FICHE N°23

L'ACCIDENT DE CRITICITÉ DE TOKAÏ-MURA



Ce document, élaboré pour la réalisation d'études de sûreté-criticité, est la propriété du CEA. Il ne se substitue en aucun cas à une analyse de sûreté-criticité ou à l'avis d'un ingénieur criticien et ne peut pas servir de référence directe.

FICHE-GUIDE DE CRITICITÉ N°23

L'ACCIDENT DE CRITICITÉ DE TOKAÏ-MURA

Introduction

⇨ Un accident de criticité s'est produit le **30 septembre 1999** dans un atelier de l'usine de fabrication de combustibles nucléaires de la « Japan Nuclear Fuels Conversion Company » (JCO) implantée à 15 km du site de Tokaï-Mura (150 km au Nord-Est de Tokyo).

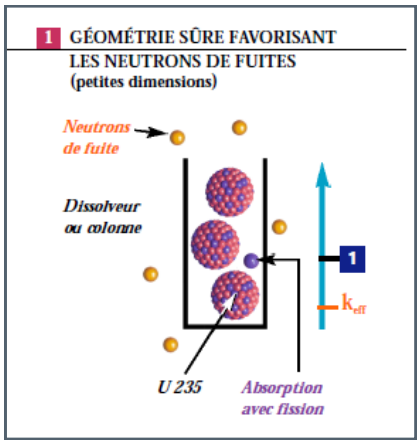
⇨ Cet accident a été classé au **niveau 4 de l'échelle INES** (*International Nuclear Events Scale*) par l'AIEA (Agence Internationale de l'Énergie Atomique), échelle de référence internationale pour évaluer la gravité des événements nucléaires. Elle comporte 8 niveaux, classés de 0 à 7, une anomalie de niveau 0 n'ayant « aucune importance du point de vue de la sûreté », le niveau 7 correspondant à un accident majeur (Tchernobyl, Fukushima).

⇨ L'accident de criticité de Tokaï-Mura a duré environ **20 heures** et a conduit au **décès de 2 opérateurs** ainsi qu'à l'**irradiation de centaines de personnes** (personnel du site, population avoisinante).

Processus ayant conduit à l'accident de criticité de Tokaï-Mura

Remarque préliminaire *: La description du procédé fournie ci-après n'est que partielle : seules les informations utiles à la compréhension des causes de l'accident sont indiquées. Pour plus d'informations, consulter :*

- DSNQ/MSN/FT/2001/07 : *Les accidents de criticité dans les usines et laboratoires* (accident n°22) ;
- *Report on the preliminary fact finding mission following the accident […] in Tokaimura, Japan,* AIEA, 1999.



⇨ L'accident de criticité 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 consistait à dissoudre la poudre d'uranium dans un **dissolveur 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. La solution de nitrate d'uranyle obtenue était alors transférée dans des colonnes de géométrie sûre, où elle était homogénéisée par un barbotage à l'azote. Le volume du dissolveur, trop faible, ne permettait pas l'obtention d'une quantité suffisamment importante de nitrate d'uranyle. Plusieurs dissolutions consécutives étaient alors nécessaires, entraînant des lots de concentration en uranium inhomogènes.

⇨ **Des évolutions de procédures ont été réalisées par l'exploitant au cours des années précédant l'accident, sans en référer à un expert en criticité ou à l'autorité de sûreté :**

- **LA 1ère MODIFICATION REMONTE À 1993 :**
  Elle consistait à **effectuer les dissolutions d'uranium purifié par charges de 2,4 kg d'uranium dans des seaux de 10 L** en lieu et place du dissolveur. Cette modification permettait un gain de temps d'environ 1 h par dissolution. Les solutions obtenues étaient toujours transférées dans les colonnes de géométrie sûre. Cette modification avait été approuvée en interne par le service d'exploitation et le service qualité, mais pas par le service en charge de la sûreté.

- **LA 2ème MODIFICATION (1999) A CONDUIT À L'ACCIDENT DE CRITICITÉ :**
  Elle a consisté à **remplacer les colonnes de géométrie sûre par la cuve de précipitation de diamètre plus grand**, munie d'un agitateur mécanique dans le but de faciliter les opérations d'homogénéisation des différents lots de dissolution. N'étant pas de géométrie sûre, l'absence de risque de criticité était garantie par une **limite maximale de masse d'uranium de 2,4 kg**. Or, **deux opérateurs A et B ont rempli la cuve à l'aide de 7 seaux**, chacun d'entre eux contenant environ 2,4 kg d'uranium sous forme de nitrate d'uranyle. Au cours de la vidange du dernier seau (presque complète), l'opérateur **A** a observé un flash bleu caractéristique d'un **accident de criticité** (effet Cerenkov). **Il y avait 16,6 kg d'uranium dans la cuve**.
  Cette modification n'a visiblement pas été soumise à l'avis des services en charge de l'exploitation, de la qualité et de la sûreté.

Ce document, élaboré pour la réalisation d'études de sûreté-criticité, est la propriété du CEA. Il ne se substitue en aucun cas à une analyse de sûreté-criticité ou à l'avis d'un ingénieur criticien et ne peut pas servir de référence directe.

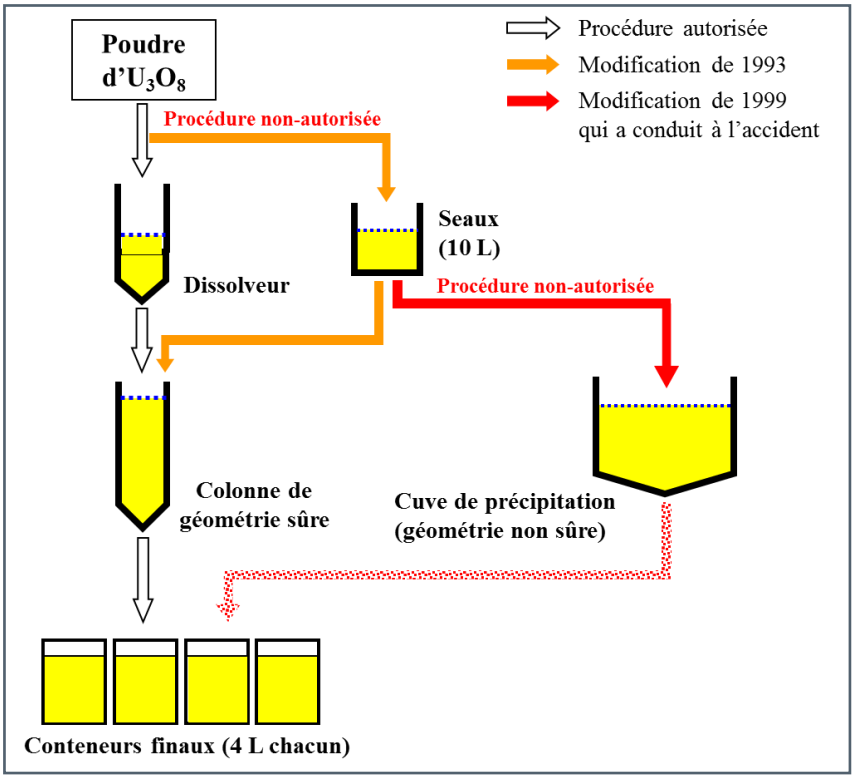


Schéma descriptif du procédé initial et des modifications apportées

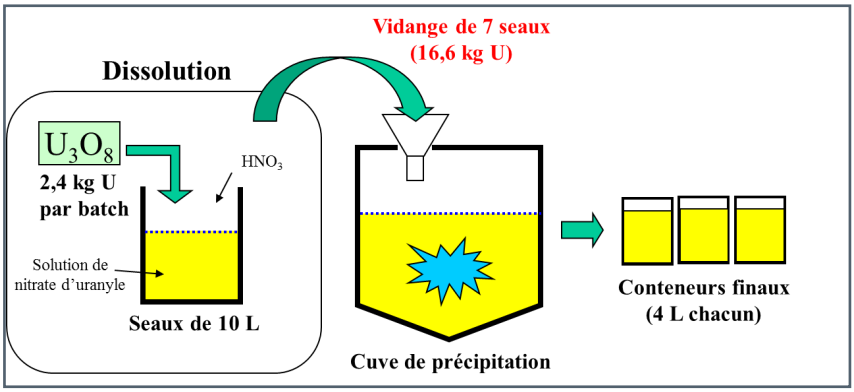
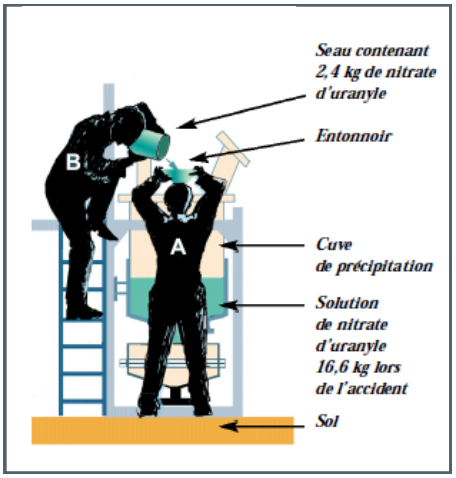
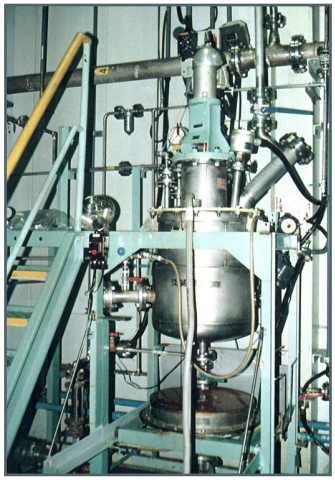


Schéma descriptif de l'étape du procédé ayant conduit à l'accident de criticité



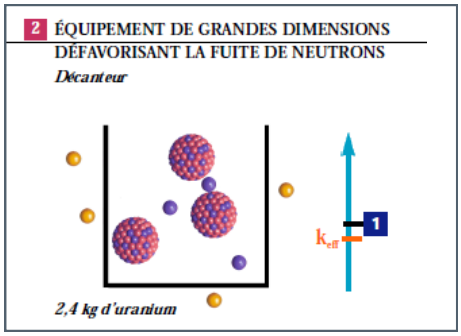
Position des opérateurs **A** et **B** lors de l'accident



La cuve de précipitation, siège de l'accident

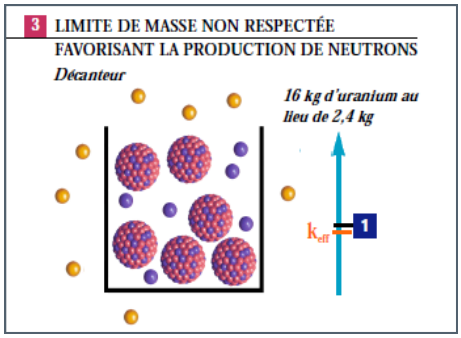
Ce document, élaboré pour la réalisation d'études de sûreté-criticité, est la propriété du CEA. Il ne se substitue en aucun cas à une analyse de sûreté-criticité ou à l'avis d'un ingénieur criticien et ne peut pas servir de référence directe.

2 ÉQUIPEMENT DE GRANDES DIMENSIONS DÉFAVORISANT LA FUITE DE NEUTRONS



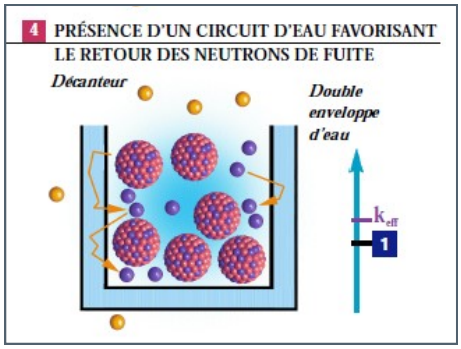
L'équipement de géométrie sûre (colonne) a été remplacé par un équipement de géométrie non sûre (cuve de précipitation), entraînant une diminution importante du nombre de neutrons pouvant s'échapper de la solution et, ainsi, une augmentation de la valeur du k_{eff}. Compte tenu de la géométrie de la cuve de précipitation (grandes dimensions), la prévention du risque de criticité était obtenue par une limitation de la masse à 2,4 kg d'uranium.

3 LIMITE DE MASSE NON RESPECTÉE FAVORISANT LA PRODUCTION DE NEUTRONS



Dans la cuve de précipitation, la limite de masse de 2,4 kg, qui aurait permis de réaliser l'opération sans risque de criticité avec des marges de sécurité importantes, n'a pas été respectée. La production de neutrons croissant avec le nombre de noyaux fissiles du milieu (et donc, avec la masse de matière fissile), la présence de 16,6 kg d'uranium a augmenté de manière importante la valeur du k_{eff}.

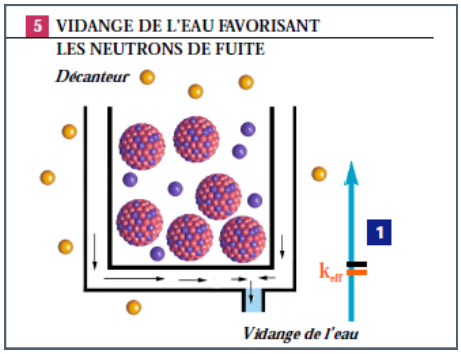
4 PRÉSENCE D'UN CIRCUIT D'EAU FAVORISANT LE RETOUR DES NEUTRONS DE FUITE



La présence d'une double enveloppe alimentée de façon continue en eau (réflecteur) a ramené vers le milieu fissile des neutrons qui s'en seraient échappés en l'absence de cette double enveloppe, leur permettant ainsi de participer à la production de neutrons. La présence d'eau autour de la cuve a augmenté la valeur du k_{eff} à une **valeur supérieure à 1**. Ici encore, le respect de la limite de masse de 2,4 kg aurait permis la réalisation de l'opération sans risque de criticité.

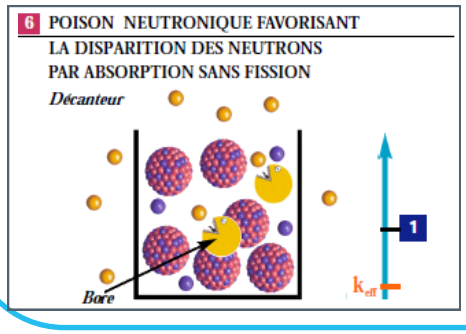
L'accident de criticité de Tokaï-Mura a duré **20 heures**, ce qui est caractéristique d'un accident en solution. En effet, la formation de bulles de gaz de radiolyse (résultant de l'irradiation des molécules d'eau) et de bulles de vapeur (dues à la chaleur dégagée) entraîne localement une diminution de la densité en matière fissile, et donc une diminution du k_{eff}. Le milieu revient alors à un état sous-critique, entraînant la diminution de l'énergie libérée et ainsi, la disparition des bulles. La réaction de fission en chaîne peut alors redémarrer. Dans le cas de Tokaï-Mura, l'alimentation en eau de la double enveloppe a perturbé les échanges thermiques, empêchant le milieu fissile de redevenir définitivement sous-critique pour permettre l'intervention.

5 VIDANGE DE L'EAU FAVORISANT LES NEUTRONS DE FUITE



L'exploitant a alors tenté de vidanger la double enveloppe. Ne parvenant pas à ouvrir la vanne, des équipes sont intervenues pour casser la tuyauterie à l'extérieur du bâtiment. Cependant, toute l'eau n'a pas été vidangée : il a fallu chasser l'eau restante en injectant de l'argon dans la tuyauterie, ce qui a finalement arrêté l'accident. Sans la présence d'eau autour de la cuve, l'accident de criticité de Tokaï-Mura n'aurait pas eu lieu pour la masse de 16,6 kg d'uranium.

6 POISON NEUTRONIQUE FAVORISANT LA DISPARITION DES NEUTRONS PAR ABSORPTION SANS FISSION



Enfin, du bore, poison neutronique absorbant les neutrons, a été introduit dans la cuve à l'aide d'un tuyau en caoutchouc, diminuant de manière définitive le k_{eff} avec une marge suffisante. Des équipes sont alors intervenues pour placer des protections biologiques (sacs de sable entre autres) contre les murs autour de la cuve, afin de diminuer le rayonnement ambiant à proximité de la cuve.

Ce document, élaboré pour la réalisation d'études de sûreté-criticité, est la propriété du CEA. Il ne se substitue en aucun cas à une analyse de sûreté-criticité ou à l'avis d'un ingénieur criticien et ne peut pas servir de référence directe.

Conséquences

SUR LE PERSONNEL :

Au cours de cet accident, **136 personnes du site ont été irradiées** à des doses très variables, **dont 3 gravement**. **Les opérateurs A et B, situés à proximité immédiate de la cuve de précipitation, sont décédés** après plusieurs mois de soins intenses. Le plus atteint avait reçu une dose 4 à 5 fois supérieure à la dose létale 50% (dose correspondant à 50% de décès dans une population irradiée sans traitement médical particulier, soit ~ **4,5 Sv**). Le contremaître, situé dans une pièce attenante à environ 5 m de la cuve, a reçu une dose plus faible et pourrait, quant à lui, développer à long terme un cancer. 133 autres personnes (pompiers, opérateurs intervenus pour arrêter l'accident de criticité...) ont été irradiées de manière beaucoup moins sévère, et probablement pour la plupart d'entre elles sans effet sur leur santé qui soit directement imputable à cette irradiation. Elles ont reçu des doses estimées entre 0,1 et 50 mSv.

SUR LE PUBLIC :

Pour le public, aux alentours du site, les 160 habitants se trouvant dans un rayon de 350 m du bâtiment contenant la cuve de précipitation ont été évacués. 300 000 autres, dans un rayon de 10 km, ont reçu la consigne de rester confinés à leur domicile jusqu'à la fin de l'accident. 7 personnes du public ont reçu des doses comprises entre 6,7 et 16 mSv. Après une enquête de l'exploitant suite à l'accident, prenant en compte des hypothèses très pénalisantes (exposition pendant toute la durée de l'accident sans protection radiologique par exemple), une centaine d'autres personnes du site aurait reçu des doses estimées entre 0,06 et 16,6 mSv et deux centaines de personnes du public des doses estimées entre 0,01 et 21 mSv.

SUR L'ENVIRONNEMENT :

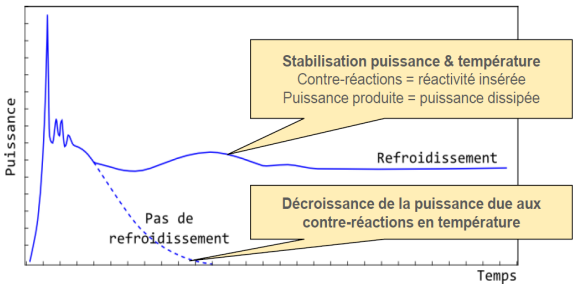
Les mesures réalisées dans l'air, l'eau ou les produits végétaux n'ont révélé la présence d'iode que de manière très ponctuelle et à l'état de traces.

Enseignements

⇨ La hiérarchie de l'installation n'avait pas mis en place de procédures spécifiques. En particulier, **les consignes à respecter permettant d'éviter tout risque de criticité** (limites de masse en fonction de l'enrichissement de l'uranium) **n'étaient pas affichées**. Il n'y avait **pas d'expert en criticité sur le centre, ni d'inspections régulières des autorités de sûreté**. Plusieurs modifications de procédures ont eu lieu au cours du temps après analyse par une cellule de sûreté de l'exploitant, sans demande d'autorisation ni accord des tutelles de sûreté du Japon.

⇨ **Les opérateurs n'étaient pas sensibilisés au risque de criticité**. Le contremaître et les opérateurs avaient une grande expérience des opérations mettant en œuvre de l'U enrichi à 5 %, dont la limite de masse est de 16 kg. Les opérateurs ont ainsi transposé leur expérience à de l'U enrichi à 18,8 %, sans connaître les risques encourus. Or, à masse équivalente d'U, la présence de l'isotope fissile 235 en quantité plus importante (4 fois plus dans ce cas) augmente la valeur du k_{eff} (puisqu'il y a un nombre plus important d'atomes provoquant des réactions de fission).

⇨ La présence d'une double enveloppe de **refroidissement** a permis de maintenir une puissance stable, ce qui a changé le cours des événements post-accident (cf. figure ci-contre).



⇨ La gravité de cet accident a conduit les autorités de sûreté et les exploitants des pays disposant d'installations nucléaires à engager une **revue des procédures et pratiques en vigueur** concernant la sûreté-criticité. En France, l'autorité de sûreté a ainsi demandé aux exploitants de mettre en œuvre un certain nombre d'actions :

- Identifier les situations où la prévention des risques de criticité entraîne de fortes **contraintes d'exploitation**, et examiner si des alternatives moins contraignantes seraient envisageables ;
- Établir, dans le cadre du PUI, une **carte des doses** qui pourraient résulter d'un accident de criticité, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du site, et vérifier la **disponibilité d'appareils de mesure de doses neutrons** ;
- Réexaminer les conditions de **détection d'un accident de criticité**, et préciser les **moyens utilisables pour arrêter un tel accident**.

Ce document, élaboré pour la réalisation d'études de sûreté-criticité, est la propriété du CEA. Il ne se substitue en aucun cas à une analyse de sûreté-criticité ou à l'avis d'un ingénieur criticien et ne peut pas servir de référence directe.