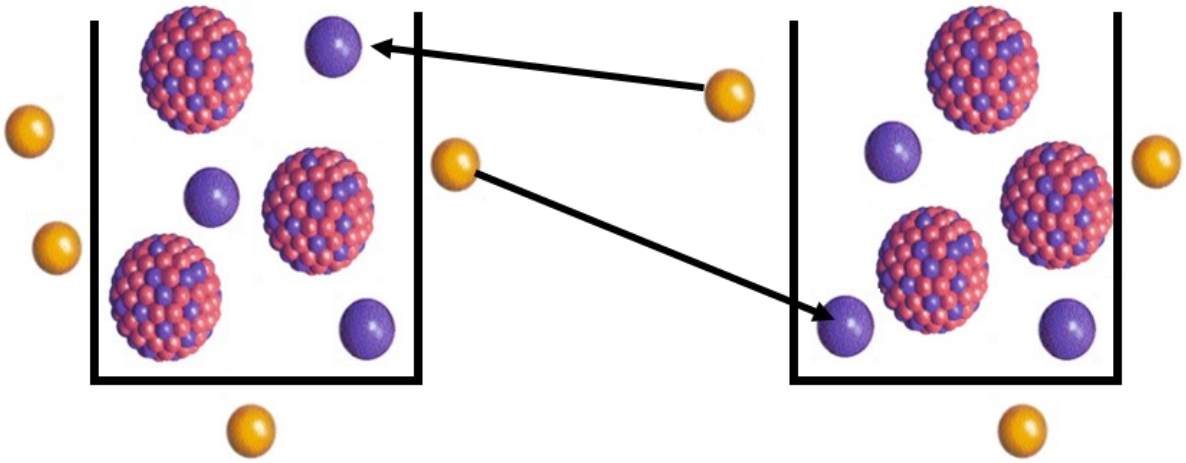
FICHE N°16

INTERACTIONS NEUTRONIQUES



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

⇨ Une partie des neutrons de fuite quittant un appareil contenant de la matière fissile peut pénétrer et interagir avec la matière fissile contenue dans un autre appareil situé à proximité, et réciproquement (cf. fiche n°1).

⇨ **Ces interactions neutroniques augmentent le k_{eff}** du système : ainsi, un ensemble d'équipements sous-critiques individuellement n'est pas forcément sous-critique.

⇨ Les interactions neutroniques dépendent :

- De facteurs géométriques comme la **taille**, la **forme** et la **distance** entre appareils, c'est-à-dire les différents paramètres ayant une influence sur les angles solides sous lesquels les appareils contenant de la matière fissile « se voient » ;
- Des **matériaux** qui s'interposent entre les appareils qui peuvent jouer, soit le rôle de poisons neutroniques (diminution du k_{eff}), soit le rôle de modérateur (augmentation éventuelle du k_{eff}).

⇨ **Les études de prévention du risque de criticité doivent tenir compte de ces interactions neutroniques** lors de l'implantation des équipements. De manière générale, deux approches sont possibles pour diminuer les interactions entre deux milieux fissiles, voire les supprimer (on parle alors de **découplage**) :

- **Réduire l'angle solide entre les équipements :**
  - Garantir une distance minimale,
  - Placer les équipements « en ligne » ;
- **Interposer un écran neutrophage.**

Démarche et recommandations

⇨ Il est nécessaire de prendre en considération, dans les justifications de sûreté-criticité, les possibles interactions neutroniques entre les équipements/unités de travail voisin(e)s ou garantir une distance/épaisseur d'écran suffisante pour permettre d'exclure toute interaction neutronique.

⇨ Il faut étudier, si nécessaire, les interactions neutroniques dues à des matières fissiles en cours de **transfert.**

Exemple : Convoyeur fermé en transfert dans une unité de travail : l'analyse doit vérifier l'impossibilité de chute du lot en transfert dans la cellule et définir les dispositions à prendre en conséquence.

Exemple : Transfert de boîtes contenant de la matière fissile avec une cage centrée (dispositif physique garantissant une distance minimale entre les boîtes).

Distance : règles « classiques »

⇨ Ce paragraphe présente des règles de distance classiquement utilisées pour tenir compte des interactions neutroniques ou pour permettre un découplage. **Il convient toutefois de s'assurer de leur applicabilité au cas par cas**.

⇨ Guide de criticité CEA-R 3114 :

- Deux zones sont isolées si leur distance minimale, bord à bord, est supérieure à la plus grande des valeurs suivantes :
  - 4 mètres,
  - La plus grande dimension des 2 zones.
- Deux rangées d'unités alignées et identiques sont isolées, quelle que soit leur longueur, si leur séparation est d'au moins 4 mètres.

⇨ Transport et entreposage en transit de colis contenant des matières fissiles : pour assurer le découplage neutronique, il faut séparer les groupes de colis/suremballages/conteneurs de transport de **6 mètres**.

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.

⇨ Recommandations CSIA : les notes CSIA 66-216 et 68-304 (et leur version reformulée, voir ci-après) précisent qu'il est permis de juxtaposer, sur une seule couche, un nombre quelconque d'unités de travail (= unités de criticité en contrôles par la masse), dont les limites sont définies dans la note, à condition de :

- Matérialiser le contour de chaque unité (murs, parois, bandes de peintures) ;
- Maintenir une distance minimum bord à bord de **60 cm** entre les unités voisines dans le cas où le risque de double chargement est exclu ;
- Maintenir une distance minimum bord à bord de **30 cm** entre les unités voisines dans le cas où le risque de double chargement ne peut pas être exclu ;
- Respecter des limites de masse et/ou de modération par unité.

Ces notes donnent alors des limites de masses par unité de travail, pour une réflexion par une couche d'eau de 20 cm d'épaisseur pour l'U métal enrichi à 93,5 %, le ^{239}Pu métal (phase α de densité 19,6 et phase δ de densité 15,65) et le $^{239}PuO_2$ de densité 10,5. Ces limites ont été reformulées, d'une manière plus opérationnelle, dans la note DSU/SEC/T/2007-150 dont la conclusion est indiquée ci-dessous :

<table>
<tr><th colspan="2"></th><th>U métal</th><th>PuO_2</th><th>Pu δ</th><th>Pu α</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Double chargement impossible (60 cm bord à bord)</td><td>Faible modération</td><td>16 kg
(V ≤ 1,5 l)</td><td>8 kg
(V ≤ 2 l)</td><td rowspan="2" colspan="2">4 kg</td></tr>
<tr><td>Modération limitée (V ≤ 3 l)</td><td>7 kg</td><td colspan="2">5,2 kg</td></tr>
<tr><td>Modération quelconque</td><td>600 g</td><td colspan="3">350 g</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Double chargement possible (30 cm bord à bord)</td><td>Faible modération</td><td>10 kg
(V ≤ 0,6 l)</td><td>5 kg
(V ≤ 0,6 l)</td><td colspan="2" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Modération limitée (V ≤ 1,8 l)</td><td colspan="3">2,5 kg</td></tr>
<tr><td>Modération quelconque</td><td>350 g</td><td colspan="3">200 g</td></tr>
</table>

Interposition d'écrans

ÉCRANS CONTENANT DES POISONS NEUTRONIQUES

⇨ L'interposition d'écrans contenant des poisons neutroniques, souvent associés à une matière modératrice, permet de **diminuer le k_{eff}** d'un système constitué de plusieurs unités contenant de la matière fissile, en supprimant tout ou partie des neutrons de fuite d'un équipement susceptibles de participer à une réaction en chaîne de fission dans le milieu fissile d'un autre équipement.

⇨ Dans ce cas, la prévention du risque de criticité du système est garantie par la présence du poison neutronique (mode de contrôle de la criticité par l'**empoisonnement**). Les contraintes et les recommandations liées à ce mode de contrôle de la criticité doivent être respectées (voir fiche n°13).

Exemples :
- Béton à la colémanite (contenant du bore) dans les entreposages en alvéoles ;
- Plâtre Polyéthylène Boré (PPB) entre deux équipements ;
- Gainage en acier cadmié + polyéthylène en paroi des cuves plates et annulaires.

⇨ **Attention** : En fonction du matériau utilisé, l'interposition d'un écran entre deux équipements peut également augmenter les phénomènes de réflexion des neutrons (voir fiche n°15). La compétition entre les phénomènes de diminution des interactions et d'augmentation de la réflexion doit être étudiée au cas par cas.

☞ *Pour plus d'informations sur l'empoisonnement neutronique : voir fiche n°13*

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.

ÉCRANS CONTENANT DE L'HYDROGÈNE ET MODÉRATION INTERSTITIELLE

⇨ Les interactions neutroniques peuvent être sensiblement modifiées par l'interposition de produits hydrogénés :

- L'interposition d'une lame d'eau d'au moins 30 cm d'épaisseur supprime totalement le couplage neutronique entre 2 unités contenant des matières fissiles : cf. guide de criticité CEA-R 3114 ;
- L'interposition d'une **lame d'eau** de plus faible épaisseur ou d'un **brouillard d'eau** (eau de densité variable) peut, au contraire, **augmenter le k_{eff} d'un système**. Cette présence d'eau, insuffisante pour assurer un découplage neutronique des unités, augmente l'efficacité des neutrons en les modérant (on parle de **modération interstitielle**) et apporte une réflexion partielle à chaque unité.

⇨ En règle générale, lorsque la modération interstitielle est supposée quelconque entre unités fissiles, il convient d'étudier les configurations suivantes :

- **Brouillard d'eau de densité variable** entre les équipements ;
- **Lames d'eau d'épaisseur variable** autour des équipements (de 0 à 20 cm) ;

et de retenir la configuration conduisant au maximum de réactivité.

Exemple : L'étude d'un magasin d'entreposage d'éléments combustibles, dans lequel la présence d'eau ne peut être exclue, ne doit pas uniquement démontrer la sous-criticité en cas d'inondation totale (hypothèse souvent peu probable), mais doit prendre en compte la présence éventuelle d'un brouillard d'eau de densité variable ou d'une lame d'eau d'épaisseur variable autour de chaque contenant de matière fissile entreposé.

Cas des entreposages

⇨ Un entreposage est formé d'unités d'entreposage (alvéoles, puits…) disposées régulièrement et constituant un réseau. Le **pas du réseau** est la distance entre 2 axes d'unités fissiles voisines (pas carré ou triangulaire). C'est un paramètre important qui est défini par les études de criticité et qui doit impérativement être respecté. En effet, son influence sur les interactions neutroniques (couplage neutronique) est prépondérante. **Il ne doit pas être modifié sans nouvelle justification de sûreté-criticité.**

⇨ L'entreposage doit être conçu de manière à rester sûr en présence d'eau ou de brouillard d'eau. Les règles de l'art du calcul sont de réaliser les calculs en considérant deux méthodes (voir ci-avant) :

- Présence d'un brouillard d'eau de densité variable entre les unités fissiles ;
- Présence d'une lame d'eau d'épaisseur variable autour de chaque unité fissile.

⇨ Chaque entreposage peut être défini à partir :

- De normes existantes (ex : note CEA-N-1291 « Sûreté-criticité - Recommandations concernant les stockages de matières fissiles ») ;
- D'une étude de criticité particulière (calculs).

Précautions générales à prendre en exploitation

⇨ Garantir les dimensions et la vacuité de l'espace entre 2 unités censées être découplées :

- Marquages au sol ;
- Structure rigide ;
- Procédures/consignes (autorisations pour réaliser des transferts, implanter de nouveaux équipements…).

Nota : Si des dimensions/distances sont directement impliquées dans des calculs de criticité, elles doivent être impérativement respectées et tracées dans la documentation opérationnelle.

⇨ Prendre en compte la circulation des matières fissiles à proximité des unités de travail lors des transferts :

- Exemples : transfert suivant un chemin marqué au sol, récipients mobiles entourés d'une crinoline empêchant leur rapprochement…

⇨ Interdire tout déplacement/modification des écrans neutrophages.

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.