

**LES RISQUES DE CRITICITE
DANS LES USINES ET LABORATOIRES
NUCLEAIRES**

0.	Le « risque de criticité »	2
1.	Paramètres influençant le bilan neutronique.....	4
1.1.	Bilan neutronique	4
1.2.	Production des neutrons de fission	5
1.3.	Fuite des neutrons	6
1.4.	Absorption des neutrons	7
2.	La prévention des risques de criticité	8
3.	Analyse de la sûreté-criticité	9
4.	Marges de sécurité et critères de dimensionnement	10
5.	Limiter les conséquences d'un accident de criticité.....	11
6.	Réseau de détection et d'alarme de criticité.....	12
7.	EVACUATION	13
8.	Intervention en cas d'accident de criticité.....	14
9.	Conclusion : rigueur, respect des principes et vigilance.....	15

0. LE « RISQUE DE CRITICITE »

Certains éléments, comme l'isotope 235 de l'uranium ou les isotopes 239 et 241 du plutonium, présentent la propriété de pouvoir fissionner, c'est-à-dire de se diviser en deux fragments (appelés produits de fissions). Cette réaction nucléaire peut être « spontanée » ou « induite » par une particule (un neutron) interagissant avec l'élément.

Une réaction de fission entraîne un dégagement d'énergie, la production de rayonnements gamma et l'émission de neutrons (2 à 3 en moyenne) qui, à leur tour, pourront éventuellement induire de nouvelles fissions (cf. figure 1). Les milieux constitués de ces éléments peuvent donc être le siège de réactions de fission en chaîne.

Lorsque chaque fission entraîne en moyenne plus d'une, le nombre de fissions, et donc les rayonnements ionisants, augmentent de manière exponentielle (on parle alors de réaction en chaîne divergente). Si un tel phénomène se produit de manière accidentelle dans une installation nucléaire (usines, laboratoires) ou dans un moyen de transport de matières fissiles, il peut causer une irradiation grave, voire létale, des personnes se trouvant à proximité de l'équipement concerné. On parle alors d'accident de criticité, qui, en outre, entraîne la production de produits de fission, notamment sous forme gazeuse. Ces produits de fission peuvent conduire à un rejet radioactif, en général limité, dans l'environnement.

Aussi, il est impératif de prévenir l'atteinte de conditions pouvant conduire à une réaction de fission en chaîne divergente (ou configuration sur-critique). Ce domaine de la sûreté des installations nucléaires lié à la prévention des risques de criticité est couramment dénommé « sûreté-criticité ».

Les risques de criticité sont considérés dans toutes les étapes du cycle du combustible mettant en œuvre du plutonium, de l'uranium dès lors que l'enrichissement en ²³⁵U dépasse 1% et/ou certains actinides mineurs (curium, américium...): usines d'enrichissement de l'uranium, usines de fabrication de combustibles à base de plutonium et/ou d'uranium, usines de traitement de combustibles irradiés, laboratoires d'étude mettant en œuvre des matières fissiles, installations de traitement d'effluents et de conditionnement de déchets, entreposages et transports de matières fissiles (combustibles, déchets radioactifs...).

Il n'est pas nécessaire de disposer d'une machine complexe ni de quantités importantes de matières fissiles pour amorcer une réaction de fission en chaîne divergente. Environ 0,5 kg de plutonium 239 ou encore 48 kg d'uranium tel que celui utilisé pour fabriquer les combustibles des centrales d'EDF peuvent suffire en présence d'eau, dans une configuration géométrique sphérique. A titre de comparaison, un assemblage combustible EDF renferme plus de 400 kg d'uranium dans une configuration géométrique spécifique adaptée. A contrario, il est possible de manipuler des quantités relativement importantes de matière fissile, à condition de respecter strictement un ensemble de paramètres garantissant que les conditions de la criticité ne seront pas réunies.

L'analyse des risques de criticité a donc pour objectif de définir les dispositions constructives et d'exploitation nécessaires et suffisantes pour prévenir le déclenchement d'une réaction de fission en chaîne divergente en présence de matières fissiles.

De manière schématique, l'analyse des risques de criticité consiste à mettre en lien, d'une part les configurations dans lesquelles peuvent se trouver les matières fissiles compte tenu des actions envisageables lors des opérations, des modifications pouvant être induites par d'éventuelles défaillances (erreur, défaillance d'un composant...) ou par les situations accidentelles (incendie, séisme...), d'autre part les marges entre ces configurations et celles potentiellement critiques. C'est en contrôlant strictement ces actions que la sûreté est assurée.

Ainsi, les risques de criticité sont maîtrisés au moyen de dispositions préventives destinées à maîtriser les configurations dans lesquelles se trouve la matière fissile. Ces dispositions se traduisent en pratique par des contraintes opérationnelles consistant, par exemple, à limiter les quantités de matières manipulées, les dimensions des appareils contenant les matières fissiles et/ou la concentration en matière fissile dans les milieux liquides ou à avoir recours à des matériaux spécifiques appelés poisons neutroniques.

En complément, en fonction des spécificités des installations, des systèmes de détection et d'alarme de criticité peuvent être mis en place de façon à permettre l'évacuation rapide du personnel. Toutefois, ces systèmes ne se déclenchent qu'après l'amorçage de la réaction en chaîne et ne permettent pas d'éviter les irradiations associées aux premiers instants de l'accident (qui peuvent induire des doses létales pour les opérateurs à proximité). En revanche, les conséquences pour l'environnement d'un tel accident sont d'ampleur limitée ; notamment, les rejets de produits de fission radioactifs ne comportent que quelques gaz rares et très peu d'iode et les rayonnements sont atténués par les murs et protections radiologiques et décroissent avec la distance.

Dans la suite de ce texte, sont présentés les principaux aspects de l'analyse de la prévention des risques de criticité.

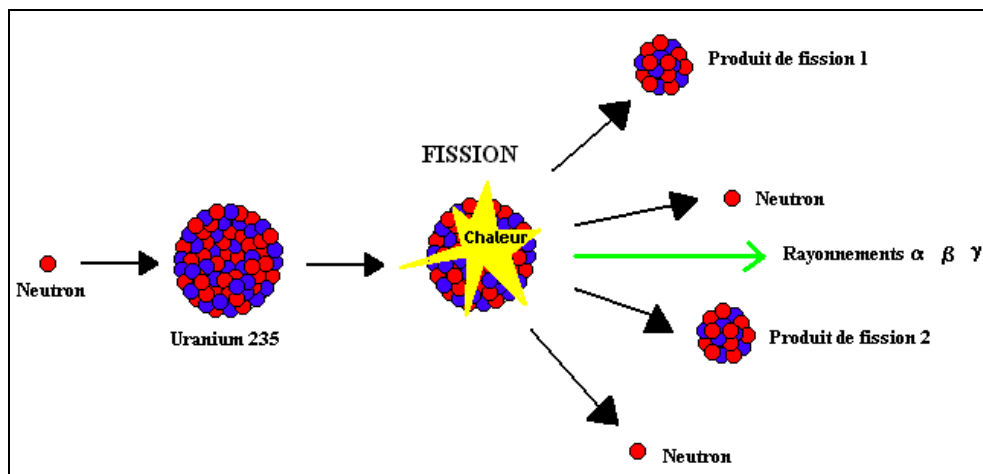


Figure 1 : réaction de fission

1. PARAMETRES INFLUENÇANT LE BILAN NEUTRONIQUE

1.1. Bilan neutronique

L'une des étapes importantes dans l'analyse des risques de criticité est de définir, en fonction des configurations rencontrées et des actions ou opérations envisageables, la configuration la plus pénalisante pour la matière fissile. L'identification et la définition précise de cette configuration s'appuie, bien évidemment, sur une connaissance des phénomènes de base de la neutronique.

La fission du noyau d'un atome fissile (uranium 235, plutonium 239, plutonium 241...), provoquée par un neutron, libère plusieurs neutrons, 2 à 3 en moyenne. Les phénomènes neutroniques (liés aux interactions matière-neutrons) concernent un très grand nombre de noyaux et font intervenir des notions de probabilité. Les neutrons ainsi émis ont trois destins possibles (cf. figure 2) :

- être capturés par des noyaux fissiles et provoquer de nouvelles fissions (capture fissile) ;
- être capturés par des noyaux et « rester » dans le noyau, qui change alors de numéro atomique. Dans certains cas, la réaction peut conduire à la production d'un noyau fissile ; c'est par exemple le cas avec l'uranium 238, qui se transforme, après plusieurs réactions nucléaires, en plutonium 239 (on qualifie cette capture de fertile). Dans une majorité des cas, la réaction conduit à la production d'un noyau non fissile ; c'est par exemple le cas du bore 10 (20 % du bore naturel) qui se transforme en bore 11 (on qualifie cette capture de stérile) ;
- s'échapper du système concerné (fuites), par exemple du réservoir contenant la solution fissile.

Ainsi, des neutrons provoquent des fissions lesquelles engendrent des neutrons qui à leur tour peuvent provoquer d'autres fissions (captures fissiles) et ainsi de suite. Cette production de neutrons, si elle n'est pas compensée par une perte suffisante (par captures fertiles ou stériles et/ou fuites), conduit à une augmentation exponentielle du nombre de neutrons et à l'accident de criticité.

La grandeur caractéristique de l'état « neutronique » d'une configuration est le bilan entre ses capacités, d'une part à produire des neutrons par fission, d'autre part leur perte par capture fertile ou par fuite. Ce bilan est exprimé par le facteur de multiplication effectif des neutrons (généralement noté k_{eff}), qui exprime le facteur par lequel le nombre de fissions se trouve multiplié d'une génération de neutrons à la suivante.

$$k_{eff} = \frac{N'}{N} \rightarrow \frac{\text{Production}}{\text{Absorption} + \text{Fuite}}$$

- Si $k_{eff} < 1$ (Production < Absorption + Fuite), la configuration est sous-critique ; c'est l'état sûr recherché pour les installations nucléaires (hors réacteur).
- Si $k_{eff} = 1$ (Production = Absorption + Fuite), la configuration est critique ; c'est l'état d'équilibre dans un réacteur nucléaire (réaction maîtrisée), qui ne doit pas être atteinte dans les installations nucléaires.
- Si $k_{eff} > 1$ (Production > Absorption + Fuite), la configuration est sur-critique ; c'est l'état correspondant à un accident de criticité.

Ce bilan neutronique dépend à la fois des caractéristiques du milieu fissile (notamment la forme physico-chimique, l'isotopie qui conditionnent les captures fissiles et fertiles) et de la géométrie dans laquelle se trouve ce milieu (qui conditionne la proportion de neutrons pouvant fuir).

Par exemple, pour l'uranium, les limites dépendent de la teneur en isotope 235. Ainsi, la masse minimale sous forme sphérique pouvant conduire à un accident de criticité (dans des conditions favorables pour la réaction) est de 0,87 kg pour de l'uranium très enrichi (à 93,5 % en 235U), de 5,2 kg pour un enrichissement de 20 % et 48 kg pour un enrichissement de 4 %.

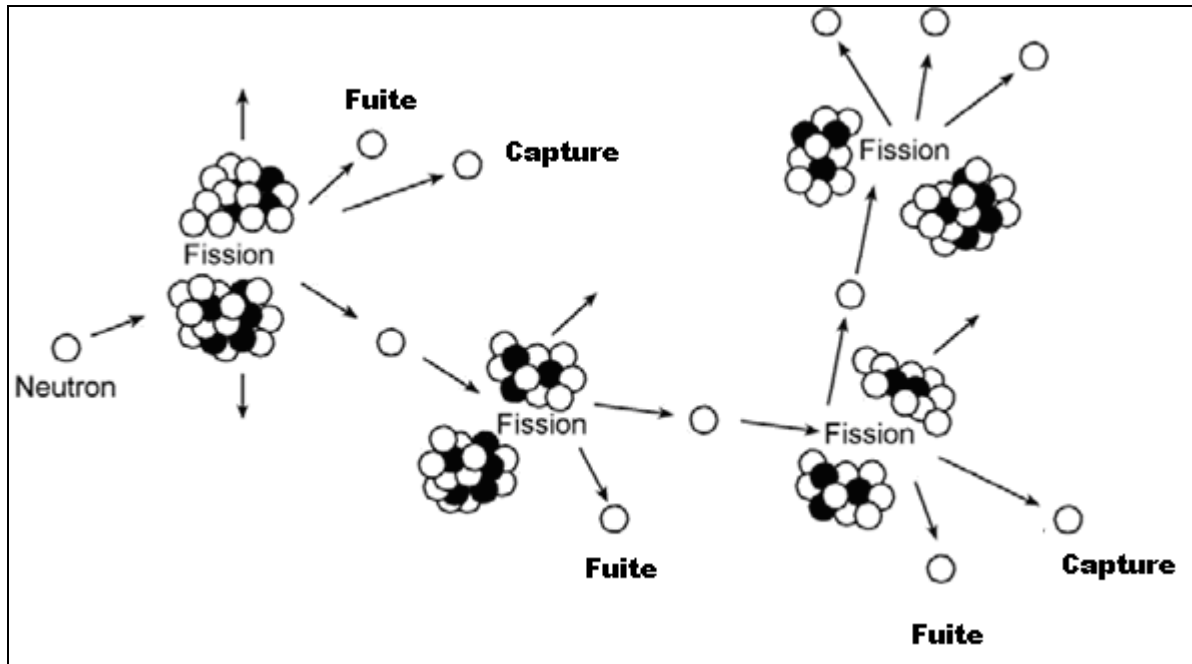


Figure 2 : bilan neutronique

1.2. Production des neutrons de fission

La production de neutrons dépend de la quantité de noyaux fissiles présents dans le milieu fissile considéré, qui va directement influencer sur la probabilité totale de capture des neutrons par un noyau fissile. Ainsi, comme présenté au paragraphe précédent, il existe une masse en deçà de laquelle une réaction de fission auto-entretenu n'est physiquement plus possible. La criticité d'un milieu peut donc être contrôlée par la limitation de la masse de matière fissile.

En pratique, ce mode de contrôle est applicable à l'échelle d'un appareil, d'une boîte à gants, d'une cellule, voire d'un laboratoire entier mettant en œuvre de faibles quantités de matières fissiles. Les limites de masse de matières fissiles associées à ce mode de contrôle, considéré seul (c'est-à-dire non combiné avec une géométrie ou une limite de modération), sont généralement incompatibles avec des installations à caractère industriel.

Le respect des limites de masse associées à ce mode de contrôle implique la mise en place de procédures imposant des contraintes strictes d'exploitation (comptabilité de la matière fissile, maîtrise des transferts de matière, maîtrise des accumulations) et présente l'inconvénient d'être vulnérable au "facteur humain".

La plupart des noyaux fissiles ayant une section efficace de fission (équivalent à une probabilité de fission) d'autant plus importante que l'énergie des neutrons incidents est faible, tout processus conduisant à diminuer l'énergie des neutrons favorise les réactions de fission. Au moment de leur « naissance » à la suite d'une fission, les neutrons ont une énergie de l'ordre de 2 millions d'électronvolts (2 MeV) et leur probabilité de capture par un noyau fissile pour donner une fission est relativement faible. Lors de leur déplacement dans la matière, les neutrons cèdent progressivement leur énergie au cours de collisions avec les noyaux du milieu, ce qui augmente leur probabilité de capture et donc de provoquer des fissions. Ce processus de ralentissement des neutrons par diffusion, sans capture, lors des collisions successives sur les noyaux du milieu considéré s'appelle la thermalisation ou, dans le jargon technique, la modération.

L'énergie cédée par les neutrons au cours des chocs avec les noyaux du milieu est d'autant plus grande que ces noyaux sont légers. L'un des « champions » des modérateurs est l'hydrogène dont le noyau est constitué par un seul proton, de même masse qu'un neutron. On comprend ainsi le rôle particulier joué par l'eau dans la prévention des risques de criticité, dont la molécule comporte notamment deux atomes d'hydrogène.

A titre d'illustration, en présence d'eau (donc d'hydrogène), la masse minimale pouvant conduire, dans les conditions les plus favorables pour la réaction, à un « keff » égal à 1 est d'environ 0,5 kg pour le plutonium 239, alors qu'elle est de 4,5 kg en l'absence d'eau. Pour certains milieux fissiles, tel que l'uranium enrichi à moins de 6,6 % en isotope 235 sous forme d'oxyde, le seul fait de maintenir le milieu rigoureusement exempt de matière hydrogénée (ou tout autre matériau modérateur), suffit à exclure tout risque de criticité, même en présence de grandes quantités de matière.

La criticité d'un milieu peut donc être contrôlée par la limitation de la modération (c'est-à-dire principalement par la limitation de la quantité d'hydrogène).

Il est à noter que d'autres atomes « légers », tels que le carbone et le béryllium, peuvent également assurer une modération significative des neutrons. Toutefois, ils sont moins répandus dans les milieux fissiles rencontrés dans les installations et les quantités nécessaires sont généralement plus importantes.

1.3. Fuite des neutrons

Certains neutrons, au cours de leurs déplacements dans la matière, peuvent s'échapper du milieu fissile qui leur a donné « naissance ». Ils ne participent plus, dans ce cas, à l'entretien des réactions en chaîne. Cette fuite des neutrons est favorisée par :

- une densité du milieu fissile faible et la présence dans le milieu de noyaux interagissant peu avec les neutrons (dans les deux cas, les neutrons peuvent parcourir des distances plus grandes sans collision) ;
- des distances moyennes à parcourir par les neutrons pour parvenir jusqu'aux frontières délimitant le milieu fissile, faibles.

Le seul fait de maintenir la matière fissile dans des équipements de dimensions suffisamment petites dans au moins une direction peut suffire à écarter tout risque de criticité (équipements de faible diamètre, de faible épaisseur...).

La criticité est dans ce cas contrôlée par la limitation de la géométrie des équipements.

Ce mode de contrôle est retenu en priorité lorsque les contraintes sur les dimensions sont compatibles avec les procédés. Il est peu sensible au « facteur humain », mais nécessite d'être retenu dès la conception des appareils (dimensionnement aux séismes, à la corrosion, aux déformations accidentelles suite à la montée en pression ou en température...).

Des dispositions doivent par ailleurs être prises lors des modifications ou changements d'équipement pour garantir la géométrie. Une surveillance particulière des liaisons possibles entre appareils de géométrie sûre et appareils de géométrie quelconque doit être mise en place.

Les neutrons ayant fui hors d'un milieu fissile continuent leur trajectoire dans les matériaux environnants et, suite aux collisions avec les noyaux les constituant, sont capturés ou renvoyés dans le milieu fissile de départ : ce dernier phénomène est appelé **la réflexion des neutrons**. Les cloisons, les parois des équipements, mais aussi les personnes constituent, dans les usines, des réflecteurs susceptibles de limiter les fuites de neutrons. Les analyses de sûreté doivent tenir compte de ce phénomène.

Enfin, lorsque plusieurs équipements renfermant des matières fissiles sont à proximité les uns des autres, **un dernier facteur, appelé interaction**, est susceptible d'intervenir. Une fraction des neutrons fuyant d'un équipement peut entrer dans un équipement voisin, contenant lui aussi de la matière fissile, et y provoquer des fissions. Ce couplage neutronique augmente ainsi la réactivité (« keff ») du système étudié.

1.4. Absorption des neutrons

La disparition de neutrons, par exemple à la suite de captures fertiles, entraîne la baisse du keff, ce qui est favorable au maintien de la sous-criticité d'un milieu fissile. Des isotopes, fréquemment rencontrés dans les milieux fissiles, peuvent conduire à des captures fertiles des neutrons et donc limiter les risques de criticité. Parmi les principaux, figurent les isotopes 238 de l'uranium et 240 du plutonium (en spectre thermique).

En outre, parmi les éléments naturels, quatre sont particulièrement efficaces pour capturer les neutrons. Il s'agit du bore (isotope ^{10}B), du cadmium, du hafnium et du gadolinium (isotope ^{155}Gd). Ils sont couramment utilisés dans les équipements sous forme homogène (solubilisés dans les solutions fissiles) ou hétérogène (sous forme d'écran) pour leurs propriétés neutrophages de manière à assurer la prévention des risques de criticité.

Le contrôle de la criticité s'effectue alors par recours à "l'empoisonnement".

En dehors de ces quatre matériaux très neutrophages, beaucoup de noyaux peuvent conduire à des captures fertiles. Il peut être utile d'en tenir compte dans la détermination du bilan neutronique. Parmi les éléments courants, se distinguent le chlore, l'azote, le fer... et l'hydrogène dans certaines circonstances. C'est ainsi que les solutions aqueuses contenant de faibles concentrations en matières fissiles (donc des quantités importantes d'hydrogène) sont sous-critiques, même en présence de très grands volumes, grâce à "l'empoisonnement" apporté par l'hydrogène de l'eau.

Le contrôle de la criticité est alors obtenu par la **limitation de la concentration** (en matières fissiles).

L'hydrogène a des propriétés de modérateur (conduisant à une augmentation de la réactivité) et de neutrophage (conduisant à la diminuer). La probabilité de capture d'un neutron par un noyau augmentant avec la modération, la réactivité d'un milieu en fonction de la quantité d'hydrogène présente un maximum. Ce maximum est appelé l'optimum de modération.

Enfin, pour les opérations concernant des combustibles "usés" (ou irradiés), il est possible de tenir compte de l'absorption par certains produits de fission dans la mesure où l'on peut garantir leur présence. Par exemple, le samarium 149, samarium 152, gadolinium 155, césium 133, néodyme 143, rhodium 103, molybdène 95, stables et non volatiles, contribuent de manière significative aux captures stériles et pourraient être utilisés pour la justification de la sous-criticité d'une configuration.

Toutefois, la qualification des données de base associées à ces produits de fission et des méthodes de calcul intégrant ces derniers font encore l'objet de développement.

2. LA PREVENTION DES RISQUES DE CRITICITE

Les paragraphes précédents mettent en évidence les multiples moyens pouvant permettre de prévenir les risques de criticité. Il s'avère que le seul fait de limiter un ou plusieurs paramètres "opérationnels" peut suffire à maintenir un système contenant des matières fissiles dans un état sous-critique.

Ces paramètres peuvent être la concentration en matières fissiles des solutions, les dimensions des appareils, la quantité de matières fissiles et celle de matériaux modérateurs. Il peut également être fait appel à des matériaux neutrophages (ou poisons neutroniques).

Dans une analyse de sûreté, la première étape consiste, à partir du procédé, du type de matières mises en œuvre et des flux maximaux de matières envisagés, à sélectionner le ou les paramètres qui permettront d'assurer la sous-criticité dans une unité de travail (ou unité de criticité). Cette étape se conclut par le choix d'un **mode de contrôle** de la criticité (géométrie, masse, modulation, concentration, empoisonnement) et d'un ou de milieux fissiles de référence. En général, ce choix est en grande partie piloté par le procédé mis en œuvre, son dimensionnement (capacité) et la nécessité de limiter les contraintes opérationnelles.

Le **milieu fissile de référence** est un milieu fissile enveloppe conduisant à des paramètres critiques enveloppant ceux de tous les milieux fissiles susceptibles d'être rencontrés dans l'installation en fonctionnement (normal ou anormal), compte tenu du mode de contrôle de la criticité retenu. Le milieu fissile de référence peut, pour un équipement donné, différer selon les scénarios analysés (notamment si ces scénarios conduisent à une modification de la forme physico-chimique de la matière fissile).

Le milieu fissile de référence et le mode de contrôle sont définis pour une unité de criticité (par exemple, boîte à gants, ensemble de boîtes à gants, cellule, conteneur de transport...).

En pratique, **pour déterminer les limites imposées aux paramètres associés au mode de contrôle de la criticité et au milieu fissile de référence associé, il est nécessaire de rechercher la combinaison des paramètres la plus défavorable eu égard aux scénarios retenus au regard des risques de criticité et d'en déduire les paramètres enveloppes pour la sûreté. Les paramètres non retenus au titre du mode de contrôle de la criticité peuvent prendre des valeurs quelconques.**

La définition d'un mode de contrôle, d'un milieu fissile de référence et d'une unité de criticité conduit ensuite, en toute logique, à la mise en place de moyens de contrôle adaptés pour garantir le respect des limites des paramètres de criticité associés au mode de contrôle (pesées pour le contrôle de la masse, analyses chimiques pour le contrôle de la concentration, mesures de l'acidité pour garantir l'absence de précipitation,...).

3. ANALYSE DE LA SURETE-CRITICITE

L'analyse de sûreté retient non seulement les conditions de fonctionnement dites normales, mais aussi les dysfonctionnements envisageables. Dans ce cadre, la règle fondamentale de sûreté (RFS) n°1.3.c constitue la référence méthodologique au niveau français pour la prévention des risques de criticité, aussi bien pour les concepteurs que les exploitants d'installations.

Cette RFS énonce comme principe général, dit « de double défaillance », qu'un « accident de criticité ne doit en aucun cas découler d'une seule anomalie : défaillance d'un composant, d'une fonction, erreur humaine (non-respect d'une consigne par exemple), situation accidentelle (incendie par exemple) »... et que « si un accident de criticité peut découler de l'apparition simultanée de deux anomalies, il sera alors démontré que :

- les deux anomalies sont rigoureusement indépendantes,
- la probabilité d'occurrence de chacune des deux anomalies est suffisamment faible,
- et que chaque anomalie est mise en évidence à l'aide de moyens de surveillance appropriés et fiables, dans un délai acceptable permettant l'intervention. »

Cette RFS préconise en outre de préciser, pour chaque unité de criticité (poste de travail...), le mode de contrôle de la criticité, le milieu fissile de référence et les dispositions relatives à chacun d'entre eux, en cohérence avec l'analyse des défaillances réalisée selon le principe de « double défaillance » précité.

4. MARGES DE SECURITE ET CRITERES DE DIMENSIONNEMENT

L'existence de marges de sécurité est essentielle pour garantir la sûreté des installations. Dans le cas des risques de criticité, l'analyse de sûreté devra donc définir les valeurs maximales admissibles pour chaque paramètre, l'état critique constituant une limite qui ne doit jamais être atteinte.

Il n'est pas possible de considérer, de façon simpliste, que cette marge de sécurité se traduit par une marge « administrative », prédéfinie, entre la valeur maximale du facteur de multiplication (« keff ») de la configuration étudiée et la valeur de 1 (correspondant à l'état critique). En effet, certains milieux fissiles voient leur « keff » varier très rapidement en fonction de certains paramètres. C'est le cas par exemple des milieux constitués de plutonium ou d'uranium très enrichi.

Pour cette raison, la RFS n'énonce pas, pour le « keff », de critère réglementaire chiffré de la marge de sécurité à respecter. L'appréciation des marges de sécurité d'une configuration ou d'une situation tient compte principalement de quatre critères : l'évaluation de la sensibilité de variation du keff en fonction des paramètres contrôlés, le degré de conservatisme lié à la modélisation de calcul (simplifications de géométrie, de composition, de réflecteur, de matériau modérateur), le caractère plus ou moins probable du scénario correspondant à la situation enveloppe retenue pour les situations incidentelles ou accidentelles et enfin le degré de confiance dans les techniques de calcul utilisées (la RFS fait ici référence à une qualification sur une base expérimentale).

La qualification des schémas de calcul utilisés doit particulièrement être examinée lorsque la configuration traitée présente un keff relativement élevé. Les critères d'admissibilité et les valeurs des paramètres de criticité doivent alors être fixés à la lumière de l'état de la qualification de ces schémas de calcul, en intégrant éventuellement des marges « forfaitaires » jugées suffisantes par l'expert.

5. LIMITER LES CONSEQUENCES D'UN ACCIDENT DE CRITICITE

Les dispositions de prévention des risques de criticité rendent très improbable une divergence incontrôlée dans une installation. Nonobstant, compte tenu des matières fissiles mises en œuvre, un accident de criticité reste physiquement possible (si plusieurs dispositions ne sont plus effectives).

Depuis 1945, il s'est produit une soixantaine d'accidents de criticité dans le monde. Une quarantaine de ces accidents est survenue dans des réacteurs de recherche ou dans des laboratoires sur des "assemblages critiques". En outre, malgré des marges de sécurité par nature plus importantes, on recense actuellement vingt deux accidents survenus dans des installations du cycle du combustible. Ces accidents n'ont pas provoqué de rejets radioactifs significatifs dans l'environnement, mais des irradiations importantes entraînant, dans des délais courts, vingt décès, dont dix dans des installations du cycle du combustible.

Une autre particularité des accidents de criticité est leur durée qui varie de quelques dixièmes de secondes à plusieurs dizaines d'heures. Dans certaines circonstances, des actions spécifiques ont dû être entreprises (injection de poison neutronique...) pour arrêter l'accident.

Aussi, selon les spécificités des installations, il est nécessaire de prévoir des dispositions complémentaires visant à limiter au maximum les conséquences d'un éventuel accident, notamment pour les personnels travaillant dans les installations et pour les personnes susceptibles de se trouver à proximité. Ces dispositions s'articulent autour de trois actions principales : la détection de l'accident, l'organisation de l'évacuation rapide des personnels concernés et, si nécessaire, l'intervention visant à arrêter l'accident.

6. RESEAU DE DETECTION ET D'ALARME DE CRITICITE

Eu égard à la cinétique, il n'existe pas de signe précurseur exploitable d'un accident de criticité ; les dispositifs de détection existant utilisent donc l'émission, au début de l'accident de criticité, d'un flux important de neutrons et de rayonnements gamma. Ces systèmes ne permettent donc pas d'éviter les conséquences, potentiellement létales pour les opérateurs situés à proximité, associées au début de l'accident.

En France, les systèmes de détection (EDAC, ensemble de détection et d'alarme de criticité) sont basés sur des groupes de détecteurs (ou sondes), mesurant les débits de dose (neutronique + gamma), et un coffret de traitement de ces mesures pilotant des alarmes sonores et lumineuses spécifiquement associées à l'accident de criticité. Le déclenchement de ces alarmes s'effectue dès que la dose totale et le débit de dose atteignent des seuils prédéterminés. Les détecteurs ont été conçus de façon à limiter au maximum le risque de fausse alarme et sont en outre susceptibles de fournir des informations sur l'accident (évolution dans le temps, évaluation de doses...) utiles pour la conduite de l'intervention.

7. EVACUATION

La limitation des conséquences radiologiques d'un accident de criticité dépend largement d'une évacuation rapide hors de la zone concernée. Le personnel doit donc avoir été entraîné à évacuer les lieux vers des points de rassemblement, selon des cheminements préalablement définis et fléchés. L'optimisation de l'implantation des détecteurs et des chemins d'évacuation résulte de l'étude de scénarios d'accidents propres à chaque installation.

8. INTERVENTION EN CAS D'ACCIDENT DE CRITICITE

L'expérience tirée des différents accidents de criticité, en particulier du dernier survenu en 1999 au Japon, montre qu'il peut être nécessaire d'intervenir pour arrêter un accident, en l'absence d'arrêt spontané suffisamment rapide.

Cette intervention peut consister à "empoisonner" le milieu par l'ajout de solution ou de poudre contenant des matériaux neutrophages, à transférer le milieu fissile incriminé vers une géométrie qui garantit un état sous-critique, à éliminer un réflecteur neutronique (par vidange de l'eau du circuit de refroidissement dans le cas de l'accident de Tokai Mura)...

Au titre du retour d'expérience de cet accident, les autorités de sûreté françaises ont demandé aux exploitants d'installations concernées par les risques de criticité en milieu humide de réexaminer les moyens dont ils disposent pour détecter un accident et de préciser les moyens utilisables pour l'arrêter.

9. CONCLUSION : RIGUEUR, RESPECT DES PRINCIPES ET VIGILANCE

La maîtrise des risques de criticité dans les installations nucléaires est obtenue en imposant des limitations strictes à certains paramètres de contrôle bien identifiés. Ces limites sont définies grâce à l'étude exhaustive des conditions de criticité de tous les appareils susceptibles de contenir des matières fissiles (en fonctionnements normal, incidentels ou accidentels) en tenant compte de leur environnement spécifique.

Les paramètres enveloppes de ces études de sûreté et les configurations étudiées doivent être compatibles avec le "principe de double défaillance" énoncé dans la règle fondamentale de sûreté n°1.3.c.

Les outils de calculs de la criticité ont atteint un niveau élevé de précision grâce aux progrès réalisés dans les modèles de traitement neutronique et la connaissance des données nucléaires de base. Ils permettent en particulier de rechercher les meilleures conditions de sûreté, sans approximations excessives, pour la majorité des situations. Des développements et des travaux de qualification actuellement en cours visent à améliorer encore la précision, par exemple pour les calculs concernant les combustibles usés, afin de mieux évaluer les marges de sécurité et, dans le cas des exploitants et industriels, d'optimiser les contraintes de sûreté-criticité en termes techniques et économiques.

Toutefois, l'un des impératifs des modélisations très détaillées est la nécessité de justifier plus finement la qualification des schémas de calcul. Cette justification est souvent confrontée au manque d'expériences de criticité adaptées à l'application envisagée. Les programmes de recherche développés par l'IRSN vont dans le sens d'une meilleure qualification des outils de calcul disponibles.

En tout état de cause, les résultats des calculs de criticité doivent venir en appui des expertises de criticité et doivent toujours être pris avec suffisamment de recul et de vigilance.

Enfin, quels que soient les efforts consentis lors de la conception des installations, il ne faut pas oublier que la prévention des risques de criticité est assurée par des hommes !

Les défaillances de la "chaîne humaine" relevées lors des accidents de criticité survenus dans le monde montrent, à cet égard, toute l'importance de la formation et de l'organisation dans la maîtrise des risques de criticité et l'importance de la vigilance de tous les acteurs, c'est-à-dire la bonne culture de sûreté de l'ensemble de l'organisation.