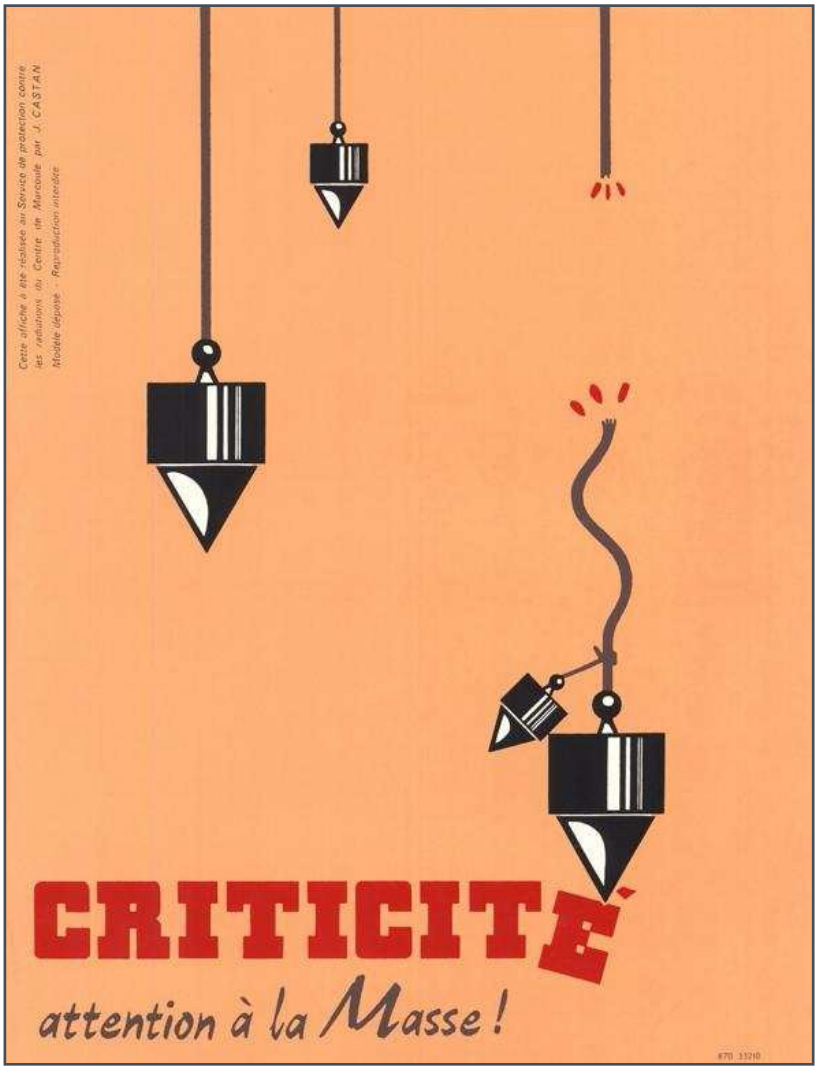
FICHE N°7

MODE DE CONTRÔLE DE LA CRITICITÉ PAR LA MASSE



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.

Domaine d'application

- Le **mode de contrôle de la criticité par la limitation de la masse** conduit à limiter les quantités de matières fissiles présentes dans une unité de travail en toutes circonstances.

- Il n'entraîne aucune contrainte sur la taille des équipements, la concentration en matières fissiles des solutions ou la présence de produits hydrogénés.

- Il est adapté aux laboratoires ou unités de recherche mettant en œuvre de **faibles quantités de matières fissiles**. Il permet la manipulation de matières fissiles en solution ou en présence de matériaux hydrogénés.

- Le respect des limites de masse repose essentiellement sur des **procédures administratives** imposant des **contraintes d'exploitation** sur :
  - La connaissance des matières fissiles ;
  - La comptabilité des matières fissiles ;
  - Les transferts de matières fissiles ;
  - L'accumulation de matières (nettoyage des unités de travail).

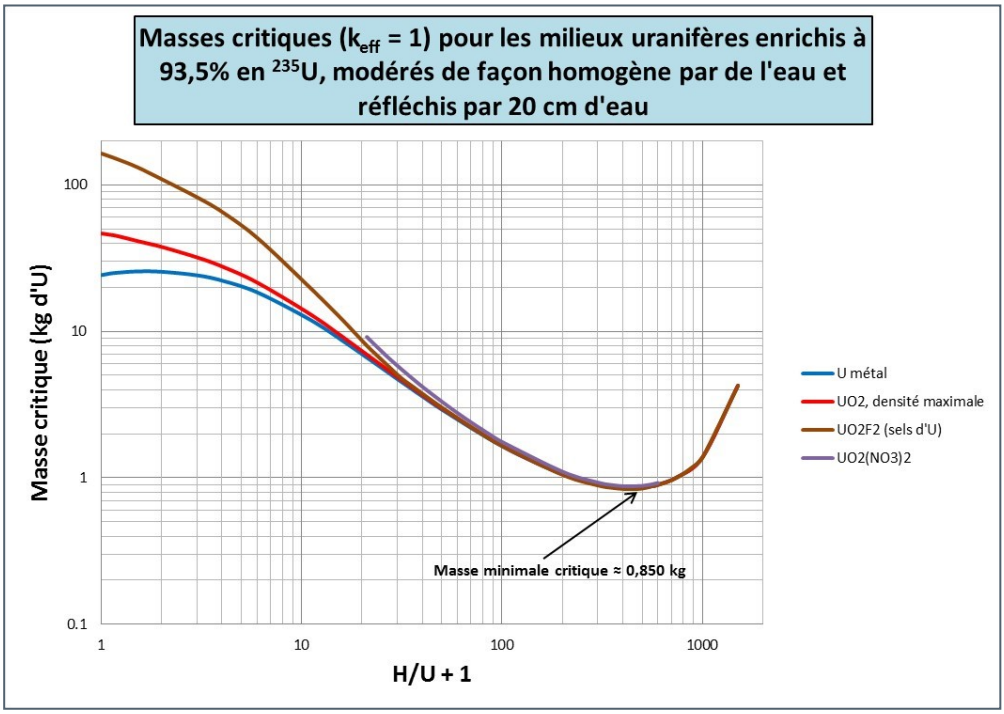
- Il est nécessaire de **limiter les interactions neutroniques** (voir fiche n°16) entre les différentes unités dont la prévention du risque de criticité est garantie, pour chacune d'entre elles, par ce mode de contrôle. A défaut, ces interactions doivent être prises en compte dans la détermination des limites de masses pour chaque unité concernée.

Paramètres

- Le mode de contrôle de la criticité par la masse consiste à limiter, par unité de criticité, un paramètre : la masse de matières fissiles. La **masse minimale critique** est la masse en dessous de laquelle un système est sous-critique quelles que soient sa modération et sa géométrie. Elle correspond au minimum de la courbe :

masse sphérique = $f(H/X)$, pour $k_{eff} = 1$.

- Cette valeur est fonction du **milieu fissile de référence** considéré et des **conditions de réflexion** (voir fiche n°15) .



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.

Détermination des limites

⇨ « *Une masse sûre de matière fissile est fixée par unité de travail. S'il est reconnu que la masse critique peut être atteinte à la suite d'une seule anomalie, conformément au principe* [de double défaillance], *la masse sûre de matière fissile dans l'unité de travail considérée sera égale à la moitié au plus de la masse minimale critique pour le milieu fissile de référence. Cette limite sera éventuellement abaissée pour tenir compte de l'interaction neutronique éventuelle avec les masses de matière fissile présentes dans les unités de travail voisines.* » ***(*)***

⇨ Une **masse minimale critique** peut être déterminée, pour un réflecteur donné :

- En se reportant aux **normes** existantes, qui présentent les valeurs suivantes :
  - La **masse minimale critique M_c** (k_{eff} = 1),
  - La **masse maximale admissible** : valeur de masse qui conduit à une valeur de k_{eff} donnée (critère d'admissibilité), inférieure à 1 : par exemple, 0,95,
  - La **masse sûre** : valeur de masse en dessous duquel le milieu est garanti sous-critique avec une marge de sécurité appropriée, quelles que soient sa modération et sa géométrie. Elle est obtenue par la formule :
    - **$M_{sûre} = M_c \times 0{,}70$** si le risque de double chargement peut être exclu,
    - **$M_{sûre} = M_c \times 0{,}43$** si le risque de double chargement ne peut pas être exclu,
- En réalisant des **calculs spécifiques**, pour prendre en compte des conditions de réflexion particulières ou des interactions possibles avec d'autres unités de travail.

⇨ Le choix de la limite de masse est notamment conditionné par :

- La **marge de sécurité réelle** par rapport à l'état critique, qui dépend du comportement de la courbe de variation du k_{eff} en fonction du paramètre critique (voir fiche n°2) ;
- L'**analyse de sûreté**, qui doit permettre d'identifier si le **risque de double chargement** peut être exclu.

⇨ La limite de masse d'une unité de travail est souvent exprimée en **masse de matières fissiles** (ex : ^{235}U + Pu) ou en masse de matières (U + Pu). Mais elle peut également s'exprimer en masse d'oxyde, par exemple, pour les milieux « poudre ». Cette limite de masse doit avoir un caractère opérationnel et être adaptée aux méthodes de travail. **Attention à exprimer une limite de masse dans une unité claire et non interprétable, en adéquation avec les moyens de mesure et de comptabilité mis en œuvre**.

Exemples de formulations correctes (pour un MFR donné) :

- 350 g de Pu (= masse de tous les isotopes du Pu) ;
- 3 kg d'(U+Pu) (= masse de tous les isotopes d'U et Pu) ;
- 700 g d'^{235}U (= masse de l'isotope 235 de l'U) ;
- 1 kg de (Pu+^{235}U) (= masse de tous les isotopes du Pu et de l'isotope 235 de l'U) ;
- 400 g de PuO_2 (= masse de l'oxyde de Pu, tous isotopes).

Exemples de formulations incorrectes si non précisées au préalable :

- 600 g *(de ?)* ;
- 2 kg de matières fissiles *(lesquelles ? ou alors, préciser ce que recouvre le terme « matières fissiles » dans l'installation)* ;
- 20 g de MFR *(dans le MFR, il y a la matière fissile, mais aussi le modérateur…)*.

Nota : L'optimum de modération pour la masse est obtenu pour une valeur de H/X plus faible que pour l'optimum de modération pour la géométrie.

Nota : L'optimum de modération pour la masse dépend du milieu fissile de référence : pour les milieux uranifères par exemple, il est fonction de l'enrichissement en ^{235}U.

Rappel : La marge de sécurité réelle, par rapport à l'état critique, dépend du comportement de la courbe de variation du k_{eff} en fonction du paramètre critique (voir fiche n°2).

⇨ Les paragraphes suivants présentent des points de vigilance lors de la détermination d'une limite de masse :

- Notion de **double chargement** ;
- Influence de la **nature du réflecteur** ;
- Cas des **milieux « poudre »** ;
- Cas des **milieux fissiles homogènes/hétérogènes**.

(*) Texte issu de la RFS I.3.c, pouvant être sujet à évolution après parution du futur guide de criticité de l'ASN.

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.

Notion de double chargement

⇨ Une introduction ou un transfert de matières fissiles ne doit en aucun cas conduire au dépassement de la limite de masse de l'unité de travail réceptrice. Les analyses de sûreté-criticité doivent étudier toutes les situations dégradées conduisant à un tel dysfonctionnement et prendre les dispositions en conséquence :

- Si un double chargement, c'est-à-dire l'introduction de deux fois la limite de masse autorisée au poste de travail à la suite d'une seule anomalie (principe dit de « double défaillance ») ne peut être exclu, la limite de masse des unités de travail doit être inférieure à la valeur obtenue en appliquant un **coefficient de sécurité de 0,43** à la masse minimale critique ;
- Dans l'hypothèse où un double chargement est exclu (présence de dispositions spécifiques, verrouillage, double contrôle avec deux méthodes différentes et indépendantes…), le **coefficient de sécurité est de 0,70.**

⇨ Exemple : pour de l'U métal homogène enrichi à 5% en ^{235}U, modéré par de l'eau et réfléchi par 20 cm d'eau :

- La masse minimale critique est : M_c = 34,5 kg d'U **(*)**,
- La limite de masse de l'unité de travail est :
  - ♦ Si l'hypothèse d'un double chargement peut être exclue, **$M_{sûre}$ = 0,70 x M_c = 24,1 kg d'U**,
  - ♦ Si l'hypothèse du double chargement ne peut pas être exclue, **$M_{sûre}^{D.C.}$ = 0,43 x M_c = 14,8 kg d'U** : ainsi, en cas de double chargement, la masse ne peut dépasser 29,6 kg d'U et reste sous-critique.

(*) Note SERMA/CP2C/NT/17-6186/A

Nota : Dans certains cas, les limites de masses peuvent s'exprimer par le respect d'un nombre maximal de lots dans une unité de travail. Les marges de sécurité peuvent alors être évaluées en s'assurant que l'introduction d'un lot supplémentaire par rapport à la limite d'exploitation autorisée laisse néanmoins encore une marge acceptable par rapport à la masse minimale critique.

Influence de la nature du réflecteur sur la masse minimale critique

Exemple :

⇨ Installation possédant des cellules blindées en plomb et en béton, manipulant de l'U enrichi à 5 % au maximum, homogène, sous différentes formes physico-chimiques (métal, oxyde…), sans limitation de la quantité de matières modératrices

⇨ Milieu fissile de référence : U métal homogène enrichi à 5% en ^{235}U, modéré de façon homogène par de l'eau

⇨ Les courbes de masse critique en fonction du rapport de modération ont été tracées pour divers réflecteurs : 20 cm d'eau, 60 cm de béton, 25 cm de plomb + 20 cm d'eau

⇨ Les masses minimales critiques et les masses sûres (coefficient de sécurité : 0,7) correspondantes sont **(*)** :

Réflecteur	M_c	$M_{sûre}$
20 cm d'eau	34,5 kg U	24,1 kg U
60 cm de béton (à 8,93% en eau)	29,7 kg U	20,8 kg U
100 cm de béton (à 3% en eau)	30,3 kg U	21,2 kg U
25 cm de plomb + 20 cm d'eau	25,4 kg U	17,8 kg U

(*) Note SERMA/CP2C/NT/17-6186/A

Conclusion :

⇨ La limite de masse de matières fissiles retenue pour chaque cellule de l'installation est **17,8 kg d'U** (enrichi à 5 % au maximum), quelle que soit la quantité de modérateur.

⇨ Cette limite s'entend en considérant que les cellules sont découplées neutroniquement (i.e. qu'il n'y a pas d'interactions neutroniques entre cellules), ce qui doit être vérifié.

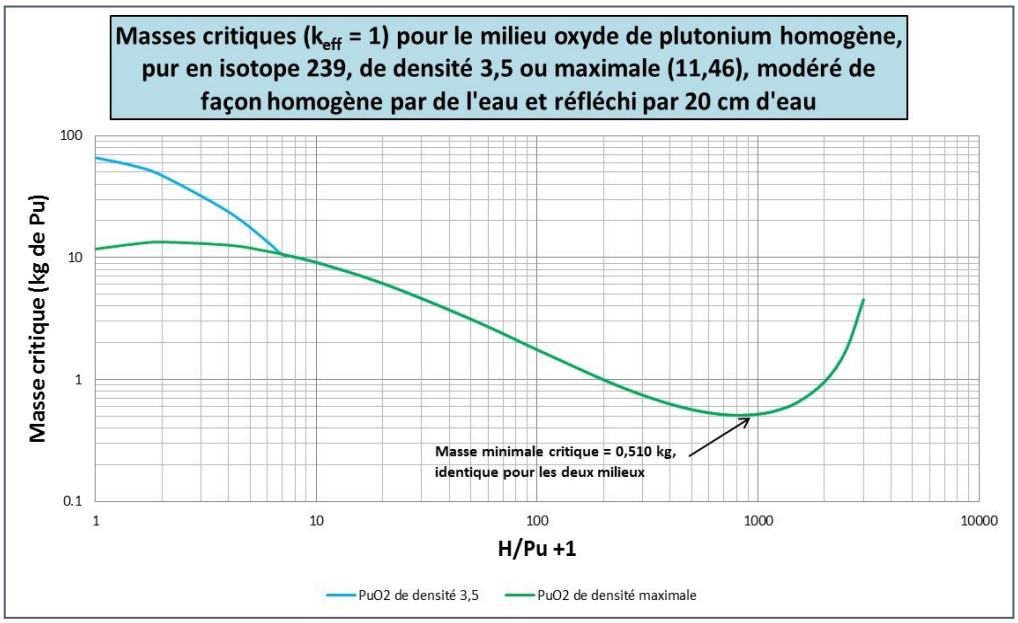
Ce document, élaboré pour la réalisation d'études de sûreté-criticité, est la propriété du CEA. Il ne se substitue en aucun cas à une analyse de sûreté-criticité ou à l'avis d'un ingénieur criticien et ne peut pas servir de référence directe.

Milieux « poudre »

⇨ Pour les milieux « poudre », la variation de la masse critique est fonction de la modération :

- Elle dépend de la densité du produit sec pour les valeurs du rapport de modération inférieures au « palier poudre » (voir fiche n°5) ;
- Au-delà du « palier poudre », le comportement est identique, l'effet de densité ne joue plus et la valeur de la masse minimale critique ne dépend pas de la densité du produit sec.

⇨ La masse minimale critique, obtenue au-delà du « palier poudre », ne dépend donc pas de la densité du produit sec (voir figure ci-après).

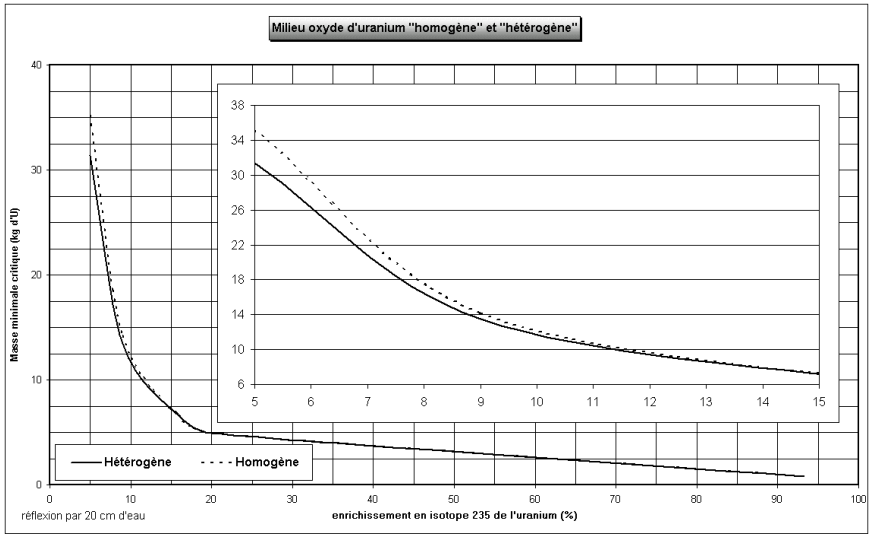


À retenir :
Pour les milieux poudre, la masse minimale critique ne dépend pas de la densité de la poudre à sec.

Milieu homogène et milieu hétérogène

⇨ Comparaison entre l'oxyde d'uranium sous forme d'un milieu dit **(*)** :

- « Homogène » : mélange homogène d'oxyde d'uranium et d'eau (densité 10,96) ;
- « Hétérogène » : pastilles d'oxyde d'uranium (densité 10,96) non gainées, dans de l'eau à l'optimum du couple ($R_{pastille}$, R_{eau}), $R_{pastille}$ étant le rayon de l'oxyde et R_{eau} le rayon externe de la couronne d'eau entourant la pastille.



Variation de la masse minimale critique d'un milieu UO_2–H_2O homogène et hétérogène, en fonction de l'enrichissement en ^{235}U de l'uranium

À retenir :
Pour un milieu UO_2, la masse minimale critique du milieu hétérogène est plus faible que celle du milieu homogène pour les faibles enrichissements (< 20 %).

Il en va de même pour les milieux mixtes $U_{nat}O_2$+PuO_2 : le milieu hétérogène est plus pénalisant pour les faibles teneurs en Pu.

(*) Note SEC/T/9000/94.149

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.

Dispositions garantissant le respect du mode de contrôle de la criticité

⇨ « *Une évaluation de la masse totale de matière fissile présente dans l'unité de travail sera faite dans le but de vérifier que cette masse est à tout instant inférieure ou égale à la limite fixée. Pour éviter une accumulation excessive de matière fissile, des examens réguliers de l'unité de travail, et, si nécessaire, des nettoyages seront effectués.* » ***(*)***

⇨ Pour cela, il faut :

- Définir et délimiter **l'unité de travail** ;
- Afficher les **limites de masses de matières fissiles autorisées** dans l'unité de travail (consignes) ;
- Mettre en place une **procédure de gestion des transferts** qui permet de **:**
  - ♦ Garantir que la **masse de matière fissile affectée au produit** entrant dans l'unité de travail est supérieure ou égale à celle réellement présente dans le produit en prenant en compte les incertitudes de mesures,
  - ♦ Garantir que le **produit** entrant dans l'unité de travail est bien celui qui était **prévu**,
  - ♦ Garantir une **bonne comptabilisation de la quantité de matière fissile** présente dans l'unité de travail, afin de s'assurer, à tout instant, que la masse de matière fissile est bien inférieure ou égale à celle autorisée ;
- Mettre en place une **procédure de gestion des accumulations de matières** (nettoyages et remise à zéro de la comptabilité après constat de vacuité) ;
- S'assurer de l'absence d'**interactions neutroniques** entre les différentes unités de travail, sinon en tenir compte dans les analyses de sûreté-criticité.

Unité de travail

⇨ La RFS I.3.c définit l'**unité de travail (UT)** comme une « *partie de l'installation dont le contour est matérialisé et à l'intérieur de laquelle se trouve une masse limitée de matière fissile* ». ***(*)***

⇨ L'unité de travail correspond à une unité de criticité dont le mode de contrôle est la masse. Chaque unité de travail est définie et matérialisée et **une masse sûre est fixée par unité de travail**.

Exemples d'unités de travail :
- Un appareil (ex : cuve) ;
- Une boîte à gants ;
- Un ensemble de boîte à gants ;
- Une cellule.

⇨ Il est important de :

- Déterminer de manière précise le périmètre physique de chaque unité de travail (limite d'exploitation) ;
- Définir clairement la notion de mouvement ou de transfert entre les unités de travail, en particulier le terme « mouvement » qui peut porter à confusion (tout objet en dehors d'une unité de travail est considéré en mouvement même s'il est posé au sol) ;
- Lorsque qu'un transfert d'une unité de travail vers une autre nécessite le passage dans une troisième unité de travail, il faut décomposer le transfert en deux mouvements avec les déclarations associées (demandes et autorisations).

Consignes : affichage des limites de masses de matières fissiles autorisées

⇨ **Afficher la limite de masse** autorisée dans l'unité de travail (limite d'exploitation), en précisant les matières fissiles autorisées et les caractéristiques physico-chimiques (ex : enrichissement en isotope 235 de l'uranium).

A AFFICHER : Limite d'exploitation autorisée dans l'unité de travail

⇨ L'unité de travail concernée par la limite de masse doit être parfaitement identifiée et identifiable.

⇨ Les interfaces entre les différentes unités de travail doivent être clairement identifiées et parfaitement maîtrisées.

(*) Texte issu de la RFS I.3.c, pouvant être sujet à évolution après parution du futur guide de criticité de l'ASN.

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.

Gestion des transferts : détermination de la masse de matière fissile affectée au produit entrant dans l'unité

⇨ Déterminer la quantité de matière fissile dans le produit qui doit être transféré, ceci de manière pénalisante au regard du risque de criticité (si possible en excès), en prenant en considération comme matière fissile :

- L'uranium 235, dès lors que l'enrichissement de l'uranium est supérieur à 1 %, et également si cet uranium est sous forme de réseaux de barreaux disposés dans du graphite ou dans de l'eau ordinaire ou enrichie en eau lourde) ;
- Le plutonium, tous isotopes confondus ;
- L'uranium 233 ;
- Les actinides mineurs, dès lors qu'ils ont été obtenus suite à un procédé de séparation.

⇨ Lorsque c'est possible, mettre en place un double contrôle. Sinon, l'analyse de sûreté-criticité doit démonter que l'absence de double contrôle est acceptable compte tenu de la présence d'un nombre suffisant de lignes de défense.

⇨ Utiliser des méthodes adaptées et fiables en prenant en considération les incertitudes de mesure dues à la méthode utilisée ; dans ce cas, toutes les difficultés liées à la mesure doivent être étudiées :

- Perturbations du résultat de la mesure dues aux équipements ou aux structures à mettre en place pour réaliser la mesure (utilisation d'un caisson, d'un puits, d'une cellule blindée, présence de plomb, d'eau…), à la configuration géométrique du produit, à l'homogénéité de la matière fissile dans le produit ou à sa nature physico-chimique (présence d'une matrice atténuante, isotopes radioactifs non fissiles…) ;
- Vérification des dérives ;
- Périodicité des contrôles et des étalonnages de l'appareil de mesure ;
- Validité et représentativité des échantillonnages d'une solution (brassage correct, plusieurs prises d'échantillons à différents endroits de la cuve…) ;
- Prise en compte du retour d'expérience des mesures ;
- ...

⇨ Il est possible de réaliser un dossier de qualification de mesure dès lors que le moyen de mesure est un élément contribuant à garantir le respect des limites de masse :

- Description du système de mesure ;
- Définition du domaine d'utilisation ;
- Fonction(s) de transfert retenue(s) et leur domaine d'utilisation ;
- Évaluation des incertitudes de mesure (et intervalle de confiance associé) ;
- Résultats d'étalonnage utilisés pour définir le domaine d'utilisation et montrant le respect des incertitudes de mesure ;
- REX de ce système de mesure ;
- Contrôle et essais périodiques (contrôles d'étalonnage, réétalonnage…).

⇨ Comparer les résultats obtenus par la mesure, lorsque c'est possible, avec la fiche de suivi du produit ; dans le cas où un tel double contrôle ne peut pas être effectué, prendre des dispositions particulières ou des marges de sécurité supplémentaires.

⇨ Comptabiliser la matière fissile présente dans le combustible **neuf** et non la quantité de matière fissile donnée par les calculs d'évolution, ce qui permet d'obtenir une marge de sécurité supplémentaire due à la diminution de la réactivité du combustible nucléaire irradié, suite aux changements qui interviennent dans sa composition pendant l'irradiation (combustion des noyaux fissiles et la formation de produits de fission, dont quelques-uns très absorbants : voir fiche n°4).
Nota : ceci ne peut pas être appliqué aux couvertures fertiles des combustibles RNR (formation de Pu lors de l'irradiation).

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.

Gestion des transferts : garantie que le produit livré est celui qui était prévu

Il faut s'assurer, par un **double contrôle** si possible, que les dispositions mises en place permettent de **garantir que le produit qui entre dans une unité de travail est bien celui qui était prévu** :

⇨ Par des méthodes adaptées et fiables, généralement un logiciel de suivi des transferts de matières fissiles :
- Comparaison avec des fiches de suivi ;
- Interdiction de certains transferts…

⇨ Par des fiches d'émission et de réception, visées par l'unité émettrice et l'unité réceptrice, chacune des deux unités ayant par ailleurs vérifié, respectivement, que le produit à livrer et le produit livré est le bon.

Bonne comptabilité de la matière fissile dans l'unité de travail

Il est nécessaire de **garantir**, à tout instant, **que la masse de matière fissile présente dans l'unité de travail est bien inférieure à la limite d'exploitation**. Pour cela, il convient de :

⇨ Déterminer par excès la masse de matière fissile présente dans l'unité de travail (démonstration du caractère enveloppe de l'estimation de cette masse de matières fissiles)

Limite d'exploitation autorisée dans l'unité de travail
à comparer à :
Estimation de la masse de matière fissile présente dans l'unité de travail

⇨ Afficher, en temps réel, cette estimation de masse de matière fissile présente dans l'unité de travail

⇨ Mettre en place une comptabilité spécifique à la maîtrise du risque de criticité, soit indépendante, soit intégrée à la comptabilité « GMN » (Gestion des Matières Nucléaires) (dans ce dernier cas, les objectifs et les particularités liées à cette double gestion doivent être clairement exprimés) :
- Effectuer un bilan entrée/sortie, en intégrant les incertitudes de mesures ($\Delta_{entrée}$ et Δ_{sortie}) et la masse en rétention ($M_{rétention}$), par exemple sous cette forme :

$$M_{présente\ dans\ l'unité\ de\ travail} = (M_{entrée} + \Delta_{entrée}) - (M_{sortie} - \Delta_{sortie}) + M_{rétention}$$

masse entrante mesurée majorée de l'incertitude — masse sortante mesurée minorée de l'incertitude — masse en rétention

- S'il n'est pas possible d'effectuer une comptabilité de la matière fissile qui demeure en rétention, il faut prendre des marges de sécurité supplémentaires. En particulier, on peut être amené à diminuer la limite de masse ;
- Si les incertitudes de mesure de la masse ne sont pas prises en compte dans l'estimation de la masse totale dans l'unité de travail, il faut justifier la pertinence de ce choix. En particulier, on peut être amené à diminuer la limite de masse.

Nota : La « Gestion des Matières Nucléaires » (GMN) et la comptabilité spécifique à la maîtrise du risque de criticité utilisent des données communes (nature de l'élément, isotopie, masse, méthode de détermination, identification du produit…) mais **ont des objectifs antagonistes** :
- La GMN a pour objectif de connaître les quantités de matières nucléaires au plus vrai et au plus près de la réalité (pas de prise en compte des incertitudes de mesure) ;
- L'estimation des quantités de matières fissiles pour la maîtrise du risque de criticité est toujours déterminée de manière enveloppe pour un produit donné (prise en compte des incertitudes de mesure).

Il faut donc être vigilant quant à l'utilisation de valeurs issues de la GMN lorsqu'il s'agit d'estimer des masses de matières fissiles pour la sûreté-criticité.

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.

Prise en compte de l'accumulation de matières fissiles dans l'unité de travail

Il est conseillé :

⇨ Un nettoyage des appareils, ainsi que des filtres des systèmes de ventilation ou de boîte à gants, et des cellules de manière régulière. La fréquence de ce nettoyage est souvent liée à la masse cumulée estimée. Elle dépend des méthodes de travail de l'unité concernée. Elle doit être définie lors de l'analyse et dépend de la rétention.

⇨ Pour les cuves, plusieurs possibilités :

- Inspection visuelle de l'intérieur des cuves afin de vérifier l'absence de rétention ou d'accumulation de matières fissiles ;
- Analyse des solutions dans les fonds de cuves et des solutions issues des opérations de rinçage, en garantissant la représentativité des prises d'échantillons ;
- Mise en place de compteurs neutroniques sous les cuves, lorsqu'il est possible de les utiliser pour détecter de la matière fissile ;
- Volumes morts : imposer un volume sûr ou, à défaut, un brassage des solutions pour éviter toute accumulation de matières fissiles en fond de cuve.

⇨ Pour les opérations mécaniques :

- Mise en place de plan de travail facilitant la récupération de la matière fissile (bacs de rétention, plan de travail avec pente vers un pot de récupération, …) ;
- Utilisation d'aspirateurs (de préférence de géométrie sûre) ;
- Changement des filtres (de préférence de géométrie sûre) ou vidange des aspirateurs dès lors que X g de matières fissiles ont transité dans l'unité de travail ou lorsque les masses en transit sont importantes, en se basant sur la rétention dans la boîte à gants obtenue à partir du bilan de masse entrée/sortie.

⇨ Mise en place d'un point zéro, dont la périodicité devra être argumentée, et justification des cas pour lesquels une remise à zéro n'est pas strictement possible compte tenu de la rétention de la matière fissile.

⇨ Contrôle périodique de l'étalonnage et connaissance de la précision des moyens de mesures utilisés. Tout changement de moyen de mesure nécessite une évaluation de son impact potentiel sur la masse mise en œuvre.

⇨ Pour la conception des équipements :

- Facilité de nettoyage (BàG à coins arrondis, accessibilité…) ;
- Inspection visuelle facilitée ;
- Exclusion autant que possible des zones mortes ;
- Avant mise en service, il est peut être utile de prévoir une mesure à blanc de l'unité afin de déterminer l'atténuation due aux équipements.

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.

Interactions neutroniques

⇨ Prendre en considération, dans les justifications de sûreté-criticité, les possibles interactions neutroniques entre les unités de travail voisines ou les convoyeurs (lorsque, par exemple, une cellule blindée possède plusieurs unités de travail) ou garantir une distance suffisante pour permettre d'exclure toute interaction neutronique.

⇨ Étudier, si nécessaire, les interactions neutroniques entre la matière en cours de transfert et la matière présente dans l'unité de travail.

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).

⇨ À titre d'exemple, les notes CSIA 66-216 et 68-304 (et leur version reformulée) précisent qu'il est permis de juxtaposer, sur une seule couche, un nombre quelconque d'unités de travail, 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.

Pour plus d'informations à ce propos, se reporter à la fiche n°16.

Conseils additionnels relatifs aux transferts

⇨ Lors des transferts : temporisation de plusieurs minutes bloquant le logiciel après la déclaration de transfert.

⇨ Comptabiliser la matière fissile dans les 2 unités de travail concernées jusqu'à ce que le transfert soit effectif. La masse n'est soustraite de l'unité émettrice que lorsque la fin de mouvement est déclarée (présence de la matière dans l'unité de criticité réceptrice).

⇨ En cas de présence d'un convoyeur dans une chaîne de cellules blindées, il faut soit :

- Vérifier que, pour chaque cellule traversée :

$$M_{\text{présente dans l'unité de travail}} + M_{\text{présente dans le convoyeur}} \leq \text{Limite d'exploitation autorisée}$$

- Sinon, vérifier les possibles interactions neutroniques entre le convoyeur et la quantité de matières fissiles maximale autorisée dans la cellule.

Exemple : Certaines installations retiennent une limite de masse de matières fissiles par transfert : pour un milieu fissile dont la masse minimale critique est de 870 g d'U, la limite autorisée dans les cellules est fixée à 350 g et celle correspondant à un transfert entre cellules à 200 g. Ainsi, si un transfert est réalisé dans une cellule contenant 350 g de matières, la quantité totale de matière dans la cellule est au maximum de 350 + 200 = 550 g, valeur inférieure à la masse sûre de 600 g (= 870 g x 0,70).

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.