par le Commissariat à l'Energie Atomique

le 29 avril, c'est-à-dire quand nous avons connu la nouvelle de l'accident en France, à partir de cartes soviétiques anciennes où la ville de Pripiat n'existait pas.

SCHEMA INTERPRETATIF des ENVIRONS
de la CENTRALE à PARTIR des CLICHES SPOT



Sur la figure 2 vous apercevez un carré noir, c'est le site nucléaire, avec les quatre unités de la centrale de Tchernobyl. Vous distinguez, tout à fait en haut, en dehors de l'image, une échelle qui montre deux kilomètres, et dans le coin à gauche, en haut de l'image (ce sont des photos prises par le satellite français SPOT, des photos qui ont été connues à peu près vers le 10 mai), vous apercevez une tache noire, c'est le début de la ville de Pripiat (50.000

habitants), qui ne figurait donc pas sur les cartes précédentes. Pourquoi ? Parce qu'elle n'existait pas au moment où la centrale a été décidée. Au début, ce furent simplement les baraquements des ouvriers lorsque la construction a commencé, dans les années 70. La construction s'est poursuivie pendant de nombreuses années. Il y a encore actuellement deux unités qui sont en construction. Il y a, de plus, le personnel d'exploitation qui est assez nombreux; il y a les familles, tous les gens que cela fait travailler et, finalement, à moins de 2 km de la limite du site, une ville de 50.000 habitants. C'est un exemple bien connu : lorsqu'on implante une installation industrielle, au début on fait bien attention de la mettre dans un endroit où il n'y a personne, et puis au bout d'un certain temps, on oublie cette décision et on se trouve avec une ville de 50.000 habitants à 2 km, ce qui à ma connaissance, est sans précédent parmi les centrales nucléaires, même je crois en Union Soviétique.

Cet accident est donc survenu dans la nuit du vendredi 25 au samedi 26 avril. Je vais vous en parler plus en détail. Il y a eu, dès la minute initiale 1 h.23, des rejets de radioactivité importants. Les autorités de Moscou ont été prévenues pratiquement sans délai par les exploitants de la centrale. Ils ont envoyé une équipe qui, compte tenu de la distance, est arrivée dans la journée du samedi en Ukraine sur le site, a pris conscience dans l'après-midi du samedi que la situation était vraiment catastrophique, qu'il faudrait évacuer la ville de Pripjat. L'évacuation a eu lieu dans l'après-midi du dimanche 27 avril, entre midi et deux heures et demi, avec notamment 1.100 autobus de la ville de Kiev qui sont venus dans la nuit avec les chauffeurs habituels de ces autobus. Et la nouvelle a été donnée par les autorités soviétiques dans la soirée du lundi 28 avril, je crois que c'est vers 20 h., heure de Moscou, par une dépêche assez laconique de l'agence TASS. En fait la presse occidentale avait été alertée quelques heures auparavant.

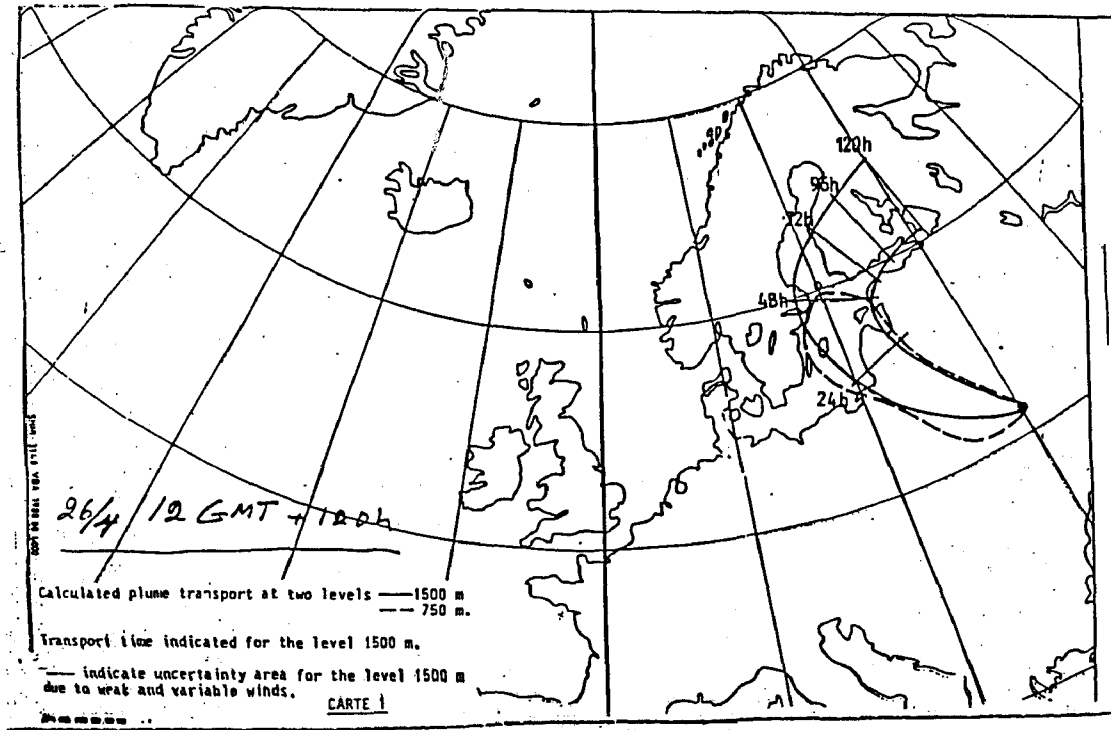


Figure 3. C'est un calcul qui a été fait par les Suédois dans les jours qui ont suivi la catastrophe. A partir d'un point source qui est, bien sûr, la centrale de Tchernobyl, vous apercevez la Scandinavie, et le trajet qu'a suivi le nuage radioactif qui est parti dans la matinée du samedi et dont vous pouvez suivre le déplacement au bout de 24 heures, puis de 48 heures. Donc, au bout de 48 heures, c'est-à-dire dans la matinée du lundi, il est arrivé sur les côtes orientales de la Suède. La Suède est un pays qui est assez fortement nucléarisé. Autour des centrales nucléaires suédoises, comme autour des centrales nucléaires françaises, il y a des balises de radioactivité. Ces balises se sont déclenchées. Les Suédois ont cru au début que c'était un accident qui était survenu sur une de leurs centrales. Quand ils ont vu qu'il n'y avait rien et que le vent soufflait en provenance du Sud-Est, ils ont pensé que ça venait d'Union Soviétique. Les nouvelles sont arrivées dans les agences de presse occidentales à la fin de la matinée du lundi, c'est-à-dire quelques heures avant que les nouvelles soient connues officiellement à partir de l'Union Soviétique.

En France, c'est le lundi 28 avril dans la soirée que les nouvelles sont arrivées, et dès le 29 avril, il était possible d'entrer en contact avec les Suédois et d'avoir de la part des exploitants suédois et de la part également des autorités finlandaises qui avaient mesuré la radioactivité, les mesures qui avaient été effectuées. A partir de ce moment-là, tous les experts occidentaux ont été en mesure de déclarer qu'il y avait eu à Tchernobyl une catastrophe sans précédent dans l'industrie nucléaire civile. Pourquoi et comment les experts sont arrivés si vite à cette conclusion mérite une explication. A partir du moment où on avait identifié la source, c'est-à-dire que les soviétiques nous avaient dit que l'accident était survenu à Tchernobyl et que l'on avait la valeur de la radioactivité qui avait été mesurée en Suède, c'est-à-dire à peu près à 1.200 km de la source, il était possible de faire les calculs en sens inverse en tenant compte des données météorologiques. Vous avez là un exemple du calcul qui a été fait par les Suédois et on pouvait donc remonter à la source.

Il n'est pas inutile de rappeler comment on fait ce calcul à l'envers parce que ça donne bien une idée de ce qu'est un accident sur une installation nucléaire civile. Un accident sur une installation nucléaire a beaucoup de points communs avec un accident sur une installation chimique, par exemple une installation industrielle qui contient des produits toxiques dangereux. Cet accident, c'est le relâchement dans l'environnement de ces produits dangereux. Ce relâchement peut se faire par voie aqueuse. Dans ce cas il va dans les eaux de surface ou dans les eaux de profondeur, et reste relativement limité, au début au moins, dans le voisinage; ensuite il suit le cheminement de ces eaux. Le relâchement peut se faire par voie atmosphérique comme ça a été le cas pour l'essentiel à Tchernobyl, et à ce moment-là, il suit les courants atmosphériques, et au fur et à mesure du transport par les courants, la toxicité des produits dangereux, qu'ils soient radioactifs ou qu'ils soient chimiques, diminue. Il y a dilution et il y a appauvrissement du nuage par dépôt au fur et à mesure de son trajet.

COMPARAISON DES DOSES DUES A L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL

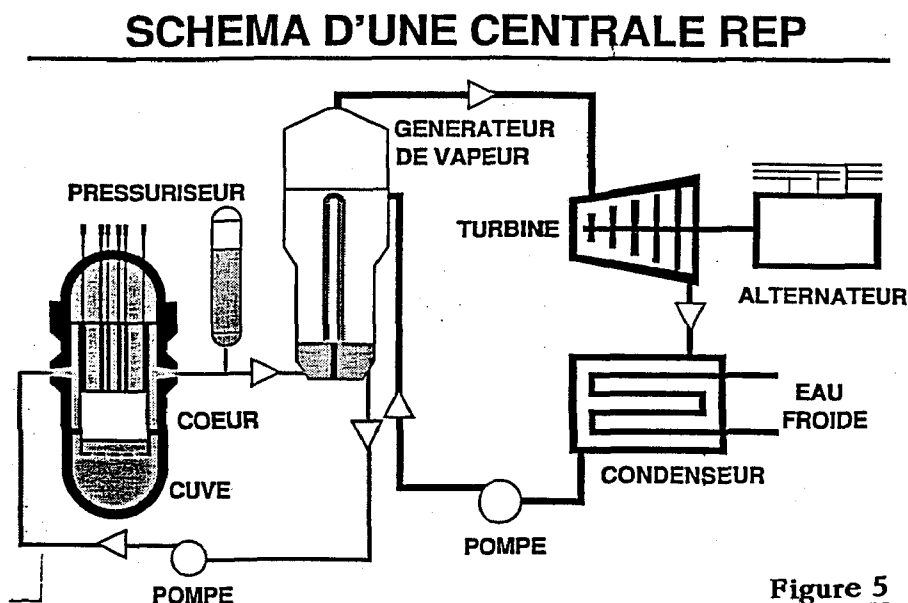
Zones géographiques	Doses	
	en mrems	en relatif
FRANCE et EUROPE de l'OUEST	5	1
EUROPE CENTRALE (POLOGNE)	50	10
RUSSIE d'EUROPE	500	100
A 30 km du site	5 000	1 000
A 5 km du site	50 000	10 000
Au point 0	500 000	100 000

La figure 4 illustre ce phénomène de dilution avec la distance. C'est un calcul qui a été fait par le Commissariat à l'Energie Atomique. La colonne de droit donne la toxicité en valeurs relatives. La Scandinavie correspond à peu près au point de vue distance à l'Europe Centrale (Pologne). La France est comprise entre 1.500 et 2.500 km de Tchernobyl. Et vous voyez qu'entre la Suède et le point zéro, la source, il y a à peu près un facteur 10.000. On savait donc que si on avait mesuré 1 en Scandinavie, on avait 10.000 sur le centre, on avait 1.000 dans la région voisine du site, encore 100 dans la région de rayon 30 km. Vous savez que la région de 30 km est celle qui a été évacuée. Il était donc assez facile de calculer dès le 29 avril, à partir de ce qui avait été mesuré en Suède, que l'on avait sur le lieu même de l'accident une catastrophe extrêmement grave au point de vue niveau d'irradiations et effets sur les travailleurs et sur la population à proximité. C'est d'ailleurs ce qui a été confirmé lorsque nous avons connu vers le milieu du mois de mai les doses d'irradiations reçues par les agents de la centrale et les pompiers qui avaient combattu l'incendie, et vous savez que c'est là où il y a eu les victimes puisqu'il y a eu en tout 31 décès à la suite de l'accident de Tchernobyl. A partir du moment où on savait qu'il y avait une catastrophe, on avait un ordre de grandeur de son ampleur;

la question immédiate qu'on se posait et à laquelle on essayait de répondre était : est-ce qu'une telle catastrophe peut se produire sur nos centrales nucléaires ? Tous les exploitants nucléaires se posaient la même question, et pour y répondre, il fallait comprendre ce qui s'était passé. On l'a su réellement à la fin du mois d'août. Les Soviétiques ont accepté de venir à Vienne sous l'égide de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique présenter, à la fin du mois d'août, ce qui s'était passé, les causes de l'accident, la séquence accidentelle, les conséquences de l'accident et les contre-mesures prises. La conférence a duré une semaine. Il y avait 500 experts qui provenaient de 60 pays, et la délégation soviétique a présenté de manière qui a été jugée unanimement comme très ouverte et franche ce qu'elle savait 4 mois après l'accident. Et 4 mois, pour un accident d'une telle complexité, ne doit pas être considéré comme un délai très long, d'autant qu'il avait détruit un certain nombre d'instruments de mesure qui auraient facilité certainement l'analyse par les experts.

L'analyse de l'accident

Il faut comprendre un peu ce qu'est une centrale nucléaire, et la figure 5 présente un schéma des centrales nucléaires que nous utilisons à E.D.F., les réacteurs à eau sous pression (R.E.P.). Une centrale nucléaire, c'est une centrale électrique dans laquelle on



a remplacé la chaudière par un réacteur nucléaire. La partie importante de la centrale est finalement la même que dans une centrale électrique, c'est-à-dire c'est la partie (à droite), la turbine qui est alimentée par la vapeur, c'est l'alternateur couplé à cette turbine qui fournit l'électricité. La différence dans une centrale nucléaire, c'est que cette vapeur est produite par un réacteur nucléaire et dans ce réacteur nucléaire, l'énergie provient de la fission de l'uranium.

Du point de vue sûreté et risques, évidemment c'est la partie gauche qui est importante : le réacteur. Dans le réacteur, les produits dangereux sont très concentrés. Ils sont à l'intérieur du combustible et proviennent de la production même d'énergie. Ils sont inévitables. Le danger ne vient pas de la réaction en chaîne elle-même, il vient de ce qu'au fur et à mesure qu'on produit de l'énergie, donc de l'électricité, on produit en même temps des produits radioactifs qui constituent le risque nucléaire. En temps normal, on est tranquille car ils sont contenus à l'intérieur de ce qui est appelé "le coeur", et donc il n'y a pas de risque pour l'extérieur. Mais le risque vient du fait que ces produits radioactifs peuvent s'échapper dans l'environnement et donc atteindre l'homme, et à ce moment-là, l'homme est soumis aux effets de la radioactivité qu'ils émettent.

La partie importante (à droite de la figure 6) est pratiquement la même. Au milieu, vous avez une petite différence, dont on

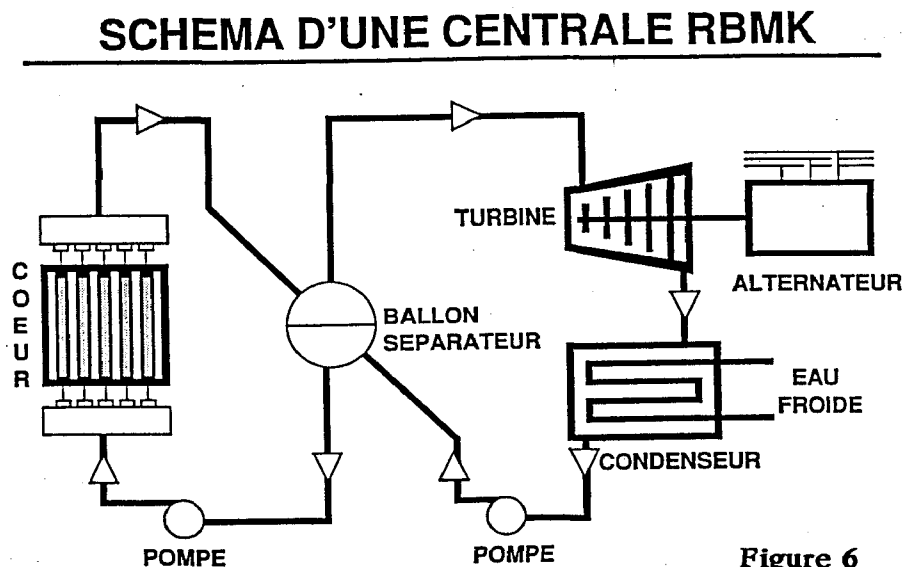


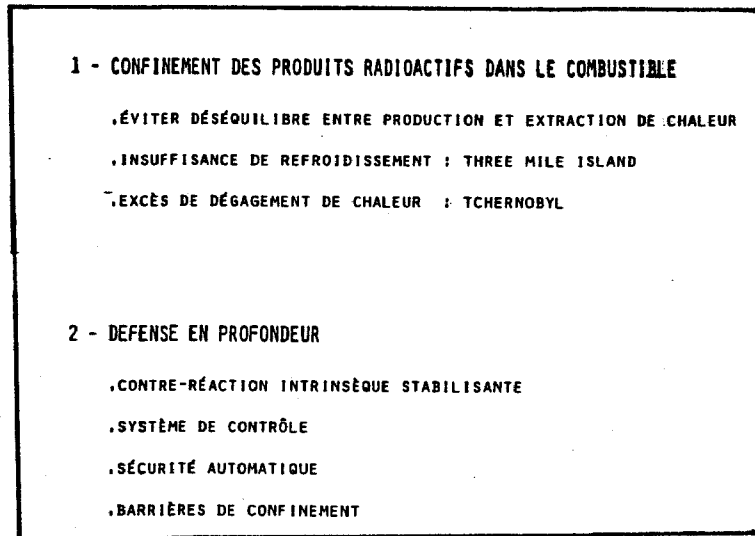
Figure 6

a cru quand on n'avait pas les informations des Soviétiques que cela avait joué un rôle. Sur le schéma précédent, la vapeur était produite par ce qu'on appelle un générateur de vapeur. Ici, vous voyez que la vapeur qui va dans la turbine est produite directement dans le réacteur; elle passe simplement dans un séparateur pour être desséchée, et alors ensuite dans la turbine. On a cru au début que cela avait pu jouer un rôle; en fait cela n'en a eu aucun dans l'accident. La partie importante pour l'accident et pour la sûreté c'est donc toujours la partie (à gauche), c'est le "coeur". Ce que j'ai dit tout à l'heure reste vrai : c'est dans ce coeur qu'il y a les produits dangereux. Ces produits sont en temps normal bien confinés. Ils sont à l'intérieur du combustible. Et ils y restent confinés parce que dans ce combustible, on dégage de la puissance, mais en parallèle on l'extrait, si bien qu'on a une situation parfaitement stable. Et pour qu'il y ait un risque, il faut qu'on sorte de cette situation stable. Donc, on sait où est le danger. Pour maîtriser ce danger, il faut maintenir ce confinement. Ce que l'on craint, c'est qu'il y ait un déséquilibre entre le dégagement de puissance et l'extraction de cette puissance. Vous avez deux manières de créer un déséquilibre : la première, c'est d'avoir une insuffisance de refroidissement, c'est ce qui se passe si vous avez une casserole électrique dans laquelle vous n'avez pas assez d'eau, au bout d'un certain temps, vous n'avez pas assez de refroidissement et vous allez brûler votre casserole. C'est ce qui s'est passé à Three Miles Island aux Etats-Unis, en 1979, un accident qui n'a pas eu de conséquences pour la santé, pour d'autres raisons dont je vous parlerai plus loin, mais qui reste un accident qui, sur le plan de la chaudière nucléaire, était un accident également très grave. Et la deuxième manière d'avoir un déséquilibre, c'est d'avoir un accroissement de puissance alors que le refroidissement est maintenu, c'est la casserole électrique qui est prévue pour du 110 V et que vous branchez sur du 220 V. Si vous avez fait l'expérience, vous savez ce qui se passe. Vous allez aussi brûler votre casserole électrique. C'est ce qui s'est passé à Tchernobyl. Il y a eu un excès de dégagement de puissance.

Tout ceci est très simple et très connu depuis longtemps, et les méthodes utilisées pour maîtriser ce risque sont également connues depuis l'origine de l'utilisation pacifique de l'énergie nu-

cléaire. On appelle ça d'un titre un peu ronflant "défense en profondeur", cela signifie simplement que du point de vue sûreté, on ne se limite pas à une seule disposition de sûreté mais qu'on veut avoir plusieurs lignes de défense successives qui doivent être franchies pour avoir un accident. Ces lignes de défense se comprennent très simplement. Vous craignez un déséquilibre. Donc au début ce que vous essayez d'avoir, c'est que la machine elle-même soit stable. Lorsque vous êtes dans un avion, si vous avez un coup de vent, votre avion ne pas pas partir immédiatement en vrille. En fait il va accuser le coup, et s'il est stable, il reste en ligne et vous continuez. Cela ne suffit pas toujours en cas de déséquilibre particulièrement fort, il vous faut des systèmes de contrôle. Dans un avion, ce sont les gouvernes, dans un réacteur ce sont les barres de contrôle qui permettent de contrôler la puissance. Et ce sont des systèmes qui fonctionnent comme tous les systèmes de régulation d'ensembles industriels; on fixe un point de fonctionnement et si vous avez une perturbation qui vous éloigne du point de fonctionnement, une régulation automatique vous ramène à ce point. Les systèmes de régulation peuvent tomber en panne, les perturbations peuvent être plus fortes que prévues. Il peut y avoir, on en reparlera, l'erreur humaine. Donc la troisième ligne de défense, c'est la sécurité automatique. Ici on arrête la réaction en chaîne, on arrête le dégagement de puissance. Il y a une complication dans les réacteurs nucléaires parce qu'il faut maintenir un refroidissement minimum pendant plusieurs heures et même plusieurs jours mais les systèmes de sécurité doivent ramener automatiquement une situation sûre. Et la dernière ligne de défense, c'est la barrière de confinement (je reviendrai aussi sur ce point parce que c'est ça qui fait la différence fondamentale entre l'accident de Three Miles Island et la catastrophe de Tchernobyl), c'est l'existence ou l'absence de cette barrière ultime de confinement (figure 7).

A Tchernobyl, premier point : la première ligne, c'est-à-dire les réactions stabilisantes. Les opérateurs ont mis la centrale dans un état où ses contre-réactions n'étaient pas stabilisantes mais étaient au contraire destabilisantes. Donc cela serait vraiment l'avion qui, à la moindre perturbation, part effectivement en vrille. Deuxième point : contrôle par un système de régulation. Là aussi, pour des

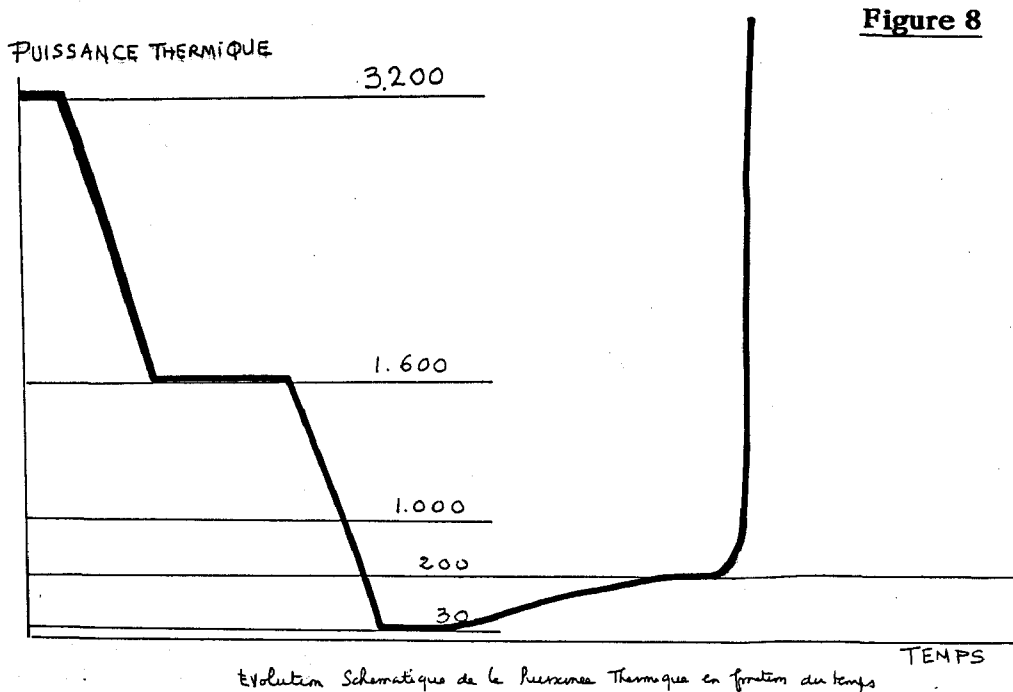


raisons que je vais vous expliquer maintenant, les opérateurs ont privé le réacteur nucléaire de Tchernobyl de tout système de contrôle. Troisième ligne de défense : les sécurités automatiques qui arrêtent tout. Elles existaient dans le cas du réacteur de Tchernobyl, mais pour des raisons que je vais essayer également de vous expliquer, les opérateurs ont court-circuité ces sécurités et les ont volontairement rendues inopérantes. En enfin, quatrième ligne de défense : la barrière ultime. Pour le type d'accident qui est survenu à Tchernobyl, elle n'existait pas.

Je vais vous expliquer tout cela un peu plus en détail. Je voudrais revenir sur un point. Pourquoi ces contre-réactions destabilisantes ? Le réacteur soviétique est un réacteur particulier, qui n'est développé dans aucun autre pays du monde et qui a été développé par les Soviétiques il y a déjà un certain temps, dans les années 60. Il utilise comme combustible de l'oxyde d'uranium enrichi, ce qui est très classique. Pour entretenir la fission de l'uranium, il faut une réaction en chaîne et pour cette réaction il faut ce qu'on appelle un "modérateur" qui utilise du graphite. C'est également classique. Nos réacteurs sous pression ont de l'oxyde d'uranium enrichi. Nous avons en France des réacteurs à graphite, modérés au graphite. Mais pour refroidir, et je vous ai parlé du refroidissement à l'occa-

sion de l'équilibre puissance-refroidissement, le réacteur soviétique utilise de l'eau ordinaire bouillante, c'est aussi classique. C'est utilisé notamment aux Etats-Unis, en Allemagne. La particularité du réacteur de Tchernobyl, c'est l'association entre le graphite d'un côté et l'eau bouillante de l'autre. Et c'est en ça qu'il est unique. Il y a des raisons économiques, techniques pour avoir fait ce choix, mais ce qu'il faut voir c'est que c'est cette association qui est responsable de l'instabilité fondamentale de ce type de réacteur. Autrement dit, si vous avez seulement du graphite mais un refroidissement par gaz, vous n'avez pas d'instabilité. Si vous avez seulement de l'eau bouillante mais un modérateur par eau bouillante (ce qui est le cas des réacteurs américains et allemands), vous n'avez pas d'instabilité. Si vous avez les deux vous avez cette possibilité d'instabilité. Les Soviétiques connaissaient parfaitement ce risque d'instabilité.

La figure 8 reproduit le diagramme que nous ont présenté les Soviétiques fin août à Vienne. La courbe représente la puissance du réacteur en fonction du temps. Au début elle était à 3.200, c'est une puissance thermique, c'est-à-dire que la chaleur dégagée correspondait à 1.000 Mégawatts électriques. C'était la puissance normale du réacteur. On était le vendredi 25 avril à 1 heure du matin. Le réacteur devait s'arrêter, arrêt d'entretien annuel comme on le fait



sur toutes les centrales du monde. Les Soviétiques avaient prévu de profiter de cet arrêt pour faire un essai sur l'alternateur à une puissance réduite, qui était le tiers de la puissance normale. Ils ont commencé à réduire la puissance le vendredi matin à 1 heure pour atteindre le tiers de la puissance. A 2 heures de l'après-midi, ils avaient atteint la moitié de la puissance, ils se sont apprêtés à continuer la baisse de puissance mais à ce moment-là, le Dispatching, c'est-à-dire l'organisme qui en U.R.S.S. comme en France est responsable de fournir de l'électricité à la clientèle leur a dit : stop, j'ai des problèmes d'alimentation en électricité dans la région de Tchernobyl, j'ai besoin de votre électricité. Les opérateurs sont restés en palier à 1.600 MW et ce palier a duré de 2 heures de l'après-midi le vendredi à 11 heures du soir. Et pendant ce temps là, il y a eu deux phénomènes : le premier est classique, c'est qu'il y a eu un effet sur la réaction en chaîne (sur les neutrons) qu'on appelle effet d'empoisonnement. Les opérateurs le connaissent parce qu'il se produit lorsqu'on réduit la puissance : si on attend un certain temps, on ne peut pas redémarrer la centrale; elle est empoisonnée. Et l'on est obligé d'attendre à peu près 24 ou 48 heures pour pouvoir redémarrer. Comme ils étaient à mi-puissance, l'effet a été atténué mais il a existé. Le deuxième point est psychologique, on ne peut qu'émettre des hypothèses : les opérateurs de la centrale tournaient par quart de 8 heures mais il y avait sur place une équipe de Moscou qui était venue pour faire cet essai. Ils étaient donc là l'arme au pied, un vendredi après-midi à 2 heures, qui pensaient faire l'essai dans les heures qui suivaient et pouvoir partir à 5/6 heures et rentrer chez eux l'essai fait et on leur dit : désolé, vous attendez jusqu'à 11 heures du soir. Cela n'a certainement pas contribué à la tranquillité des esprits dans les installations de Tchernobyl à cette heure là. A 11 heures du soir le Dispatching leur a dit : je n'ai plus besoin d'électricité, vous pouvez y aller, et la puissance recommence à descendre. Mais à ce moment-là, elle aurait dû s'arrêter sur la ligne de 1.000 MW, mais elle ne s'arrête pas; elle est descendue complètement jusqu'à 30 MW, c'est-à-dire 1 % de la puissance. La centrale s'est étouffée : les Soviétiques ont reconnu d'où cela venait: c'est une erreur d'opérateur comme il peut s'en produire dans n'importe quelle centrale française. Lorsque vous passez certains seuils de puissance, vous êtes obligés de passer d'un système de régulation

à un autre, comme dans une installation industrielle. Vous demandez à l'opérateur de bien fixer les points de consigne. Il s'est trompé, si bien que la régulation a couru après un point de consigne qui était trop éloigné du point réel. Ça n'a pas marché. La centrale s'est étouffée.

Quand on juge à froid, on conclut qu'on ne peut pas faire l'essai; c'est très triste et on recommencera l'année prochaine. Mais l'équipe de Moscou a dit "pas question, on est venu pour faire l'essai et il faut que vous remontiez la puissance". De 11 heures du soir à 2 heures du matin l'équipe d'exploitation a essayé tant bien que mal de remonter la puissance. A 1 heure du matin, ils ont réussi à se stabiliser à 200 MW. Et là, c'était le drame. Malheureusement, ils ne le savaient pas à Tchernobyl. 200 MW c'est nettement inférieur à 1.000 MW. Et 1.000 MW n'avaient pas été fixés au hasard. C'est au-dessus de 20 % de la puissance, domaine où le réacteur était potentiellement instable. C'était le domaine d'instabilité. Quand il était au-dessus il était stable parce qu'il y avait d'autres effets qui permettaient de le rendre stable : c'est tellement connu que le fonctionnement en paliers en-dessous de 700 MW était rigoureusement interdit. Pour faire l'essai, ou bien les exploitants l'ont oublié, ou bien délibérément ils ont dit : "C'est une consigne, on ne comprend pas très bien à quoi elle sert, donc on ne la respecte pas".

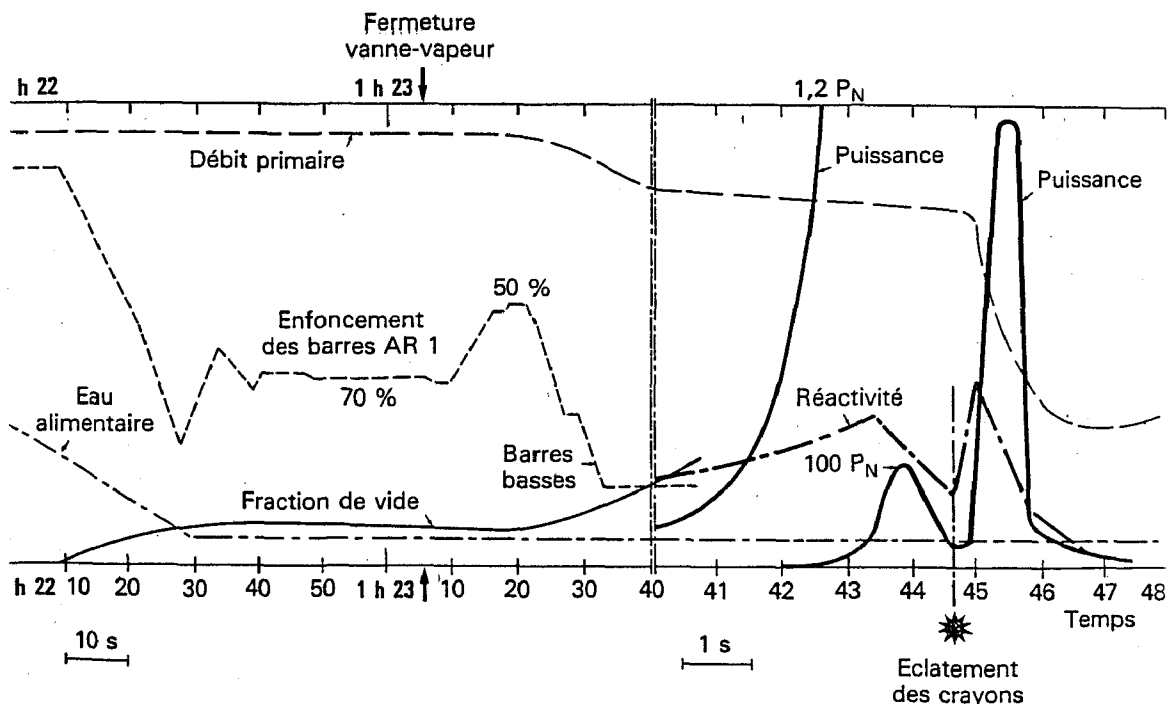
Deuxième point : pour réussir à atteindre ces 200 MGW, comme ils étaient "empoisonnés", ils ont été obligés de retirer toutes les barres de contrôle du coeur. Ils ont enfreint les règles de sécurité dont les Soviétiques nous ont dit qu'elles étaient extrêmement strictes puisque l'exemple qui a été donné par l'académicien Legassov, c'est que même M. Gorbatchev n'aurait pas pu autoriser un fonctionnement sans barres de contrôle. Ils se sont trouvés à 1 h.20 du matin avec un réacteur qui était donc instable (ils ne le savaient pas) et qui était par contre complètement livré à lui-même, et ils auraient dû savoir cela. D'après les Soviétiques, le responsable de l'exploitation a eu vers 1 h.23 une sortie d'ordinateur qui lui a montré que le réacteur était sans contrôle (ils en ont trouvé la trace). Il au-

rait dû arrêter immédiatement. Il évitait encore l'accident à ce moment-là, une minute avant la catastrophe. Il ne l'a pas fait.

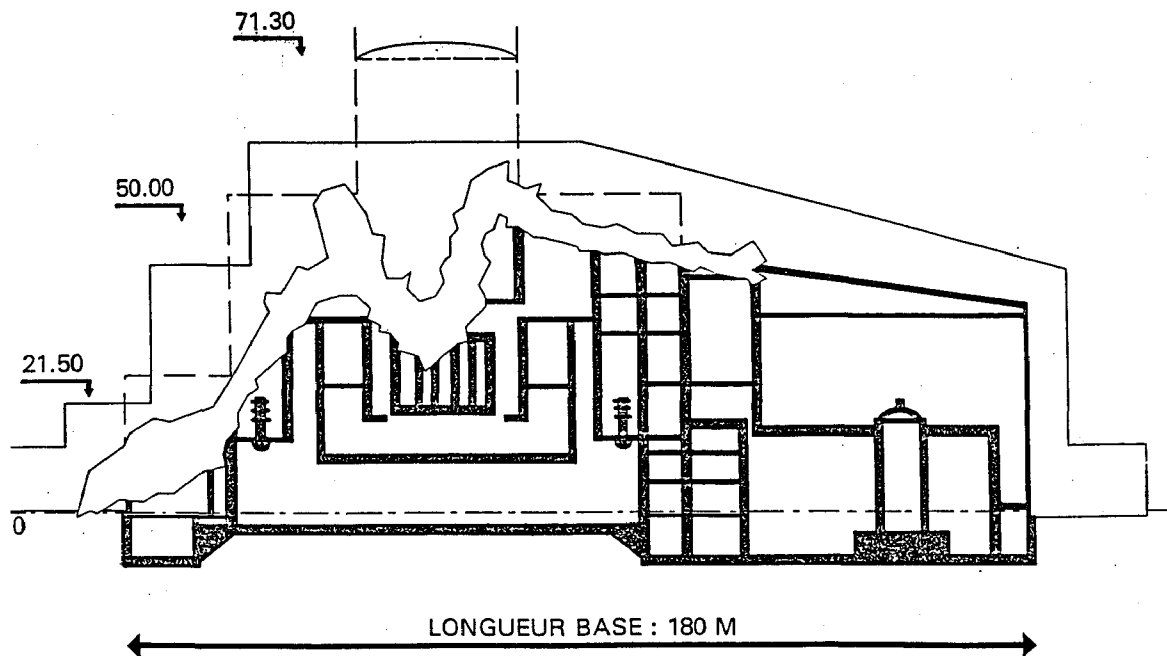
Entre temps, le troisième point : les sécurités court-circuitées. Ces centrales nucléaires sont, dans tous les pays du monde, des engins compliqués où on essaie de protéger la centrale contre tout ce à quoi on a pensé, ou pas pensé, si bien qu'il y a des sécurités branchées sur un grand nombre de paramètres qui ont toutes pour effet d'arrêter la centrale. Les exploitants se sont rendus compte que s'ils laissaient ces sécurités actives, dans leur période hésitante où ils sont passés de 30 MW à 200, elles auraient fonctionné et elles auraient arrêté la centrale. Comme ils voulaient à tous prix faire l'essai, ils ont court-circuité ces sécurités. Et vous avez donc l'explication de ces trois phénomènes successifs : un réacteur instable parce qu'il fonctionnait à un régime rigoureusement interdit, un réacteur sans contrôle parce que les exploitants, pour atteindre ce régime interdit, avaient retiré tous les systèmes de contrôle et enfreint les règles, et un réacteur sans sécurités parce que pour pouvoir stabiliser, ils avaient été également obligés de court-circuiter les sécurités. Alors ce qui devait arriver est arrivé.

La figure 9 montre ce qui s'est passé. L'échelle des temps: 40, 41, 42, 43, 44 est en secondes. La courbe qui est intéressante

"LES 2 DERNIERES MINUTES"

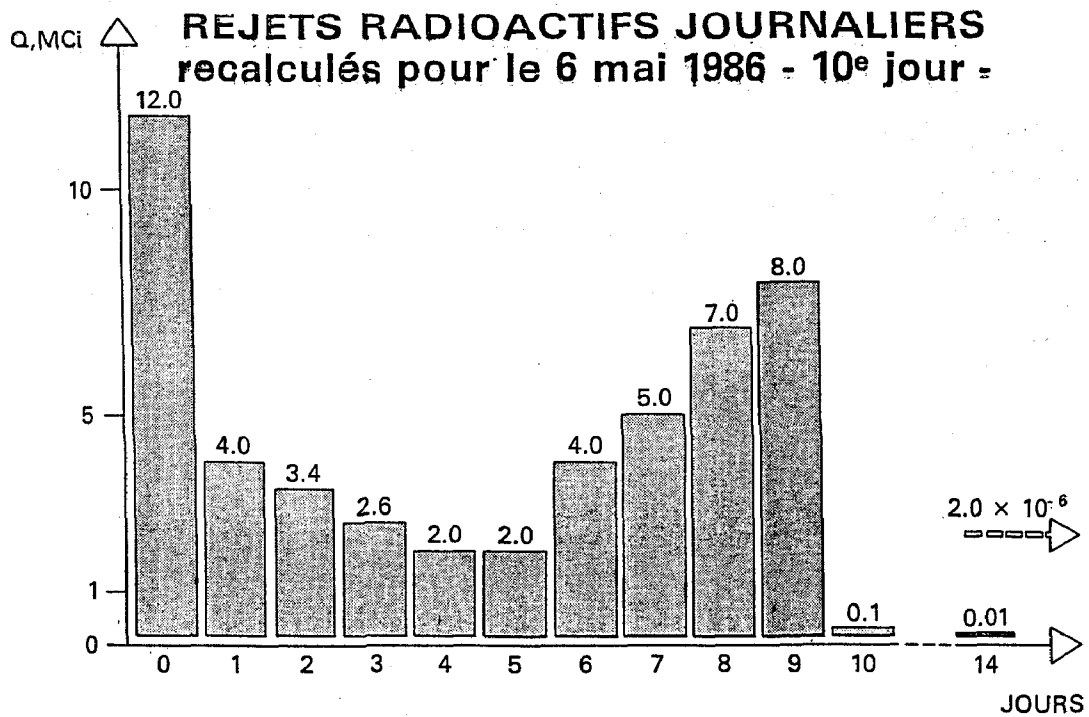


c'est la courbe qui monte très vite vers le haut. C'est la puissance. La puissance était de 200 MW thermiques à 1 h.23 mn 40 secondes. Deux secondes plus tard, elle perce le haut (il y a écrit 1,2 PN, ce qui signifie à peu près 3.600 donc elle était multipliée par 20). Mais ensuite on est obligé de changer d'échelle pour retrouver la courbe et on passe à 100 PN, c'est-à-dire à 300.000 MW. Cela signifie qu'en 4 secondes la puissance dégagée dans le combustible est passée de 200 à 300.000. C'est bien le déséquilibre dont j'ai fait mention mais c'est un déséquilibre vraiment extrême. Rien ne peut tenir un tel déséquilibre. Ce qui s'est passé, c'est que le combustible a surchauffé, il a éclaté en petites particules extrêmement chaudes et extrêmement fines. Je vous ai dit qu'il y avait de l'eau de refroidissement. L'eau en contact avec ces petites particules s'est vaporisée à très grande vitesse. Il y a donc eu un phénomène d'ondes de choc. C'est ce qu'on appelle une interaction thermodynamique, ou encore une explosion vapeur, et cette onde de choc a détruit l'installation.



La figure 10 montre une coupe de l'installation. Au centre, vous avez ce que j'ai appelé le "coeur", c'est là où est la partie dangereuse, les produits radioactifs. Le reste, ce sont les structures, à gauche, ce sont les bâtiments auxiliaires, à droite, c'est la salle des machines. Et le schéma en pointillé, c'était le bâtiment avant,

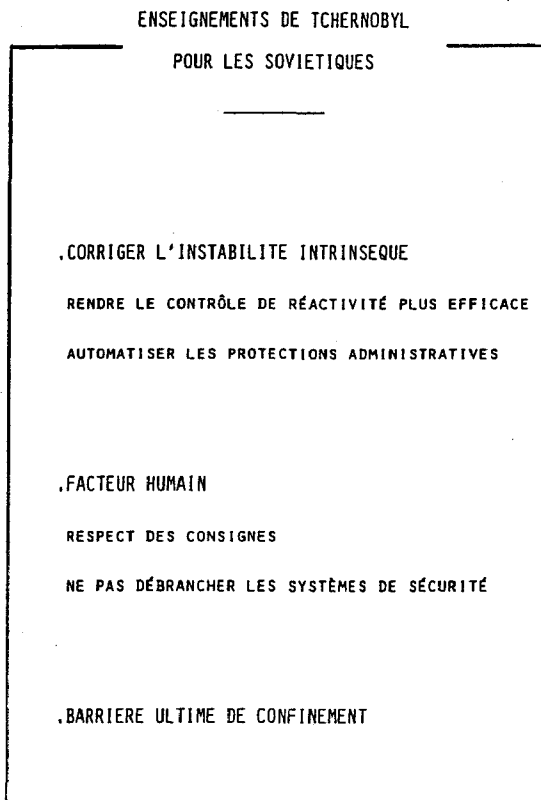
et en noir, ce sont les structures après cette explosion vapeur, qui a eu pour conséquence de mettre le coeur pratiquement en contact avec l'atmosphère.



La figure 11 donne une évolution des rejets radioactifs, exprimés en millions de curies. Ce sont des quantités considérables. Les rejets ont duré pendant 8 jours. Le premier jour, c'était donc l'explosion, avec des éléments qui ont été propulsés dans l'environnement, un incendie et une grande bouffée de produits radioactifs. Ensuite, le graphite a pris feu parce qu'il y a eu simultanément vraisemblablement formation d'hydrogène et une explosion d'hydrogène a servi d'allumette pour brûler le graphite. Le graphite a continué à brûler pendant 10 jours. Au début, les Soviétiques ont réussi à réduire les rejets en déposant sur les structures par hélicoptère des produits du genre argile : ils ont déposé 5.000 tonnes de matériaux qui ont effectivement un peu étouffé la fuite de la réactivité, mais ils ont été obligés d'arrêter parce qu'à ce moment-là, ils craignaient que

les structures ne s'effondrent. Ils craignaient, c'est ce qu'on appelle "le syndrome chinois", que le coeur en fusion ne traverse le béton et se retrouve dans le sol, avec pollution de la nappe phréatique, ce qui était particulièrement inquiétant dans le cas de Tchernobyl à cause de la proximité du grand lac qui alimente l'Ukraine et la ville de Kiev. A la fin, comment ont-ils résolu le problème ? En refroidissant le coeur en injectant de l'azote liquide qu'ils ont envoyé par un tunnel qu'ils ont creusé sous le réacteur. Et ils ont donc étanché les fuites de radioactivité vers le 6 mai, le dixième jour. Ensuite les fuites de radioactivité sont restées faibles pendant plusieurs mois, et c'est seulement à la fin du mois d'octobre qu'ils ont construit autour de l'installation accidentée une structure en béton-acier qu'ils appellent le sarcophage, et c'est cette structure qui a contenu toute la radioactivité. Actuellement il n'y a donc plus de fuites radioactives significatives d'après ce que nous ont dit les Soviétiques, confirmés par une mission de l'Agence Internationale de Vienne qui a été à Tchernobyl au mois de janvier.

Les enseignements tirés par les soviétiques



La figure 12 résume les enseignements qu'ont tiré les Soviétiques eux-mêmes de cette catastrophe. Une première partie porte sur le réacteur type RBMK. Le système qu'ils ont utilisé est un système qui présentait, du point de vue de la sûreté, un certain nombre de défauts, défauts qui étaient bien connus à Moscou et qui, visiblement, étaient moins bien connus à Tchernobyl par les exploitants. Le premier point, c'est de corriger l'instabilité intrinsèque et les Soviétiques savaient comment faire pour la minimiser et même pour la corriger entièrement.

Ils ont modifié toutes les centrales du même type pour apporter déjà des remèdes dans ce sens là et ils ont à plus long terme des modifications qui iront plus loin et permettront d'éliminer totalement cette instabilité. Le deuxième point, il y a un système de contrôle qui était inefficace et qu'ils rendent plus efficace. Enfin dernier point : il n'y avait pas dans cette centrale comme il y a généralement dans une centrale occidentale, un système automatique qui en cas de contrôle insuffisant se serait arrêté. Ils avaient ce qu'on appelle une consigne administrative. On donnait aux opérateurs la consigne : "si vous êtes dans cette situation, vous arrêtez la réaction". Les Soviétiques transforment cette consigne en un automatisme qui agira donc indépendamment des opérateurs.

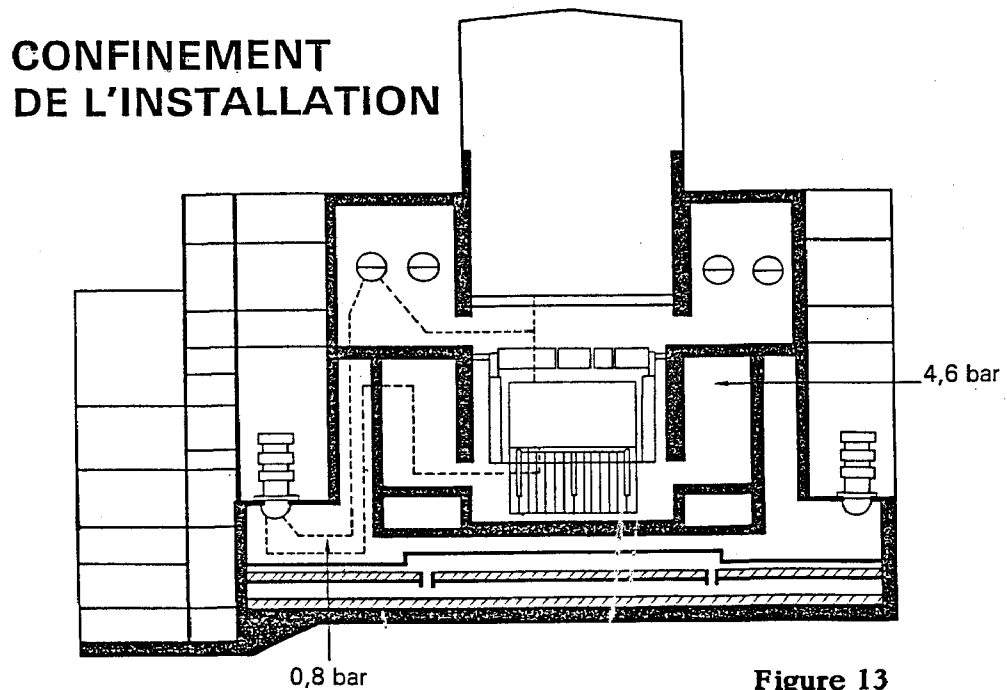
Un autre point dont on a beaucoup parlé au mois de mai, c'est le facteur humain. Malgré tous ces défauts du RBNK, les centrales soviétiques de ce type fonctionnaient parfaitement bien depuis un grand nombre d'années et elles auraient pu continuer à bien fonctionner. Il aurait suffi que les exploitants exploitent correctement. La première cause de Tchernobyl c'est bien ce qu'a dit M. Gorbatchev, et qui au début a un peu surpris, c'est l'exploitant. On a vu les exploitants faire des choses étonnantes : ne pas avoir conscience qu'ils étaient à régime interdit, délibérément débrancher des systèmes de sécurité, violer finalement une consigne fondamentale qui était celle du contrôle minimum nécessaire. Alors on a demandé aux ingénieurs soviétiques pourquoi les exploitants avaient agi comme cela. Et les ingénieurs soviétiques, lorsqu'ils sont venus analyser l'accident, nous ont expliqué qu'ils avaient été eux-mêmes ahuris quand ils ont découvert ce qui s'était passé réellement. L'interprétation qu'ont donnée les Soviétiques, c'est la "routine". Cette centrale marchait très bien, les opérateurs avaient d'ailleurs reçu une distinction spéciale quelques mois avant l'accident, en février, parce qu'elle avait la meilleure disponibilité de toutes les centrales soviétiques. Et ça a donné confiance aux opérateurs : ils avaient confiance dans leurs machines, ils avaient confiance en eux-mêmes et ils pensaient tout simplement qu'un accident comme ça ne pourrait pas arriver. La routine a certainement joué un rôle. Cela a paru un peu insuffisant aux experts occidentaux pour expliquer une telle succession. On pense qu'il y a au moins deux facteurs qui ont joué :

le premier, c'est ce qu'on a appelé l'absence d'une culture de sûreté et que j'appelle respect des consignes. Quand j'essaye d'expliquer ce qu'on entend par "culture de sûreté", je donne l'exemple de l'aviation civile de transport. Ça vous est tous arrivé de monter dans un avion civil de transport. On ferme les portes, on commence à rouler, on vous fait la démonstration du gilet de sauvetage. Vous roulez, vous vous arrêtez, ça dure longtemps, vous vous inquiétez et ça ne rate pas : vous entendez le commandant dire "nous sommes désolés, nous allons être obligés de rentrer au parking, il y a sur le tableau de bord une lampe qui est restée allumée alors qu'elle devrait être éteinte". Effectivement, il revient au parking et généralement, une demi-heure après, il vous dit "bonne nouvelle tout marchait bien, c'était simplement un faux contact dans la lampe, nous repartons". La culture de sûreté, c'est justement que le commandant est revenu au parking, alors qu'il aurait pu avoir un raisonnement totalement différent. Il est seul maître à bord. Il pourrait se dire : "cette lampe-là, je sais ce que c'est, ça m'est arrivé déjà cent fois et chaque fois c'est un faux contact". Il pourrait se dire également "je connais très bien le système qu'il y a derrière cette lampe, c'est un système de sécurité dont je n'aurai absolument pas besoin sur le vol que je fais, donc je prends ça sur moi". Troisièmement, il pourrait se dire : "les dirigeants de la Compagnie ne vont pas être contents, les passagers vont être furieux, moi-même j'ai un rendez-vous, ça va me gêner, donc après tout j'y vais". La culture de sûreté, c'est qu'il ne se dit pas tout ça. Il se rend compte qu'il n'a pas les éléments pour juger de l'importance d'une telle consigne et il rentre au parking.

Ce qui a manqué incontestablement à Tchernobyl, c'est cette culture de sûreté. Il ne faut pas raisonner, il y a des consignes, on doit les appliquer. Elles ont été établies pour couvrir infiniment plus de cas de figures que l'exploitant n'en verra jamais pendant toute sa carrière et il faut les respecter.

Les failles de la formation

Le deuxième point est incontestablement une question de formation. On n'a pas eu beaucoup de renseignements de la part des Soviétiques sur la formation de leurs opérateurs, mais on avait l'impression qu'ils manquaient des bases théoriques qui leur auraient permis de comprendre au moins deux phénomènes qui ont joué, qui sont des phénomènes physiques assez complexes, mais que devraient connaître des opérateurs : l'un, c'est le fameux empoisonnement dont je vous ai parlé, et l'autre c'est l'instabilité. Ensuite, on n'a pas eu l'impression que leur formation les préparait à faire face à des situations accidentelles. Ils étaient formés pour exploiter une centrale, visiblement bien formés puisqu'ils l'exploitaient bien, mais ils n'étaient pas formés pour réagir à des situations inattendues. Il y a un dernier enseignement qui n'apparaît pas sur la figure mais dont il faut que je vous parle, c'est le confinement qui a fait l'objet d'une discussion assez confuse au début puis totalement clarifiée dès la fin du mois d'août. Lorsque je vous ai montré le schéma éventré, on voit que le coeur est en plein air. La figure 13 reprend le même schéma sous un autre angle. L'accident s'est produit dans

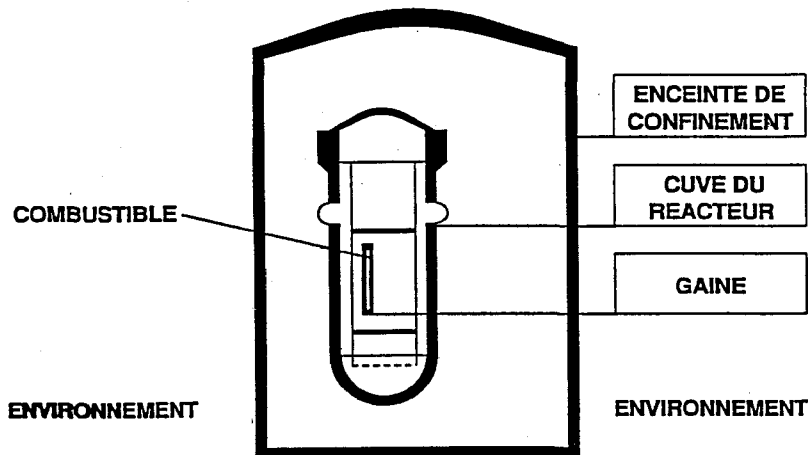


la partie centrale. Et vous avez des structures épaisses qui enserreraient deux zones : c'était ce que les Soviétiques appelaient la "localisation des accidents" que nous nous appellerions en fait les zones de "confinement des accidents". S'ils avaient eu des ruptures de tuyauterie dans ces zones, tout aurait été contenu. S'il y avait eu de la radioactivité, elle serait restée contenue dans ces casemates en béton. Mais malheureusement, l'accident qu'ils ont eu et qui a été une surchauffe dans le coeur est arrivé dans la zone centrale où ils avaient simplement une "boîte" qui permettait de rester en atmosphère inerte mais qui n'était absolument pas résistante à une surpression. La question qui n'a toujours pas été réglée avec les Soviétiques c'est de savoir s'il aurait été possible de faire une boîte résistante. C'est un problème dont il faut discuter au plan international. Dans la réalité, il n'y avait pas de confinement autour du coeur du réacteur soviétique, et d'ailleurs les Soviétiques nous ont bien dit : "nous avons étudié ce type d'accident et nous avons pris suffisamment de mesures pour qu'il ne puisse pas se produire". Donc on avait jugé inutile de faire un confinement.



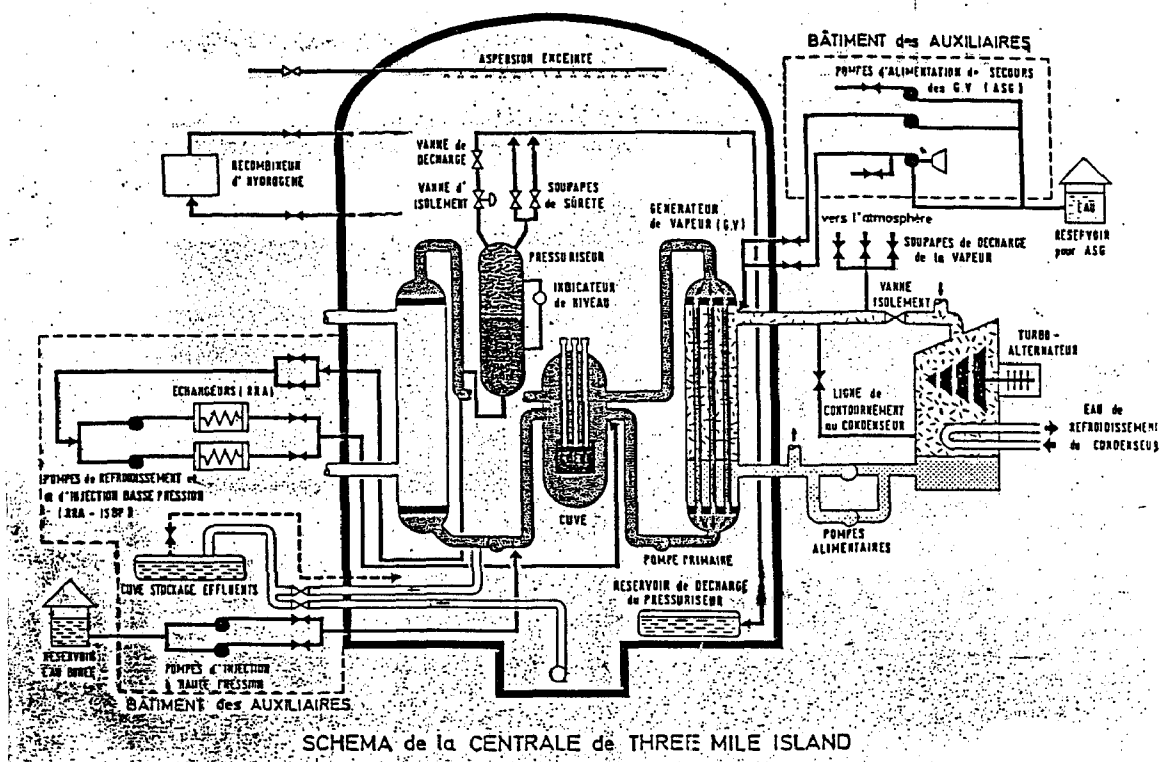
CONFINER AVEC ENCEINTE

LES 3 BARRIERES D'UN REACTEUR REP

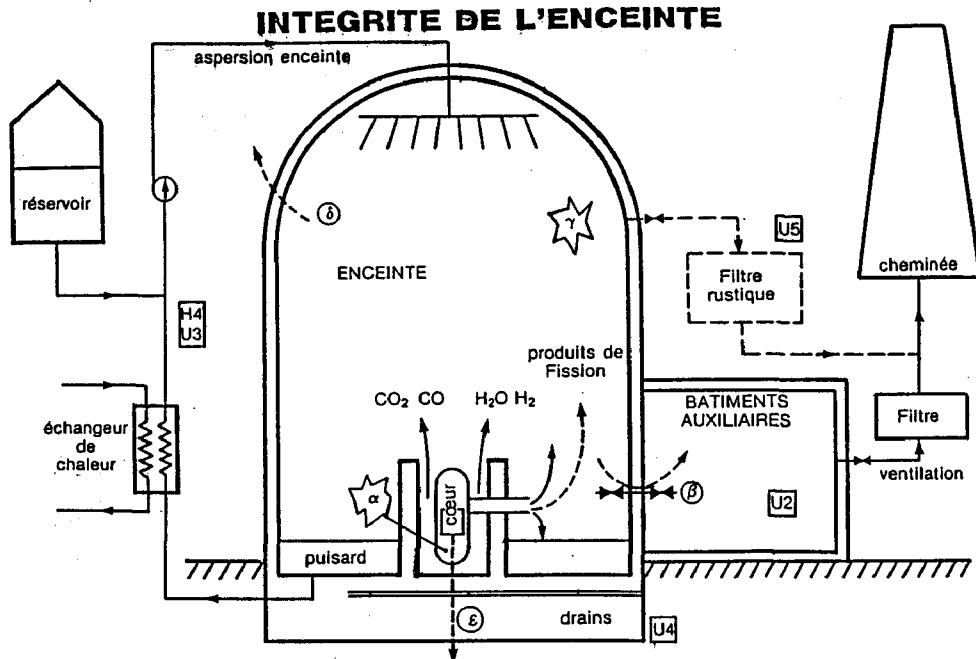


Par opposition, la figure 14 présente un schéma que nous avons fait spécialement pour montrer ce que c'est que le confinement d'un réacteur à eau sous pression. En fait c'est un schéma très sim-

pliste mais ce qu'il faut retenir, c'est que pour le procédé proprement dit, nous avons besoin du combustible et nous avons besoin de l'enveloppe du flux de refroidissement, parce qu'il faut bien produire de l'électricité. Mais on a rajouté autour de cette enveloppe ce que l'on appelle l'enceinte de confinement et qui est là uniquement pour la sécurité. Et c'est une enceinte qui a fait l'objet d'une assez longue discussion aux Etats-Unis dans le début des années 50 et finalement les Américains ont décidé de l'installer en 1953; elle a été ensuite reprise par tous les pays occidentaux dans les réacteurs sous pression:

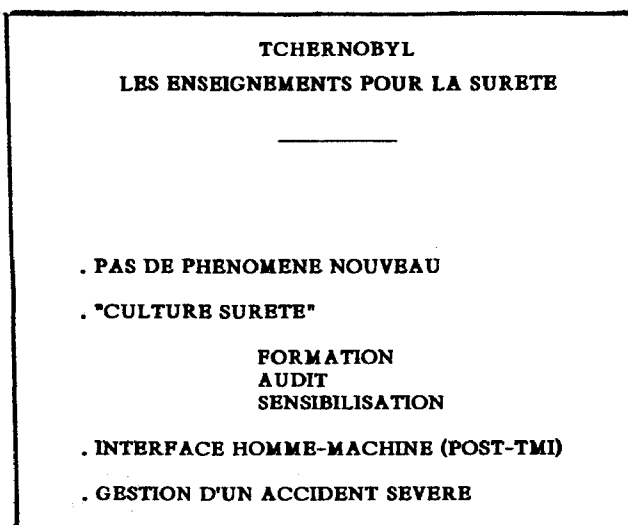


La figure 15 montre que dans la réalité la situation est bien sûr beaucoup plus complexe. C'est le schéma du réacteur de Three Mile Island dont je vous parlais. L'enceinte de confinement existe toujours mais elle est en fait percée de partout, il y a des tuyaux qui sortent et lorsque l'on étudie la résistance de l'enceinte, il faut bien sûr prendre en compte tous ces points faibles et notamment ces traversées.



La figure 16 représente un schéma extrêmement simpliste d'une centrale E.D.F. Pour garantir la tenue de cette enceinte de confinement même dans des situations extrêmes où elle risquerait d'être mise en surpression, il a été décidé (et l'implantation a été ensuite accélérée à la suite de Tchernobyl) d'installer un système de filtration rustique, qui permet de dégonfler les enceintes. Ces filtres retiennent les produits les plus dangereux.

Les enseignements pour E.D.F.



La figure 17 résume les enseignements pour E.D.F. Il est certain qu'une catastrophe de cette ampleur interpelle tous les exploitants nucléaires, même si ils exploitent une centrale de type différent et qu'il y a des enseignements à en tirer.

Le premier point : il n'y a pas eu de phénomène nouveau qui soit apparu à Tchernobyl. C'était quelque chose dont on n'était pas tellement sûr à la fin du mois d'avril. Quand on a bien appris ce qui s'est passé, on a pris conscience que le type d'accident qui est arrivé en Union Soviétique est un accident qui avait été déjà observé dans les années 50 et 60 sur trois petits réacteurs (un réacteur canadien et deux réacteurs américains) et qui avait fait l'objet d'un nombre considérable d'études dans le monde entier. Je me souviens que j'étais au Commissariat de l'Energie Atomique à la fin des années 50, et on avait décidé la construction d'un petit réacteur qu'on avait appelé CABRI, où on faisait justement des sauts de puissance pour étudier la sûreté des réacteurs de recherches lorsqu'il y avait de tels accidents, que l'on appelle accidents de réactivité. Ce qu'il y a de surprenant, c'est en 1986 il puisse arriver dans une centrale industrielle un accident avec des phénomènes qui sont connus depuis plus de 20 ans sinon 30 ans, et qui sont considérés par tout le monde comme parfaitement maîtrisés. Le premier enseignement à retirer de Tchernobyl, valable pour tout le monde : est-ce que nous sommes bien sûrs que, compte tenu du fait que les gens ont changé, que les installations sont anciennes, que l'expérience prouve malheureusement qu'on oublie les enseignements du passé, on ne va pas voir ressurgir dans une centrale un accident qu'on considérait comme définitivement réglé simplement parce que les exploitants avaient oublié, ou parce que l'analyse n'était pas complète.

L'importance de revoir en permanence l'analyse de sûreté d'une centrale, pour vérifier que ce qui avait été fait n'a pas été oublié est donc le premier enseignement. C'est d'ailleurs ce que nous sommes en train de faire actuellement pour nos plus vieilles installations, notamment les réacteurs graphite-gaz. On n'attend pas de cette révision des révélations, mais ça doit être fait.

La culture de sûreté

Le deuxième point qui est totalement général, c'est la culture de sûreté. On peut penser ce que l'on veut du système sovié-

tique, de la manière dont les industries soviétiques sont exploitées, on a quand même l'impression que les conditions d'exploitation ne sont pas tout à fait celles auxquelles on est habitué en Occident. Ceci dit, personne ne peut dire raisonnablement que l'homo soviéticus peut se tromper et que le français ou l'allemand ne se trompera pas. Tous les hommes sont faillibles. Comme l'homme est indispensable dans le fonctionnement d'une centrale nucléaire, il est absolument indispensable qu'il ne soit pas, comme ça a été dit, le maillon faible de la sûreté. Et donc il faut vérifier qu'il y a bien dans nos centrales cette culture de sûreté dont je vous ai parlé précédemment. Ce n'est pas en soi quelque chose de nouveau, en ce sens que l'accident à Three Mile Island avait montré qu'il était dû, lui aussi, à une erreur d'opérateur, mais c'est quelque chose qui n'est jamais acquis définitivement. En effet, lorsque vous essayez d'inculquer cette culture de sûreté à un opérateur, même s'il vous écoute avec gentillesse et s'il fait semblant d'être convaincu, vous vous heurtez à la conviction profonde qu'il retire d'un contact physique avec une installation de tous les jours. Il sait que cette installation est bonne, il la connaît mieux que vous, et il faut lui faire comprendre que la connaissance qu'il en a n'est qu'une partie infime de la connaissance qui serait nécessaire pour pouvoir être certain de la sûreté en toutes circonstances.

Je ne sais pas quelles seront les causes qui seront trouvées par l'enquête pour le naufrage du Ferry Boat de Zeebrugge, mais il ne serait pas étonnant que les marins vous disent qu'ils avaient l'habitude de fonctionner 10, 100 fois avec des conditions un peu anormales, mais comme ils avaient observé que les 10, 100 fois il ne s'était rien passé, ils avaient fini par être convaincus qu'on pouvait très bien fonctionner comme ça. Il y a des quantités d'exemples de catastrophes qui viennent de là.

Donc, la culture de sûreté n'est jamais acquise et ne pourra jamais l'être. Elle s'acquiert et se maintient par la formation. Heureusement, on ne peut pas créer des accidents dans les centrales uniquement pour que les opérateurs en aient l'expérience concrète. Il faut donc faire une formation avec des simulateurs. Ça marche très

bien dans le transport aérien, ça marche très bien dans les centrales nucléaires à condition qu'on simule bien les accidents. Deuxièmement, il faut faire confiance, mais seulement jusqu'à une certaine limite. Il faut donc inspecter. Il faut vérifier. Et troisièmement il faut sensibiliser. Il faut rompre ce hiatus entre la conviction des exploitants qu'on ennuie avec des études théoriques d'accident et la réalité de ces accidents. La méthode, c'est notamment d'étudier avec eux les incidents qui se sont produits, d'essayer de comprendre comment ces incidents auraient pu dégénérer dans des catastrophes, et leur faire ainsi toucher très concrètement du doigt les problèmes de sûreté.

L'interface homme-machine est quelque chose d'important. Je déteste quand on dit que l'homme est le maillon faible de la sûreté parce que l'homme, en fait, est plus efficace que le meilleur de nos ordinateurs à l'heure actuelle. Il a une capacité de raisonnement, de compréhension et d'action qui est très supérieure à nos meilleurs systèmes experts actuellement. Encore faut-il que la machine ne l'induisse pas en erreur et lui présente les informations dont il a besoin et sous la forme dont il en a besoin. Je vous ai dit que les Soviétiques avaient sorti d'un listing d'ordinateur un chiffre qui montrait que la centrale de Tchernobyl n'était pas correctement "contrôlée". J'imagine que chez eux c'était comme chez nous, c'est-à-dire qu'il y avait 300 pages de papier. Il fallait tourner ces pages, aller chercher parmi une colonne le chiffre et dire "c'est vrai, il n'y a pas assez de barres de contrôle". Ce n'est pas sérieux. Il aurait du y avoir un cadran bien placé et qui en permanence affichait, et l'informatique le fait très bien, le niveau de contrôle. Il s'exprimait en "barres de contrôle". Ils n'auraient jamais du descendre en-dessous de 30. Il fallait l'autorisation de M. GORBATCHEV - qui l'aurait refusée - pour descendre en-dessous de 15. Or ils sont descendus à 6. S'ils avaient eu un écran qui leur indiquait qu'ils étaient à 30 puis qu'ils descendaient à 25 puis à 20, 15, ils auraient réagi. Mais un listing d'ordinateur ne vous donne pas la même information.

La gestion d'un accident

Dernier point, la gestion d'un accident. C'est probablement là où nous avons le plus à retirer des Soviétiques. Nous pensons qu'un accident comme Tchernobyl n'arrivera pas chez nous. Nous ne pouvons pas exclure qu'un accident arrive. Si on ne l'exclue pas, il faut donc prendre au sérieux la gestion de l'accident, et notamment les mesures à prendre. Les Soviétiques ont eu une "expérience sans précédent". Ils ont eu la plus grande catastrophe que l'on puisse avoir sur une installation nucléaire civile. S'ils sont très critiques sur la manière dont cette catastrophe est arrivée, ils sont par contre assez exemplaires sur la manière dont ils ont géré l'accident après qu'il se soit produit. Il y a beaucoup à apprendre d'eux, aussi bien sur ce qu'ils ont fait du point de vue médical que sur le plan technique, la décontamination du site notamment. Il faut bien voir que les Soviétiques, avec le niveau de radiation qu'ils ont eu sur le site, ont quand même réussi à redémarrer, dans des conditions qui semblent satisfaisantes pour la santé des travailleurs, les deux premières unités 1 et 2 au mois d'octobre et au mois de novembre, ce qui, quelle que soit la manière dont elles sont exploitées, représente une performance sur le plan technique. Il est certain aussi qu'ils vont acquérir sur le devenir des radioéléments dans l'environnement une expérience qui est extrêmement précieuse pour toute la communauté scientifique, et donc qu'il y a beaucoup à apprendre de ce côté-là.

Conclusion

Quelles seront les conséquences pour les programmes nucléaires d'E.D.F. ? Il y a deux choses : il y a le plan technique, et je crois vous avoir montré qu'il y a suffisamment de différences entre nos installations et les installations soviétiques pour que notre analyse de sûreté ne soit pas remise en question, même si Tchernobyl nous interpelle et nous force à prendre conscience de certaines insuffisances et éventuellement à les corriger. Mais il est certain que la conséquence majeure, c'est l'impact sur l'opinion publique. Nous avons constaté à E.D.F. que nous étions beaucoup plus engagés que nous ne le pensions dans le schéma de communication, et qu'il

fallait que nous révisions nos conceptions de communication avec nos propres agents et avec le public. De toute manière, il y a eu une perte de crédibilité du nucléaire en France et en Europe à la suite de Tchernobyl. Donc la poursuite des programmes nucléaires ne peut s'envisager que si on regagne cette crédibilité. C'est à ça que nous nous employons en expliquant aussi franchement et directement ce que nous faisons, notamment au niveau local, parce que nous pensons que c'est à ce niveau là d'abord que le problème se pose avec les gens les plus concernés. La figure 4 le représente bien. Ce sont les habitants qui habitent au voisinage de nos centrales qui sont le plus exposés et qui ont tout à fait le droit de savoir ce qu'ils risquent et de savoir quelles seraient les mesures qui seraient prises si il se passait un accident dans la centrale.

Pierre TANGUY
Inspecteur Général EDF pour la sûreté
et la sécurité nucléaire