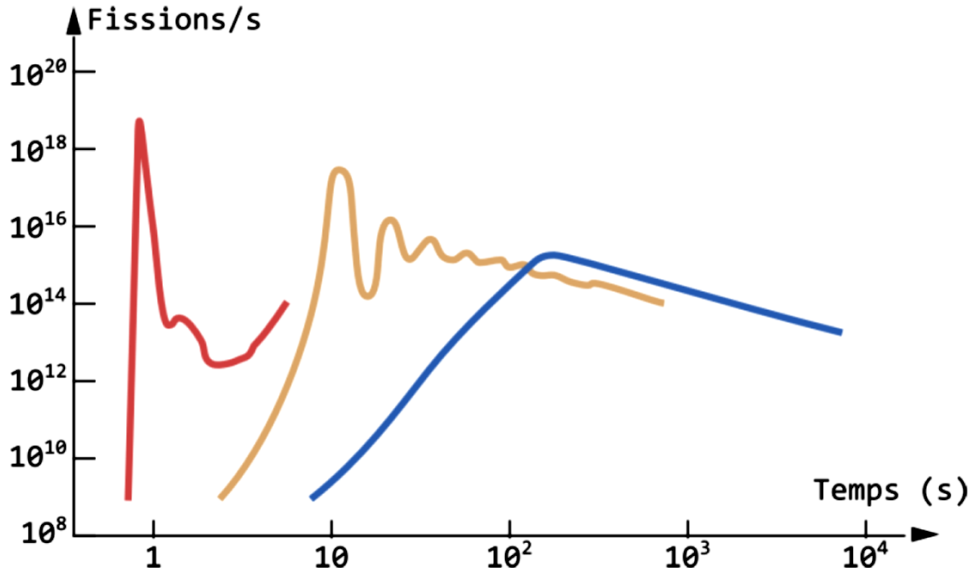
FICHE N°21

L'ACCIDENT DE CRITICITÉ : RÉGLEMENTATION ET ASPECTS THÉORIQUES



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.

Définition

⇨ L'accident de criticité résulte d'une **réaction de fission en chaîne incontrôlée**, qui est déclenchée lorsque les quantités de matières fissiles mises en œuvre dépassent un certain seuil, appelé **masse critique**. Dans ce cas, le nombre de neutrons de fission produits est supérieur au nombre de neutrons absorbés et perdus par fuite dans la matière fissile ($k_{eff} > 1$). Le résultat est une **croissance très rapide du nombre de fissions** produites dans le milieu : on parle de **divergence**.

⇨ L'accident de criticité se traduit par :

- Un **dégagement considérable de rayonnements neutrons et γ** ;
- L'**émission de produits de fission gazeux et aérosols** (créés par les fissions et/ou initialement présents) ;
- L'**émission de gaz de radiolyse** (essentiellement en milieu de type solution) ;
- Un **relâchement d'énergie**, principalement sous forme de chaleur.

⇨ **Les conséquences humaines peuvent être dramatiques pour le personnel travaillant à proximité de l'équipement concerné par l'accident** (irradiation importante voire mortelle, le risque de contamination étant faible). Les conséquences matérielles sont généralement négligeables, les énergies mises en œuvre n'étant pas suffisantes pour entraîner des dommages aux équipements et au génie civil. De même, les conséquences pour l'environnement des installations sont faibles, les rejets ne concernant que quelques gaz rares et très peu d'iode.

⇨ Après l'accident, il peut y avoir également une radioactivité induite par l'activation neutronique des matériaux se trouvant dans l'environnement de la source. Le rayonnement dû à l'activation est cependant très faible par rapport à la décroissance gamma des produits de fission de la source.

Réglementation

⇨ Pour les INB, les aspects réglementaires relatifs aux accidents de criticité sont inclus dans la **décision ASN 2014-DC-0462**, dite « décision criticité ». L'**article 3-1.1** indique que ***« les installations nucléaires de base et les emballages de transport contenant de la matière fissile sont conçus, réalisés et exploités de façon à prévenir tout accident de criticité ».*** En complément, l'**article 2-2** indique que ***« l'exploitant définit et met en œuvre des dispositions matérielles ou organisationnelles et humaines qui visent à […] limiter les conséquences d'un accident de criticité, notamment par la mise en place de moyens de gestion de crise dédiés, lorsqu'un cumul d'anomalies envisageable peut conduire à un accident de criticité et que cela peut apporter un bénéfice significatif pour la protection des personnes ou de l'environnement. Ces moyens sont identifiés dans le plan d'urgence interne (PUI) de l'exploitant et leur mise en œuvre est prise en compte dans l'organisation du plan d'urgence interne. Ces moyens comprennent, autant que nécessaire :***

- ***Des moyens de détection et d'alarme en cas d'accident de criticité ;***
- ***Des procédures et des moyens d'arrêt d'un accident de criticité ;***
- ***Des protections radiologiques adaptées, notamment à l'intervention possible de secours extérieurs ;***
- ***Des procédures et des moyens d'évacuation et de mise à l'abri des personnes présentes sur le site. »***

⇨ La **décision ASN 2009-DC-0153** relative aux niveaux d'intervention en situation d'urgence radiologique, précise que ***« les niveaux d'intervention associés à la mise en œuvre des actions de protection de la population en situation d'urgence radiologique […] sont :***

- ***Une dose efficace de 10 mSv pour la mise à l'abri ;***
- ***Une dose efficace de 50 mSv pour l'évacuation ;***
- ***Une dose équivalente à la thyroïde de 50 mSv pour l'administration d'iode stable***. »

⇨ L'**article R1333-86 du code de la santé publique** stipule que ***« pour une intervention en situation d'urgence radiologique identifiée, des niveaux de référence d'exposition individuelle, constituant des repères pratiques, exprimés en termes de dose efficace, sont fixés comme suit :***

- ***La dose efficace susceptible d'être reçue par les personnels du groupe 1, pendant la durée de leurs missions, est de 100 mSv. Elle est fixée à 300 mSv lorsque l'intervention est destinée à protéger des personnes ;***
- ***La dose efficace susceptible d'être reçue par les personnels du groupe 2 est de 10 mSv. »***

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.

Phénoménologie d'un accident de criticité

⇨ L'accident de criticité n'a **aucun signe précurseur**, et il ne peut donc être détecté qu'une fois l'excursion critique démarrée. Sa durée peut varier **de moins d'une seconde (flash) à plusieurs jours**.

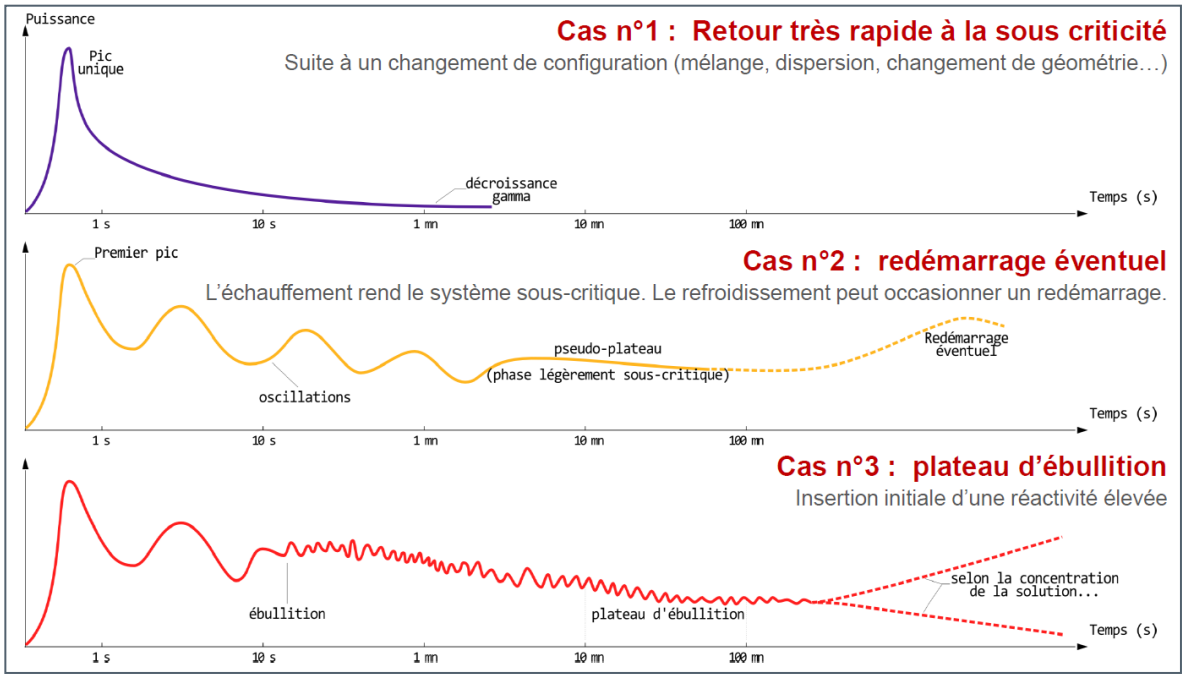
⇨ Lorsqu'une réaction en chaîne divergente s'établit, on observe une **évolution exponentielle de la puissance** (nombre de fissions par unité de temps), accompagnée de libération d'énergie, principalement sous forme thermique. Ceci entraîne généralement l'apparition de **mécanismes de contre-réactions** qui réduisent la réactivité du système jusqu'à le rendre, au moins **temporairement, sous-critique** ; le résultat est un **premier pic de puissance**. Après ce pic, les contre-réactions cessent et **le système peut devenir à nouveau sur-critique**.

⇨ Si l'accident de criticité survient dans une **solution**, comme ce fut le cas à Tokaï-Mura (voir fiche n°23), il s'accompagne de la formation de **bulles de gaz de radiolyse** (irradiation des molécules d'eau) et/ou de **bulles de vapeur** (s'il y a ébullition). Par effet de vide, ces bulles, conjointement à l'élévation de température, mènent à une baisse de réactivité pouvant rendre le système sous-critique et conduisant ainsi à une baisse de la puissance. Le refroidissement de la solution permet alors à la réaction en chaîne de redémarrer, et on peut dans ces conditions observer une **succession de pics de réactivité (oscillations)**.

⇨ D'une manière générale, le déroulement d'une excursion critique accidentelle est régi par :

- Les matières fissiles présentes (quantité, nature physico-chimique) ;
- La configuration lors de l'accident (géométrie du système, échanges thermiques, conditions de réflexion, confinement éventuel…) ;
- La source neutronique initiale, responsable de l'amorçage ;
- Les contre-réactions (effets de température sur le noyau fissile, dilatation du milieu, changement de géométrie, effet de vide lié à la radiolyse et à l'ébullition, échanges thermiques...).

⇨ De ce fait, **chaque accident est particulier**, comme l'a montré le retour d'expérience des accidents passés. Pour les milieux liquides, une typologie est proposée ci-après.



⇨ La phénoménologie de ces accidents fait l'objet de recherches à l'aide de **moyens expérimentaux**, notamment :

- En France, à la station de criticité de **Valduc** (fermée en 2014) :
  - ♦ En milieu liquide : CRAC et SILENE,
  - ♦ En milieu métallique : CALIBAN et PROSPERO ;
- A l'international :
  - ♦ Au Japon : STACY et TRACY,
  - ♦ Aux États-Unis : GODIVA-IV.

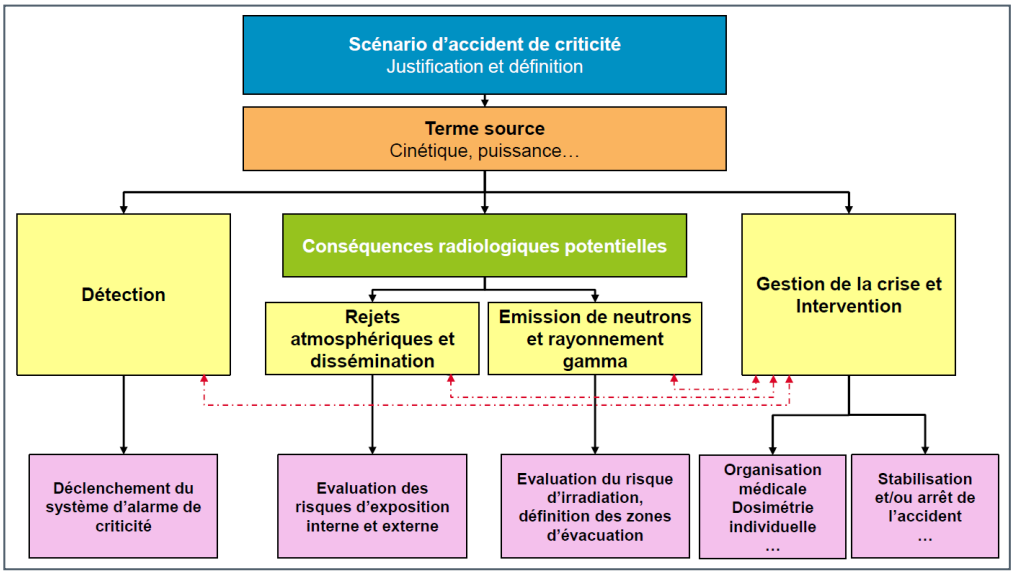
Ce document, élaboré pour la réalisation d'études de sûreté-criticité, est la propriété du CEA. Il ne se substitue en aucun cas à une analyse de sûreté-criticité ou à l'avis d'un ingénieur criticien et ne peut pas servir de référence directe.

Points à traiter dans une étude d'accident de criticité

⇨ Une étude d'accident se base sur un **scénario d'accident de criticité**. Au-delà de l'estimation du terme source et de la phénoménologie associée, elle s'intéresse :

- Aux moyens de **détection** de la survenue d'un accident, permettant le déclenchement d'alarmes pour l'**évacuation** immédiate des personnels potentiellement exposé (voir fiche n°22) ;
- À l'organisation de la **gestion de crise** en cas d'accident (prise en charge des personnels), ainsi qu'aux moyens d'**intervention** pour arrêter l'accident (voir fiche n°22) ;
- Aux **conséquences radiologiques potentielles** (exposition directe et rejets atmosphériques), traitées ci-après.

⇨ Une étude d'accident fait intervenir des **phénomènes complexes** et de **multiples disciplines** (neutronique, mesure, radioprotection, impact environnemental, médecine…) : il est donc fortement recommandé de recourir à des spécialistes pour réaliser une telle étude.



Conséquences radiologiques potentielles

Exposition directe (émission de neutrons et de rayonnements γ)

⇨ Un accident de criticité peut engendrer une **exposition** des hommes aux rayonnements ionisants (irradiation). Ces rayonnements peuvent provenir :

- De l'accident en lui-même (émission neutrons/γ) : c'est en général la contribution principale à l'exposition ;
- Des produits de fission (créés par les fissions et/ou initialement présents) ;
- De l'activation des matériaux environnants.

⇨ Il n'existe **pas de relation directe et constante entre le nombre de fissions** (énergie libérée lors d'un accident de criticité) **et la dose**. En effet, la dose dépend de :

- La nature et la forme physique de la source (milieu en solution, milieu « réseau de crayons dans l'eau », …) ;
- La géométrie de la source ;
- L'environnement de la source (protections en acier, murs en béton…) ;
- La distance par rapport à la source.

⇨ **Les doses engendrées par un accident de criticité peuvent être très significatives** et dépasser la dose létale 50% (~4,5 Sv). Quelques ordres de grandeur de dose absorbée sont indiqués ci-après :

- Dose maximale mesurée à 1 m de SILENE, lors du premier pic de puissance, pour 10^{18} fissions : ~ 500 Gy ;
- Dose reçue par les deux opérateurs lors de l'accident de Tokaï-Mura en 1999 (voir fiche n°23) : ~ 10 à 20 Gy ;
- Dose reçue par l'opérateur lors de l'accident de Sarov en 1997 (maquette critique métallique) : ~ 50 Gy.

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.

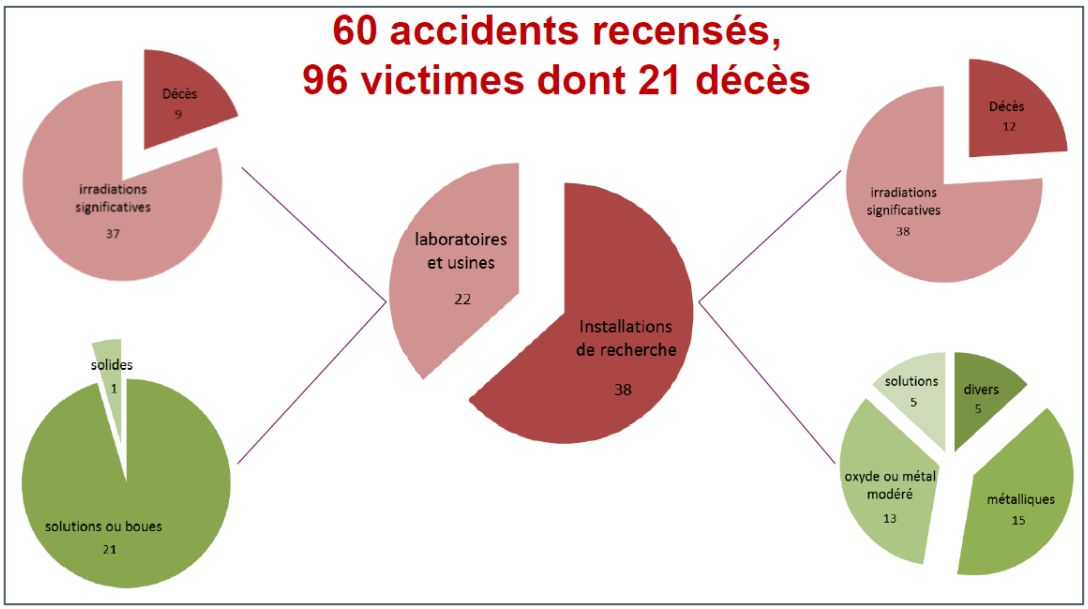
Rejets atmosphériques

⇨ En cas d'accident de criticité, des radioéléments (formés lors de l'accident et/ou initialement présents) sont susceptibles d'être rejetés hors de l'équipement et du bâtiment concerné. L'exposition due aux rejets fait l'objet d'une **étude d'impact de rejets atmosphériques** selon :

- Des **hypothèses** classiquement utilisées pour ce type de calcul (intensité, durée, composition isotopique, hauteur du rejet, conditions météorologiques, distances, population cible) ;
- Différentes **voies d'exposition** (interne/externe, inhalation/ingestion...).

⇨ De façon générale, les conséquences de ces rejets restent néanmoins très faibles par rapport à celles dues à l'exposition externe (irradiation).

Les accidents de criticité dans le monde



⇨ Depuis 1945, une **soixantaine d'accidents de criticité** (la plupart aux États-Unis et dans l'ex-URSS) se sont produits dans le monde : deux tiers dans les réacteurs de recherche et sur les assemblages critiques (on parle davantage d'accident de réactivité), un tiers dans les installations du cycle du combustible (laboratoires et usines). Ils ont entraîné le **décès de 21 personnes** par irradiation, mais n'ont pas provoqué de rejets radioactifs significatifs dans l'environnement.

⇨ La quasi-totalité des accidents de criticité dans les installations du cycle a eu lieu **en solution** (voir fiche n°24).

Pour aller plus loin...

⇨ Le CEA a élaboré un **« Guide à l'usage des études d'accident de criticité »** composé de plusieurs chapitres :

- Chapitre 1 : Rappel sur le risque de criticité et les dispositions d'ordre général sur sa prévention ;
- Chapitre 2 : Considérations générales sur l'accident de criticité et sa phénoménologie ;
- Chapitre 3 : État des connaissances résultant des programmes expérimentaux ;
- Chapitre 4 : Estimation de l'énergie et modélisation de la physique *(à paraître)* ;
- Chapitre 5 : Dosimétrie - caractéristiques des champs de rayonnement et risques d'exposition associés ;
- Chapitre 6 : Estimation de l'impact radiologique *(à paraître)* ;
- Chapitre 7 : Détection et alarme de criticité ;
- Chapitre 8 : Effets des rayonnements à fortes doses *(à paraître)* ;
- Chapitre 9 : Gestion de la crise - Plan d'Urgence Interne - Intervention ;
- Chapitre 10 : Retour d'expérience des accidents de criticité survenus dans le monde dans les laboratoires et usines ;
- Chapitre 11 : Méthodologie proposée pour une installation qui nécessite une étude d'accident de criticité.

⇨ Pour plus d'informations sur le contenu de ce guide, il est possible de contacter CP2C.

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.