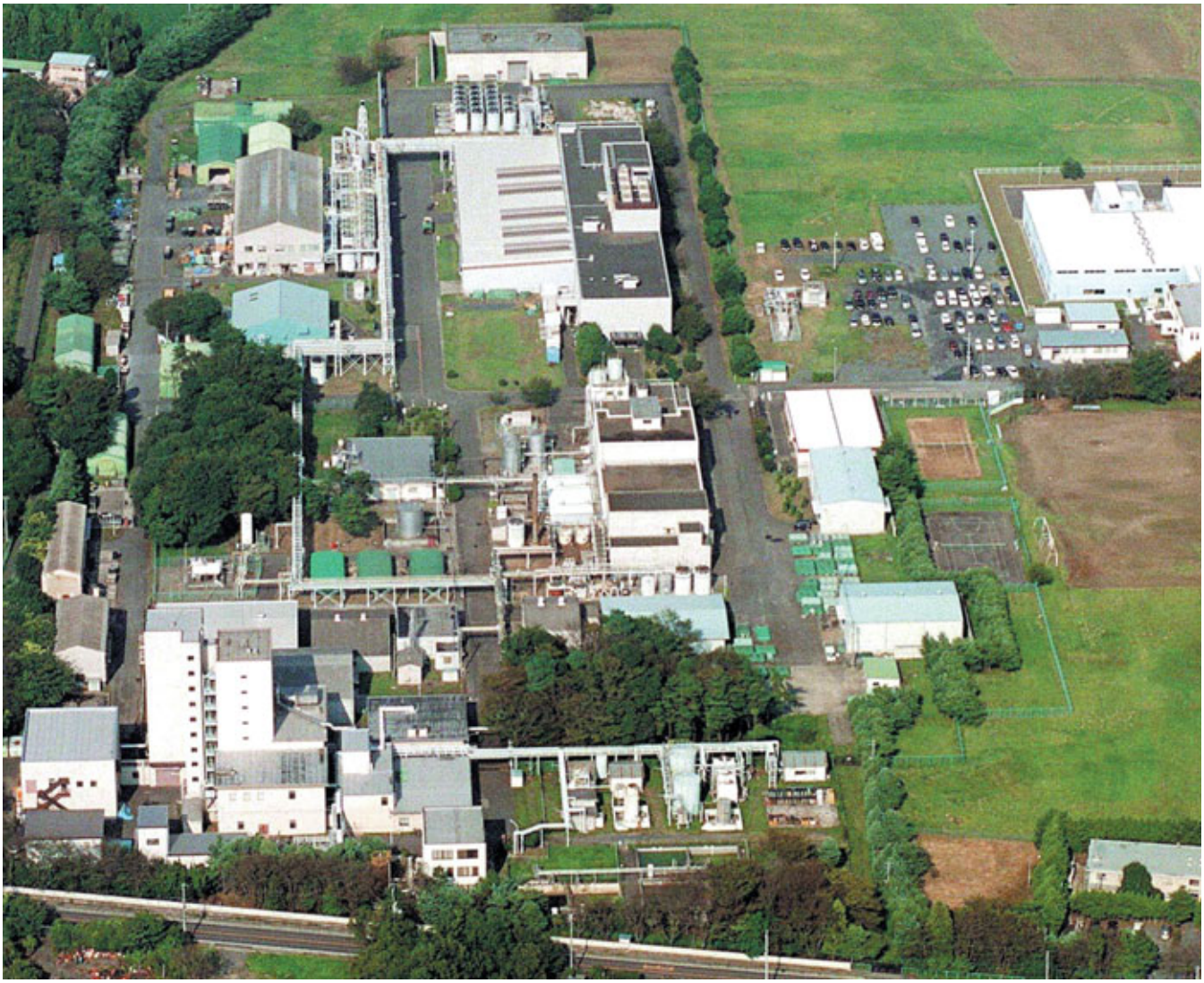
L'ACCIDENT DE CRITICITÉ DE TOKAÏ MURA

Un accident grave de criticité s'est produit le 30 septembre 1999 au Japon dans un atelier de l'usine de fabrication de combustibles nucléaires de Japan Nuclear Fuels Conversion Company (JCO) à Tokaï Mura. Sa reconstitution a permis d'en caractériser les diverses phases et mis en évidence le rôle du facteur humain dans sa genèse.



SIPA

Le site de Japan Nuclear Fuels Conversion Company (JCO) à Tokaï Mura où s'est produit l'accident de criticité du 30 septembre 1999.

L'accident survenu le 30 septembre 1999 dans l'usine de Japan Nuclear Fuels Conversion Company (JCO), implantée à 15 km du site de Tokaï Mura (150 km au Nord-Est de Tokyo), a été classé au niveau 4 de l'échelle de gravité des événements nucléaires *INES (International Nuclear Events Scale)*, qui en comporte sept[1].

(1) Les niveaux de cette échelle de référence établie par l'AIEA (Agence Internationale de l'énergie atomique), sont classés de 1 à 7 (une anomalie de niveau 0 n'ayant "aucune importance du point de vue de la sûreté"), le niveau 7 correspondant à un accident majeur (Tchernobyl). Le niveau 4 correspond à "un accident n'entraînant pas de risque important hors du site".

Le processus ayant conduit à l'accident

L'accident s'est produit au cours d'opérations de dissolution de poudre d'uranium enrichi à 18,8 % en **isotope** 235 dans de l'acide nitrique pour obtenir du nitrate d'uranyle. Le procédé autorisé par l'Autorité de sûreté japonaise consistait à dissoudre la poudre d'uranium dans un équipement "de géométrie sûre", c'est-à-dire un équipement dont les dimensions sont telles que tout accident de criticité est exclu quelle que soit la masse d'uranium introduite (figure 1A). Le volume de cet équipement, trop faible, ne permettait pas l'obtention d'une quantité importante de nitrate d'uranyle. Plusieurs dissolutions consécutives étaient alors nécessaires, entraînant des lots de concentration en uranium inhomogènes. Trois évolutions des procédures autorisées ont alors été décidées au cours des dernières années par l'exploitant sans en référer à l'Autorité de sûreté. La première remonte à 1993. Elle a consisté d'une part à effectuer les dissolutions d'uranium purifié par charge de 2,4 kg dans des seaux en lieu et place du dissolveur et d'autre part d'entreposer les solutions obtenues dans des colonnes de géométrie sûre où elles pouvaient être homogénéisées par barbotage à l'azote. La seconde remonte à 1996 et a consisté à généraliser la dissolution en seaux à celle de l'uranium impur. Ces deux modifications avaient été approuvées par le groupe sûreté de l'exploitant et répertoriées dans le manuel d'assurance-qualité. La troisième a conduit à l'accident de criticité du 30 septembre 1999. Elle a consisté à remplacer les colonnes de géométrie sûre par la cuve de précipitation de diamètre plus grand et munie d'un agitateur mécanique dans le but de faciliter l'opération d'homogénéisation des différents lots de dissolution. Cette dernière cuve n'étant pas de géométrie sûre, l'absence de risque de criticité était garantie par une limite de masse d'uranium de 2,4 kg (figure 1B). Or, les deux opérateurs ont rempli la cuve à l'aide de 7 seaux, chacun d'entre eux contenant 2,4 kg de poudre d'uranium dissous dans de l'acide nitrique. Au cours de la vidange du dernier seau, un opérateur a observé un flash bleu caractéristique d'un accident de criticité (**effet Čerenkov**) : 16,6 kg d'uranium étaient présents dans la cuve (figure 1C).

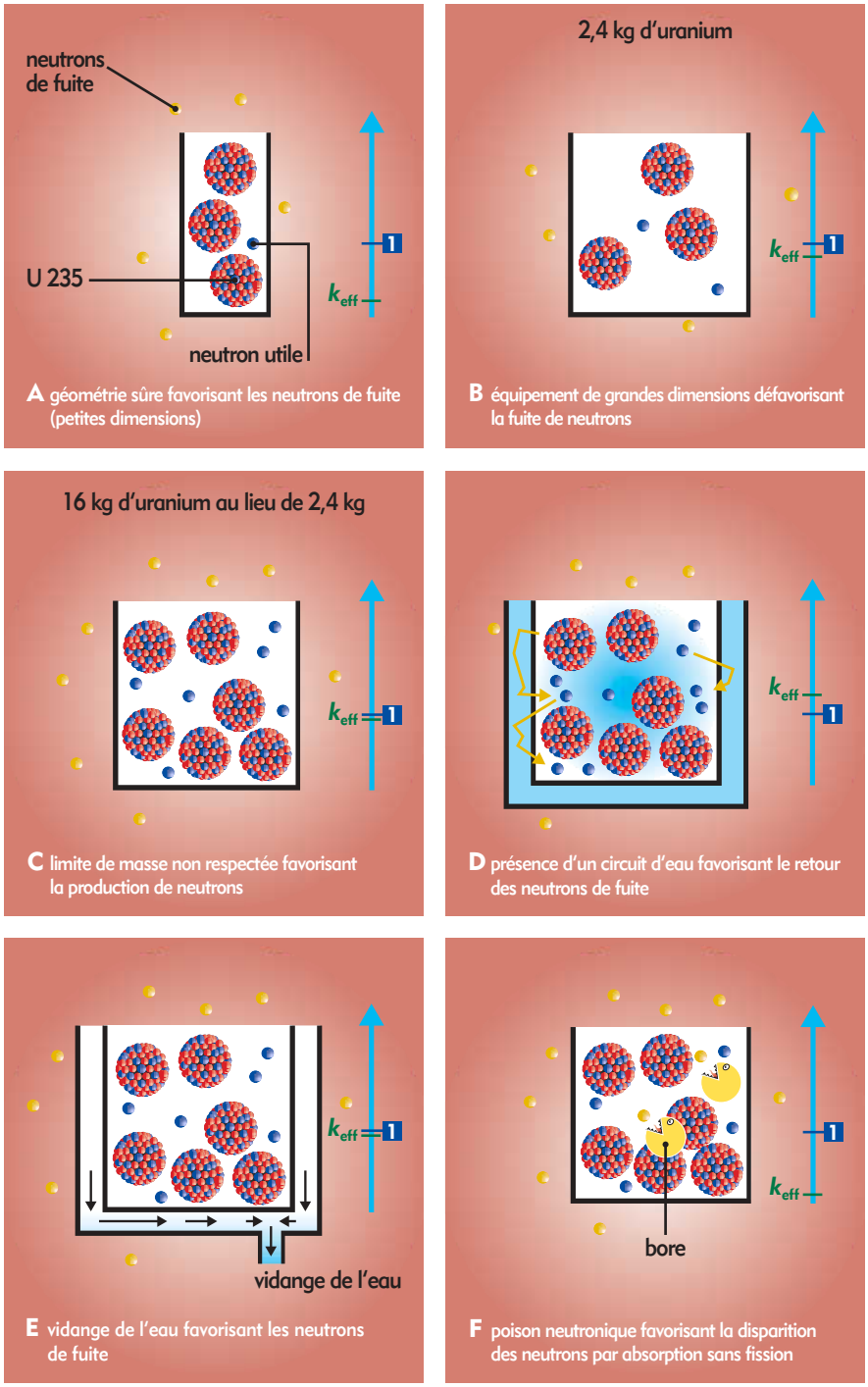


Figure 1. Les différentes configurations du milieu fissile impliqué dans l'accident du 30 septembre 1999. En A, tel qu'il se serait présenté dans un équipement de géométrie sûre à la capacité jugée trop faible ; en B dans l'équipement de grandes dimensions où il serait resté non critique si la masse de matière était restée inférieure à 2,4 kg ; de C à F tel qu'il a effectivement évolué. À droite figure la position du k_{eff} par rapport à 1.

Plusieurs facteurs

Sur le plan technique, trois facteurs ont conduit à l'accident. Le premier a été le remplacement de l'équipement de "géométrie sûre" par un équipement de grandes dimensions, entraînant dans la solution une diminution importante du nombre de **neutrons** pouvant s'échapper de l'équipement et, ainsi, une augmentation de la valeur du **facteur de multiplication effectif k_{eff}** (figure 1B). En second lieu, la limite de masse de 2,4 kg n'a pas été respectée dans l'équipement de grandes

Mijuin/CEA

Maquette à l'échelle 1 du décanteur-précipitateur réalisée pour les enquêtes qui ont suivi l'accident.

dimensions. Son respect aurait permis de faire l'opération sans risque de criticité avec des marges de sécurité importantes. La production de neutrons croissant avec le nombre de noyaux **fissiles** du milieu (et donc la masse de matière fissile), la présence de 16,6 kg d'uranium a augmenté de manière importante la valeur du k_{eff}. Enfin, la présence d'un circuit de refroidissement à l'eau (réflecteur) a ramené vers le milieu fissile des neutrons qui s'en seraient échappés en l'absence d'eau, leur permettant ainsi de participer à la production de neutrons (figure 1D). La présence d'eau autour de la cuve a augmenté la valeur du k_{eff} jusqu'à une valeur supérieure à 1. Ici, encore, le respect de la limite de masse de 2,4 kg aurait permis de faire l'opération sans risque de criticité (voir *Le risque de criticité et sa prévention* et encadré F, ***L'accident de criticité, une question de bilan neutronique***).

L'accident a duré 20 heures, durée caractéristique d'un accident de criticité en solution. En effet, la formation de bulles de gaz de **radiolyse** résultant de l'irradiation des molécules d'eau et de bulles de vapeur due à la chaleur dégagée a entraîné localement une diminution de la densité en matière fissile et donc une diminution du k_{eff}. Le milieu est alors revenu à un état sous-critique, entraînant

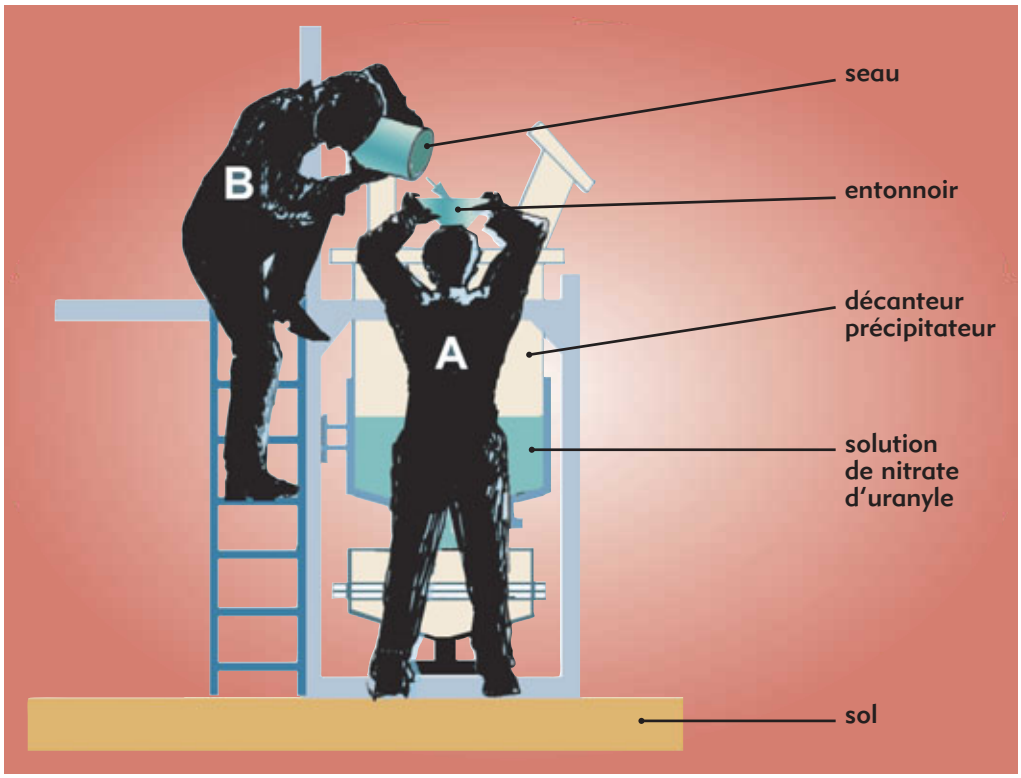


Figure 2. Position des deux opérateurs les plus exposés par rapport au décanteur-précipitateur lors du déclenchement de l'accident de Tokaï Mura.

la disparition des bulles. Mais la **réaction** de fission **en chaîne** a pu alors redémarrer et le milieu redevenir surcritique. Dans le cas particulier de Tokaï Mura, l'alimentation continue en eau du circuit de refroidissement a perturbé les échanges thermiques, empêchant le milieu fissile de redevenir sous-critique sur une période suffisamment longue pour permettre une intervention technique.

L'exploitant a alors tenté de vidanger le circuit de refroidissement. N'y parvenant pas, des équipes sont intervenues pour casser la tuyauterie, arrêtant ainsi l'accident (figure 1E). Sans la présence d'eau autour de la cuve, l'accident n'aurait pas eu lieu pour la masse de 16,6 kg d'uranium, mais pour une quantité plus importante (voir *Le risque de criticité et sa prévention dans les usines, les laboratoires et les transports*).

Ensuite, du bore, poison neutronique qui absorbe les neutrons (voir *Contrôle et pilotage des réacteurs à eau sous pression*) a été introduit dans la cuve, diminuant de manière significative et définitive le k_{eff} (figure 1F). Des équipes sont alors intervenues pour placer des protections biologiques (sacs de sable, entre autres) contre les murs entourant l'équipement concerné afin de diminuer le rayonnement ambiant à proximité de la cuve.

Les conséquences

Au cours de cet accident, 136 personnes sur le site ont été irradiées à des doses très variables, dont trois gravement. Deux employés impliqués dans les opérations et situées à proximité immédiate de la cuve sont décédés, au bout de respectivement trois et sept mois de soins intenses. Le plus atteint (A sur la figure 2) avait reçu une dose de 9,1 Sv, presque deux fois supérieure à la dose létale (dose correspondant à 50 % de décès dans une population irradiée sans traitement médical particulier, soit 5 Sv) et le second (B) une dose de 5 Sv. Le contremaître, situé dans une pièce attenante, à environ 5 mètres de la cuve, a reçu quant à lui une dose de 1,2 Sv et pourrait développer à long terme un cancer. Les 133 autres personnes (pompiers, opérateurs intervenus pour arrêter l'accident de criticité, équipes en relation avec le gouvernement) l'ont été de manière beaucoup moins sévère et certainement, pour la plupart d'entre elles, sans effet directement observable sur leur santé. Elles ont reçu des doses estimées entre 0,1 et 50 mSv. D'après une enquête de l'exploitant, une centaine d'autres personnes du site auraient potentiellement reçu des doses estimées entre 0,06 et 16,6 mSv et environ deux cents personnes du public auraient reçu potentiellement des doses estimées entre 0,01 et 21 mSv. Aux alentours du site, les 160 habitants se trouvant dans un rayon de 350 mètres du bâtiment contenant la cuve ont été évacués tandis que 320 000 autres dans un rayon de 10 km ont reçu, par précaution, la consigne de rester confinés à leur domicile jusqu'à la fin de l'accident. Les mesures réalisées dans l'air, l'eau ou les produits végétaux n'ont révélé la présence d'iode que de manière très ponctuelle et à l'état de traces.

Les enseignements

L'organisation mise en place par JCO et approuvée par l'Autorité de sûreté n'était pas satisfaisante. En particulier, l'organigramme de la société comportait en parallèle un département de production et un département technique où se trouvaient les responsables de la sûreté et de l'assurance de la qualité de production. Le manuel de la société spécifiait qu'en cas de modification des procédures par le département production, l'avis des responsables Sûreté et Assurance qualité n'était que consultatif. Cette consultation, qui était facultative, n'a pas été jugée nécessaire par l'ingénieur de production sollicité par le contremaître avant la mise en œuvre de la modification de la procédure qui a conduit à l'accident. Par ailleurs, les consignes à respecter permettant d'éviter tout accident de criticité n'étaient pas affichées (limites de masse en fonction de l'enrichissement en isotope 235 de l'uranium). Il n'y avait pas d'expert en criticité sur le centre, ni d'inspections régulières de l'Autorité de sûreté.

Les opérateurs n'étaient pas sensibilisés au risque de criticité. Le contremaître et les opérateurs avait un grand nombre d'années d'expérience des opérations mettant en œuvre de l'uranium enrichi à 5 % en isotope 235, pour lequel la limite de masse est de 16 kg d'uranium. Les opérateurs ont ainsi transposé leur expérience pour de l'uranium à 5 % à de l'uranium enrichi à 18,8 % en isotope 235, sans connaître les risques encourus. En effet, à masse équivalente d'uranium, la présence de l'isotope fissile 235 en quantité plus importante (4 fois plus dans ce cas), augmente la valeur du k_{eff} (augmentation du nombre de neutrons produits par la présence d'un nombre plus important d'atomes fissiles provoquant des réactions de fission ; figure 1C).

La gravité de cet accident a conduit l'ensemble des autorités de sûreté et des exploitants de chaque pays mettant en œuvre des installations nucléaires à engager une revue des procédures et des pratiques en vigueur concernant la prévention du risque de criticité.

Dominique Mijuin
Mission de sûreté nucléaire
Direction de la sûreté nucléaire
et de la qualité
CEA/Saclay