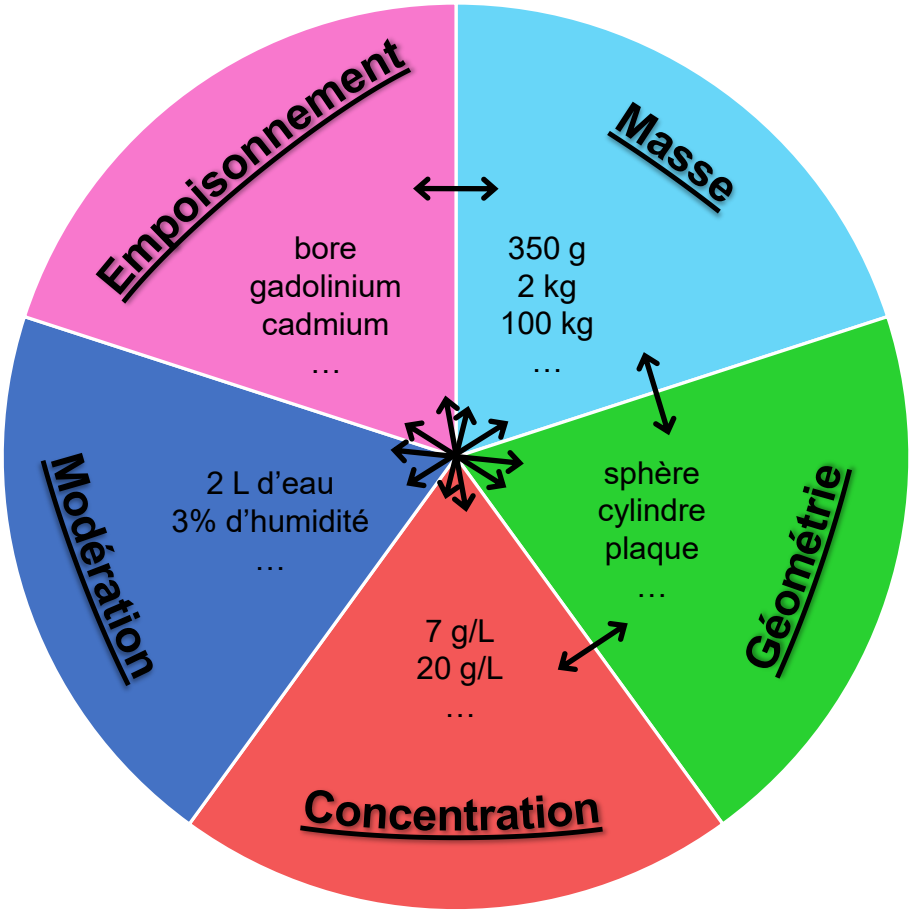
FICHE N°11

MODES DE CONTRÔLE DE LA CRITICITÉ ASSOCIÉS



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

⇨ Il est possible de faire intervenir **plusieurs modes de contrôle** pour garantir la prévention du risque de criticité : on parle alors de **MODES DE CONTRÔLES ASSOCIÉS**.

⇨ Les principales associations de modes de contrôle par paires sont les suivantes :

- **Masse** + **modération** ;
- **Masse** + **géométrie** ;
- **Masse** + **concentration** ;
- **Masse** + **empoisonnement** ;
- **Géométrie** + **modération** ;
- **Géométrie** + **concentration** ;
- **Géométrie** + **empoisonnement** ;
- **Concentration** + **empoisonnement** ;

⇨ Il est également possible d'associer 3 ou 4 modes de contrôle entre eux (voir ci-après).

⇨ L'association de plusieurs modes de contrôle de la criticité :

- Permet une **augmentation de la limite qui serait obtenue en ne contrôlant qu'un seul paramètre** *(ex : augmentation de la masse maximale admissible en associant, au mode de contrôle par la masse, une limitation de la modération)* ;
- Nécessite le **respect impératif des contraintes de conception et/ou d'exploitation de chacun des modes de contrôle associés**.

☞ *Pour plus d'informations sur les particularités et contraintes associées aux différents modes de contrôle : voir fiches n°7 (masse), n°8 (géométrie), n°9 (concentration), n°10-12 (modération) et n° 13 (empoisonnement)*

⇨ De même que pour un mode de contrôle unique, les limites sont fixées pour un **milieu fissile de référence** (voir fiche n°4), en tenant compte de l'**environnement réflecteur** (voir fiche n°15) et des **interactions neutroniques** (voir fiche n°16).

Association de deux modes de contrôle de la criticité

Masse + modération

⇨ Ce mode de contrôle fait l'objet de la fiche n°12.

Masse + géométrie

⇨ Le mode de contrôle de la criticité par la masse et la géométrie consiste à limiter deux paramètres :

- La **masse** de matières fissiles ;
- Les **dimensions géométriques** de la matière fissile ou des équipements contenant la matière fissile ;

⇨ Selon le cas, il permet :

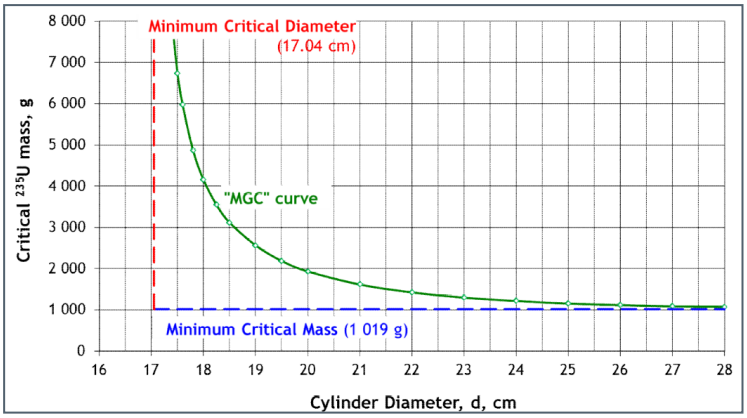
- Pour un équipement en mode de contrôle par la masse, d'y **augmenter la limite de masse**, moyennant le respect de contraintes géométriques et des exigences attenantes (dimensionnement, fabrication, suivi en service…) ;
- Pour un équipement en mode de contrôle par la géométrie, d'en **augmenter les dimensions**, moyennant le respect d'une masse limitée de matières fissiles et des exigences attenantes (comptabilité des matières, gestion des transferts…).

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.

⇨ Il ne présente d'intérêt que **si les dimensions géométriques de l'équipement restent suffisamment limitées** au regard du diamètre de la sphère correspondant à la masse maximale admissible (à l'optimum de modération).

Exemple : U métal enrichi à 20 % d'^{235}U, modéré par de l'eau et en réflexion totale par de l'eau (k_{eff} = 1)

- Masse minimale critique : ~ 1 kg d'^{235}U (5 kg d'U) ;
- Un diamètre limité à 27 cm ne permet pas une augmentation sensible de cette limite de masse ;
- Un diamètre limité à 22 cm permet de rendre sous-critique une masse d'environ 1,5 kg d'^{235}U (7,5 kg d'U) ;
- Un diamètre limité à 18 cm permet de rendre sous-critique une masse d'environ 4 kg d'^{235}U (20 kg d'U) ;
- Un diamètre limité à 17 cm permet de rendre sous-critique toute masse d'^{235}U (contrôle par la géométrie).



ICNC 2015 : G. Caplin & M. Duluc, *Anomalies of the fissile mass control inside a controlled geometry leading to important safety margins*

⇨ Il existe des applications particulières apparentées à ce mode de contrôle (voir fiche n°14) :
- La **densité surfacique** ;
- Le **nombre de crayons en fagot**.

Masse + concentration

⇨ Le mode de contrôle de la criticité par la masse et la concentration consiste à limiter deux paramètres :
- La **masse** de matières fissiles ;
- La **concentration** en matières fissiles dans la solution.

⇨ En général, il est utilisé pour déterminer :
- La limite de masse de matières fissiles d'un **premier milieu fissile**…
- … présent dans une solution constituée d'un **second milieu fissile**, compte tenu de la concentration en matières fissiles dans ce dernier.

⇨ Ce cas peut être rencontré pour des opérations de **dissolution de combustibles** ou de **remise en solution de précipités**, par exemple.

Géométrie + modération

⇨ Le mode de contrôle de la criticité par la géométrie et la modération consiste à limiter deux paramètres :
- Les **dimensions géométriques** de la matière fissile ou des équipements contenant la matière fissile ;
- La **modération** de la matière fissile.

⇨ Il ne présente d'intérêt que si le paramètre géométrique maximal admissible est obtenu pour une valeur de modération supérieure à la limite appliquée à la quantité de modérateur (cf. Annexes des notes de normes).
- ^{239}Pu métal modéré par de l'eau (note SERMA/CP2C/NT/17-6169/A): $(H/X)_{optimum}$ = 0 => aucun intérêt ;
- Pour des milieux moins denses (ex : poudres de densité limitée) et/ou moins enrichis (ex : U enrichi à quelques % d'^{235}U), il peut y avoir un intérêt si la quantité de modérateur est limitée à une valeur inférieure au $(H/X)_{optimum}$ correspondant à l'optimum de géométrie.

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.

Géométrie + concentration

⇨ Le mode de contrôle de la criticité par la géométrie et la concentration consiste à limiter deux paramètres :

- Les **dimensions géométriques** de la matière fissile ou des équipements contenant la matière fissile ;
- La **concentration** en matières fissiles dans la solution.

⇨ Selon le cas, il permet :

- Pour un équipement en mode de contrôle par la concentration, d'y **augmenter la limite de concentration**, moyennant le respect de contraintes géométriques et des exigences attenantes (dimensionnement, fabrication, suivi en service…) ;
- Pour un équipement en mode de contrôle par la géométrie, d'en **augmenter les dimensions**, moyennant le respect d'une concentration limitée en matières fissiles et des exigences attenantes (suivi périodique de la concentration, gestion des risques de sur-concentration, précipitation...).

⇨ Il ne présente d'intérêt que **si les dimensions géométriques de l'équipement restent suffisamment limitées**.

Modes de contrôle associant l'empoisonnement

⇨ Le mode de contrôle par l'empoisonnement est toujours associé à un ou plusieurs autre(s) mode(s) de contrôle.

⇨ Les dispositions relatives au mode de contrôle par l'empoisonnement, qu'il soit homogène ou hétérogène, font l'objet de la fiche n°13.

Associations complexes de modes de contrôle de la criticité

⇨ Pour des applications particulières, il est également possible d'associer 3 ou 4 modes de contrôle entre eux :

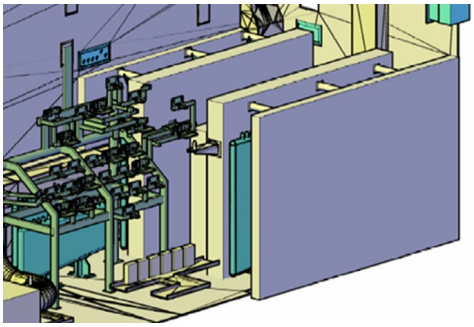
- Ex. 1 : entreposage de poudres de PuO_2 en boîtes dans des étuis/conteneurs à La Hague : contrôle par :
  - La masse de matières fissiles par boîte, ainsi que le nombre de boîtes par conteneur,
  - La géométrie de l'entreposage et des réceptacles (boîtes, étuis, conteneurs) contenant l'oxyde,
  - La modération de la poudre (reprise d'humidité de la poudre limitée à 3 %).
- Ex. 2 : dissolution de combustible MOX irradié à La Hague : contrôle par :
  - La géométrie du dissolveur roue,
  - La concentration en matières fissiles de la solution de dissolution,
  - L'empoisonnement homogène de la solution de dissolution par du gadolinium.
- Ex. 3 : entreposage de solutions concentrées en U-Pu dans des cuves plates à ATALANTE : contrôle par :
  - La géométrie des cuves plates (épaisseurs de lame) et de l'entreposage (distances entre cuves…),
  - La masse de matières fissiles dans l'ensemble des cuves,
  - L'empoisonnement hétérogène par des écrans de béton à la colémanite implantés entre les cuves.



Boîte de PuO_2



Dissolveur roue



Cellule LES 401 d'ATALANTE

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.