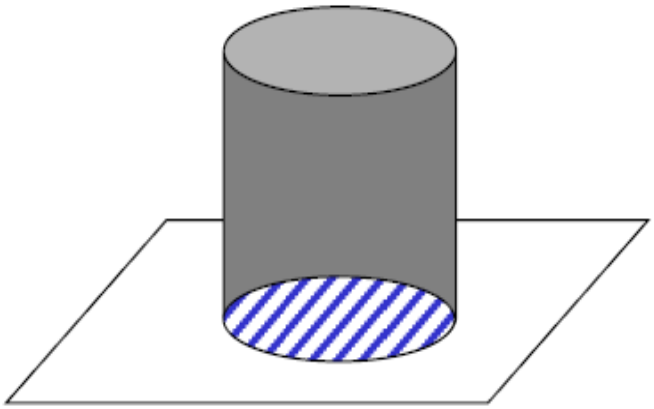
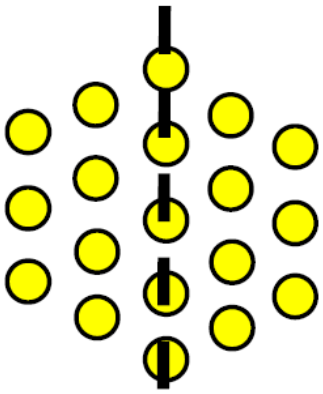
FICHE N°14

DENSITÉ SURFACIQUE ET NOMBRE DE CRAYONS EN FAGOT





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.

⇨ Cette fiche présente deux **déclinaisons opérationnelles** d'un mode de contrôle par la masse et la géométrie :

- La limitation de la **densité surfacique** ;
- La limitation du **nombre de crayons**.

DENSITÉ SURFACIQUE

Domaine d'application

⇨ La prévention du risque de criticité de certains **entreposages de déchets solides** pauvres en matières fissiles (cotons, vinyle, chiffons,…), pour lesquels la matière fissile est répartie de manière relativement homogène dans le volume des conteneurs, est garantie par la limitation de la **masse par unité de surface**, également appelée « **densité surfacique** » ou « **densité de surface** »

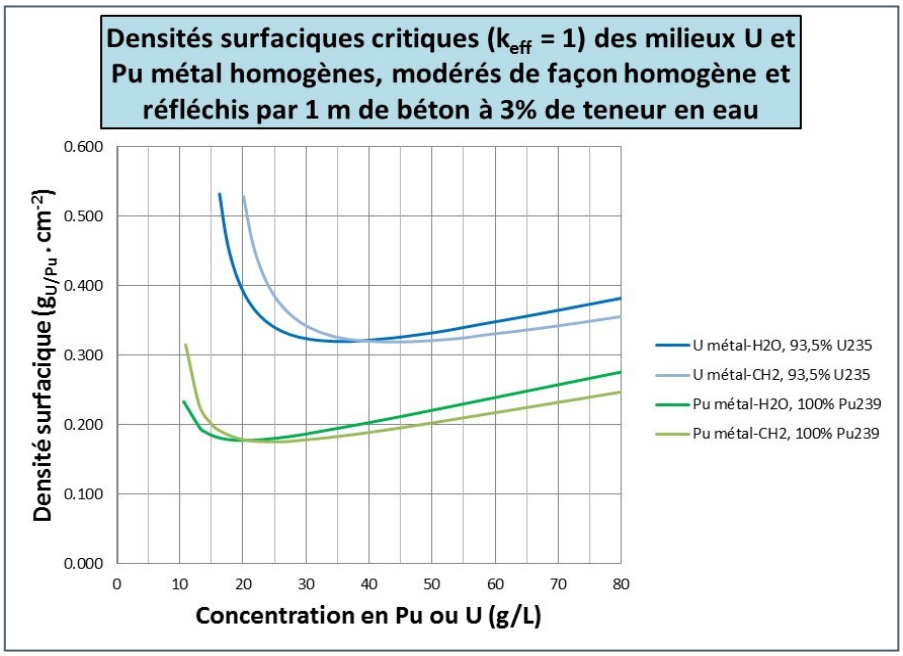
- Stricto sensu, la densité surfacique est calculée sur la base d'une concentration en matières fissiles dans le conteneur associée à la géométrie de l'entreposage ;
- Opérationnellement, une limitation de la densité surfacique se traduit par une limitation de **masse de matières fissiles par conteneur** associée à la **géométrie (diamètre interne des conteneurs et nombre de niveaux de l'entreposage)**, i.e. la masse de matières fissiles projetée sur la surface de base du conteneur : voir chapitre « Dispositions garantissant le respect du mode de contrôle » ;
- Les entreposages peuvent être de surface infinie à plusieurs niveaux (gerbage des fûts).

Paramètres

⇨ Les limites de masse par unité de surface ou densité de surface (d) sont obtenues en faisant le produit de l'épaisseur d'une plaque de section infinie par la concentration en matières fissiles.

⇨ **Masse par unité de surface (ou densité surfacique) minimale critique** : la densité surfacique minimale critique est le produit de l'épaisseur critique de plaque de section infinie par la concentration en matières fissiles. Elle correspond à la densité surfacique en dessous de laquelle un système est sous-critique quelle que soit sa modération (minimum de la courbe densité = *f* (concentration) pour k_{eff} = 1).

⇨ Cette valeur est fonction du **milieu fissile de référence** (voir fiche n°4) et du **matériau réflecteur** considéré.



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

⇨ Les limites de densité surfacique peuvent être déterminées :

- En se reportant aux **normes** existantes, qui permettent de calculer, via le produit de l'épaisseur de plaque de section infinie par la concentration en matières fissiles :
  - La **densité surfacique limite critique** (k_{eff} = 1),
  - La **densité surfacique maximale admissible** : valeur de densité surfacique qui conduit à une valeur de k_{eff} donnée (critère d'admissibilité), inférieure à 1 : par exemple, 0,95,
  - La **densité surfacique sûre** : elle est obtenue en appliquant à la masse par unité de surface ou à la densité minimale critique le coefficient de sécurité de 0,7 (ou 0,43 pour prendre en compte un risque de double chargement, de manière analogue au contrôle par la de la masse) ;
- En traçant la courbe de densité surfacique en fonction de la concentration (cf. page précédente), pour la valeur de k_{eff} souhaitée.

Valeurs usuelles pour des milieux fissiles métalliques modérés de manière homogène par de l'eau

	Densité surfacique minimale critique		Densité surfacique sûre (x 0,7)	
Milieu fissile	Réflexion par 20 cm d'eau	Réflexion par 1 m de béton à 3% en eau	Réflexion par 20 cm d'eau	Réflexion par 1 m de béton à 3% en eau
^{239}Pu	0,261 g/cm^2	0,177 g/cm^2	0,182 g/cm^2	0,123 g/cm^2
U à 93,5 % d'^{235}U	0,460 g/cm^2	0,320 g/cm^2	0,322 g/cm^2	0,224 g/cm^2

cf. notes SERMA/CP2C/NT/17-6169/A et 16-6014/A

⇨ Certains matériaux, fréquemment rencontrés dans les déchets, ont un pouvoir de modération plus important que l'eau : ils conduisent à des valeurs de densité surfacique plus faibles. Pour la densité surfacique, c'est par exemple le cas du graphite (C), du téflon (C_2F_4) et parfois du polyéthylène ($(CH_2)_n$).

Densité surfacique minimale critique Réflexion par 1 m de béton à 3% en eau			
^{239}Pu-H_2O	0,177 g/cm^2	U(93,5%)-H_2O	0,320 g/cm^2
^{239}Pu-CH_2	0,175 g/cm^2	U(93,5%)-CH_2	0,319 g/cm^2
^{239}Pu-C	0,035 g/cm^2	U(93,5%)-C	0,061 g/cm^2

cf. notes SERMA/CP2C/NT/17-6169/A, 17-6171/A, 17-6173/A, 16-6014/A, 17-6194/A et 17-6195/A

⇨ D'autres matériaux ont un pouvoir d'absorbant neutronique ; c'est le cas de l'acier.
Ex : pour le milieu Pu-Graphite, pour des réseaux plans infinis de fûts de 100 L réfléchis par du béton sur les deux faces, en fonction de l'épaisseur des parois en acier :

Épaisseur d'acier (mm)	Densité surfacique minimale critique	Densité surfacique sûre (x 0,7)
0	0,036 g/cm^2	0,025 g/cm^2
0,5	0,11 g/cm^2	0,077 g/cm^2
0,7	0,14 g/cm^2	0,10 g/cm^2

cf. note SEC/T/95.057 (attention, valeurs obtenues à l'aide d'anciennes versions de codes et pour du béton à 8,93% en eau)

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

⇨ C'est un mode de contrôle qui associe, opérationnellement, une limite supérieure de masse et une limite inférieure de géométrie. Cette association entraîne donc des contraintes en exploitation pour garantir :

- Les **masses de matières fissiles** par conteneur ;
- La **géométrie (section interne) de chaque conteneur**, ainsi que **de l'entreposage** en cas de gerbage (nombre d'étages) ;
- La **répartition homogène de la matière fissile** dans les conteneurs.

⇨ Les dispositions relatives à la comptabilité de la masse de matières fissiles sont applicables (voir fiche n°7). En particulier, la quantité de matières fissiles dans les fûts de déchets doit être mesurée avant entreposage et les incertitudes de mesure doivent être intégrées dans les masses de matières fissiles comptabilisées.

⇨ Le contrôle par la densité surfacique :

- est adapté pour la prévention du risque de criticité de fûts/cuves contenant des faibles masses de matières fissiles, réparties de manière homogène (ex : déchets ou boues d'effluents contaminés α contenant quelques grammes à dizaines de grammes de noyaux fissiles) ;
- Ne peut être utilisé pour des conditionnements de déchets « riches » en matières fissiles, et/ou dont la matière fissile n'est pas répartie de manière homogène.

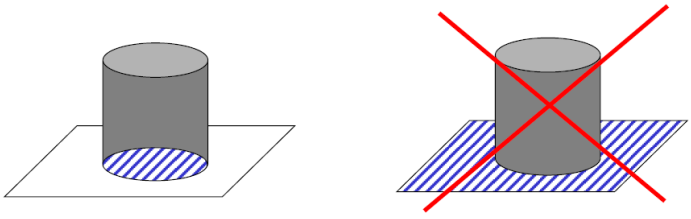
Exemple de calcul de la limite de masse de matières fissiles par colis à partir de la limite de densité surfacique, compte tenu de la surface au sol du colis et du nombre de colis gerbés

⇨ Entreposage sur 4 (N) niveaux de fûts cylindriques de 100 litres de diamètre interne 46 cm (Φ_i) dans le respect d'une densité surfacique de 0,182 g/cm² (d), correspondant à la valeur sûre pour le milieu fissile ^{239}Pu-H_2O en réflexion par 20 cm d'eau.

⇨ La masse maximale de matières fissiles par fût est de **75 g** : elle est calculée par :

$$M = \frac{1}{N} \times d \times \left(\frac{\pi \times \Phi_i^{\,2}}{4}\right)$$

⇨ **IMPORTANT :** la surface retenue pour le calcul doit correspondre à celle où est **réellement présente la matière fissile** (la surface interne des fûts, pas celle de tout l'entreposage).



⇨ La limitation de la densité surfacique n'est pas le seul moyen de justifier la sous-criticité d'un entreposage de colis de déchets. Des associations {masse + géométrie} et {géométrie + empoisonnement} sont notamment possibles (voir fiche n°11).

⇨ Des calculs spécifiques peuvent être réalisés, prenant en compte :

- Les dimensions des conteneurs ;
- La nature des conteneurs (présence d'acier qui joue un rôle d'absorbant…) ;
- Une limite de masse de matières fissiles par conteneur ;
- Une limite de la quantité de matières modératrices (graphite, vinyles, etc…) ;
- La présence de matériaux neutrophages…

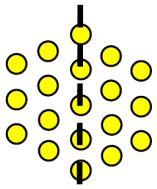
Ce document, élaboré pour la réalisation d'études de sûreté-criticité, est la propriété du CEA. Il ne se substitue en aucun cas à une analyse de sûreté-criticité ou à l'avis d'un ingénieur criticien et ne peut pas servir de référence directe.

NOMBRE DE CRAYONS EN FAGOT

Domaine d'application

⇨ La prévention du risque de criticité dans certaines parties d'installation de fabrication de combustible est garantie par la limitation du **nombre de crayons** manipulés (de longueur quelconque).

- Stricto sensu, le nombre de crayons est calculé sur la base d'une concentration en matières fissiles associée à la géométrie (section du fagot de crayons) ;
- Opérationnellement, il s'apparente à un mode de contrôle par la **masse** (gestion d'un **nombre d'objets**, comptabilité…) associée au respect d'un **milieu fissile de référence de type « crayon »** de caractéristiques géométriques données (voir fiche n°4).



Paramètres

⇨ Les nombres de crayons minimal critique et maximal admissible sont obtenus à partir d'un calcul de norme de diamètre d'un cylindre, pour un milieu fissile de référence sous forme de crayons dans un modérateur (ex : eau).

⇨ Cette valeur est fonction de la nature et des caractéristiques géométriques du milieu fissile de référence, notamment du diamètre du crayon contenant la matière fissile, de la nature et de l'épaisseur du matériau de gainage (s'il est pris en compte) et du matériau réflecteur pris en considération.

⇨ Ce mode de contrôle peut également être associé à un mode de contrôle par la modération (absence ou limitation de la quantité des matières modératrices) pour en détendre les limites.

Exemple de calcul d'un nombre maximal de crayons d'oxyde d'uranium

⇨ Milieu fissile de référence : réseau de crayons d'oxyde d'uranium enrichi à 7,5%, de densité maximale, non gainés, dans de l'eau.

⇨ Réflexion par 20 cm d'eau.

⇨ Critère de k_{eff} : 0,95.

Diamètre de crayon	6 mm	8 mm	10 mm
Nombre de crayon maximal admissible	137	89	65

cf. note SERMA/CP2C/NT/12-5472/A

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.