

# La prévention des accidents de criticité

CNAM – Mercredi 4 novembre 2015

**Des phénomènes physiques à la prévention du risque de criticité**, Véronique Rouyer (IRSN) et Emmanuel Gagnier (CEA)

**Les programmes expérimentaux d'étude de criticité et qualification des codes associés**, Patrick Cousinou (IRSN)

**Un exemple typique d'accident de criticité : Tokai-Mura**, Mathieu Duluc (IRSN)

**La vie d'un ingénieur criticien sur le terrain**, Laurent Cholvy (CEA)

**Conclusions ; la philosophie des analyses de criticité ; l'exemple du transport de matières radioactives**, Patrick Cousinou (IRSN).

*La notion de criticité intervient souvent en physique et même dans la vie courante. Ce terme a pris une importance toute particulière quand on a découvert la possibilité d'une réaction en chaîne de fissions : le passage d'une situation où la réaction est impossible à une situation où la réaction peut se développer. La criticité est recherchée pour la production d'énergie (réacteurs, armes), mais évitée dans les autres installations où des matières nucléaires sont manipulées. Le risque d'accident de criticité est toujours soigneusement étudié dans ces installations et de nombreuses expériences ont été menées pour bien le comprendre et qualifier les codes mis en œuvre pour l'évaluer.*

Les études de criticité présentent deux aspects : d'une part l'analyse et la prévention des accidents, d'autre part la connaissance de l'accident de criticité. Le risque industriel a été identifié dès la première réaction en chaîne réalisée par Enrico Fermi en 1942 ; on avait aussi pensé au risque naturel dès 1956, et celui-ci a été confirmé par la découverte du phénomène d'Oklo en 1972.

C'est la même physique qui gouverne la réaction en chaîne dans les réacteurs nucléaires et la multiplication des neutrons et l'éventuel accident dans les autres installations ; les mêmes codes de calcul et les mêmes bibliothèques de données nucléaires sont utilisés. La grande différence entre ces deux cas est que, dans les réacteurs, des mesures neutroniques sont faites continûment et des moyens de commande de la réactivité sont disponibles, alors que, dans les autres cas, rien de tout cela n'est possible compte tenu de la grande diversité des procédés industriels mis en œuvre et des situations rencontrées.

C'est donc par un contrôle des paramètres clefs jouant sur la réactivité que l'on doit agir en leur imposant des limites pour prévenir tout risque d'accident. Les principaux sont la masse, la géométrie,

la concentration, la modération et l'empoisonnement. Dans une certaine mesure, ces paramètres peuvent être découplés : par exemple, il a été établi qu'une solution contenant moins de 0,87 kg d'uranium enrichi à 93,5 % ou moins de 0,51 kg de plutonium 239 ne sera jamais critique dans les conditions de réflexion « classiques ». Dans d'autres contextes, on prévient le risque de criticité par la concentration, le rapport de modération, les fuites (attention aux réflexions des neutrons et aux interactions en unités fissiles !) ou l'empoisonnement par des matériaux non fissiles (H, N,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ , B, Cd, Gd, Hf...).

Dans les analyses du risque de criticité, on trouve toujours les notions de marge par rapport au cas critique (pour tenir compte des incertitudes des calculs), de configuration enveloppe (quand un grand nombre de cas particuliers peuvent se présenter), de sensibilité (pour préciser le cas enveloppe). Des itérations sont souvent nécessaires.

Le critiqueur doit maîtriser un double langage, celui des neutroniciens et celui des exploitants d'installations nucléaires.

Des expériences pour qualifier les études de criticité ont été menées depuis plus de cinquante ans et restent en partie nécessaires. On peut distinguer deux grandes familles : d'une part, les approches sous-critiques et les expériences critiques, d'autre part, les études d'accidents de criticité. Dans les deux cas, il faut souligner l'extrême variété des situations à considérer : matériaux fissiles, formes physico-chimiques, environnement par les matériaux non fissiles.

Les programmes expérimentaux menés en France ont été particulièrement importants. Après Proserpine à Saclay, ils ont été réalisés dans l'installation O10 de Valduc (Côte d'Or), principalement sur l'appareillage B (approches sous-critiques pour les configurations aqueuses), Maracas (machine de rapprochement utilisée pour l'étude des poudres), Crac, puis Silène (divergences simulant des séquences accidentelles).

Depuis l'origine du nucléaire, on déplore soixante accidents de criticité : 22 (9 morts) dans des installations du cycle de combustible et 38 (12 morts) dans des laboratoires ou expériences critiques. Le dernier de ces accidents et l'un des plus graves fut celui de Tokai-Mura (Japon) survenu le 30 septembre 1999 et qui conduisit à deux décès (irradiés à 20 et 10 Gy) et à une grave irradiation (5 Gy) parmi les opérateurs et à 650 personnes ayant subi des doses plus faibles dans l'environnement.

Cet accident (niveau 4 dans l'échelle INES) survint dans l'entreprise JCO (usine de fabrication de combustible pour REB et réacteurs expérimentaux utilisant de l'uranium enrichi à moins de 20 %). Le précipitateur de cette usine ne devait pas contenir plus de 2,4 kg d'uranium à cette dernière teneur. Mais pour accélérer le processus les opérateurs dépassèrent cette limite sans en référer à leurs autorités. Ce jour-là, ils allèrent jusqu'à sept lots de 2,4 kg, soit 16,6 kg ; au septième lot, les alarmes se déclenchèrent et  $0,3 \cdot 10^{18}$  fissions se produisirent dans les premiers instants. La réaction se poursuivit ensuite pendant plusieurs heures, faisant  $2,5 \cdot 10^{18}$  fissions au total, jusqu'à ce qu'on réussisse à vidanger le circuit de l'enveloppe externe de refroidissement du précipitateur qui jouait malheureusement le rôle d'excellent réflecteur et qu'on injecte du bore dans la solution.

Cet accident a révélé à la fois un manque de culture de sûreté et un manque de sensibilisation au risque de criticité pour des opérateurs externes à l'entreprise ayant conduit à un non respect des consignes.

C'est dire l'importance du rôle de l'ingénieur critiqueur d'un centre ou d'une installation nucléaire. Cet ingénieur doit avoir une grande culture pour gérer des problèmes très divers. En ce qui concerne la vie des installations : de conception, d'exploitation et de démantèlement ; en ce qui concerne leurs

activités : de traitements chimiques, de gestion de combustibles neufs ou irradiés, ou de déchets ; en ce qui concerne l'analyse du risque : de matières et de modes de contrôle extrêmement divers. Le critiqueur doit maîtriser de nombreuses disciplines : neutronique, chimie, mesures, mécanique, radioprotection... et les facteurs organisationnels et humains. Ses interlocuteurs sont variés, spécialistes ou non de la criticité. Ses activités sont très diverses : demande et validation de calculs de criticité, dossier pour l'autorité de sûreté, consignes pour le personnel (traduction opérationnelle des règles), avis pour toute modification d'installation, de procédés, de régime de fonctionnement ou de démantèlement, participation aux contrôles des installations, formation et sensibilisation du personnel.

La maîtrise du risque de criticité fait partie de la défense en profondeur. L'analyse de ce risque part du principe de double défaillance : il faut montrer qu'un accident de criticité ne peut pas survenir sans que survienne de deux défaillances indépendantes, assorties chacune d'une faible probabilité. Les marges prises sur le facteur de multiplication tiennent compte des incertitudes de calcul et d'une marge administrative. En France, ces marges ne sont pas chiffrées mais sont établies par avis d'experts.

Le problème des transports, pouvant impliquer plusieurs pays, se particularise par le fait que les règles minimales ont été établies au niveau international (AIEA) ; la France fait en outre une contre-expertise. Chaque colis fait l'objet de deux types de calculs, en l'état normal et en situation accidentelle. Dans ce dernier cas, on se réfère à des épreuves (chute, incendie, immersion...) standardisées.