

SOMMAIRE SUR LE RIA ET EVALUATION DE LA STRATEGIE IRSN

Rédigé pour la Commission des Essais Globaux, le 4 février 2008

Arthur Motta et André Pineau

L'accident d'insertion de réactivité «RIA»¹, peut avoir pour origine une éjection des barres de contrôle lors, par exemple, d'une défaillance du mécanisme de commande de ces barres. L'augmentation de la réactivité qui en résulte mène à une forte augmentation du taux de fissions dans les crayons voisins, avant d'être contrebalancée par l'effet Doppler, comme illustré sur la Figure 1. L'intégrale de la puissance instantanée donnée donne l'énergie totale déposée dans le combustible. La largeur à mi-hauteur du pulse donne une mesure de la vitesse de dépôt d'énergie dans le crayon. Suite à cette montée en puissance, il y a un relâchement de produits de fission et la pastille chauffe et se dilate contre la gaine. Ces deux facteurs causent une déformation de la gaine, qui peut rompre si elle est trop fragilisée (point a). Dans une deuxième étape, si la gaine arrive à survivre à la déformation à froid, la génération de chaleur peut mener à une crise d'ébullition, qui pourrait causer le ballonnement de la gaine (b).

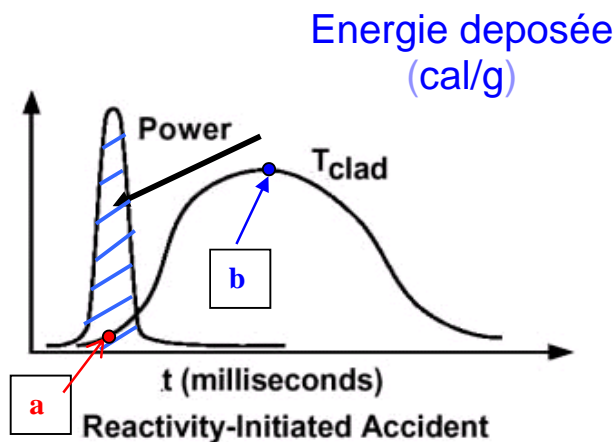


Figure 1 : Evolution de la puissance déposée et de la température de la gaine lors d'un accident RIA. Les points à pourrir se produire la rupture à froid (fragile) (a) et le ballonnement (b) sont indiqués.

La possibilité d'un accident RIA est faible. Les études visent à démontrer que l'éjection de combustible menant à un bouchage avec comme conséquence la perte de géométrie refroidissable, ou à un pic de pression qui endommagerait le cœur, n'est pas possible. Des critères de sûreté pour le RIA ont été développés dans les années 70-80 en utilisant comme base des expériences réalisées sur des gaines irradiées jusqu'à 31 GWj/t. Les critères américains stipulent que l'on ne peut pas dépasser un dépôt d'énergie de 170 cal/g pour éviter la

¹ On dénomme en France « RIA » l'accident de référence enveloppe qui a pour origine une éjection des barres de contrôle. Le terme anglais RIA, "Reactivity Induced Accident" a un sens plus large et inclut d'autres accidents de réactivité tels que les dilutions accidentelles de la teneur en bore du circuit primaire et les injectons accidentelles d'eau froide dans le cœur.

la rupture de gaine et 280 cal/g pour la rupture avec éjection de combustible². Pour ce dernier, les normes françaises stipulent une valeur de 225 cal/g pour le combustible vierge et 200 cal/g pour de faibles et moyens taux de combustion. D'autres valeurs de dépôt d'énergie sont à considérer pour les combustibles avancés.

D'autres expériences réalisées plus récemment avec du matériau irradié à plus fort taux de combustion (60-70 GWj/t) ont mis en évidence une dégradation de la résistance de la gaine vis-à-vis de la rupture fragile liée à l'augmentation du taux de combustion. De ce fait, divers projets sont en cours de réalisation de par le monde pour réviser les critères de RIA à fort taux de combustion [2]. Ce document examine la stratégie adoptée par l'IRSN pour mener à bien cette révision.

En France, c'est à l'utilisateur (EDF) de proposer les révisions des critères de sûreté et c'est à l'IRSN de juger ces propositions. Comme démontré dans les présentations à cette Commission lors de la réunion du 12 novembre 2007, l'IRSN est en train de développer un ensemble de compétences, à la fois expérimentales et analytiques, pour être en mesure de juger ces propositions. L'IRSN conduit les expériences intégrales CABRI, et participe au financement des expériences dites à effets séparés faites dans le cadre du programme PROMETRA au CEA. L'IRSN a également développé le code SCANAIR qui analyse le comportement du combustible en cas d'accident, ainsi que des modèles plus fondamentaux qui, même s'ils ne sont pas implémentés dans SCANAIR, aident à une meilleure compréhension physique des processus mis en jeu. Cependant ces modèles amont sont jugés comme étant encore loin d'être prédictifs et d'être en mesure de cerner toute la complexité des phénomènes physiques. Une conclusion qui découle de cette analyse est que l'on ne peut pas se passer de la recherche expérimentale, et notamment des essais intégraux.

L'approche de l'IRSN est assez différente de celle proposée par EDF qui fait appel à des critères établis sur une base de données accumulées dans le temps. Cependant il est jugé que cette approche de l'IRSN est correcte dans son principe car elle devrait lui permettre d'identifier les mécanismes qui pourraient être mis en jeu lors d'un RIA dans une gaine à fort taux de combustion, ainsi que les paramètres critiques qui régissent ces mécanismes. L'IRSN doit ainsi s'assurer que ces mécanismes sont pris en compte dans toute analyse qui ne s'appuie que sur des bases de données.

Un exercice similaire mené par la NRC en 2001 [3] a identifié quelques paramètres qui pourraient jouer sur la dégradation de la résistance de la gaine au RIA à fort taux de combustion. L'endommagement induit par l'irradiation cause un durcissement et une fragilisation du matériau, mais ces changements saturent après environ un mois d'irradiation et ne changent guère après. A cet endommagement induit par irradiation, se superposent les phénomènes d'oxydation et d'hydruration qui s'accumulent avec le taux de combustion.

L'hydrogène absorbé précipite sous la forme d'hydrures qui fragilisent le matériau. Le critère doit donc tenir compte de l'absorption d'hydrogène, qui est mesurée en pratique en évaluant l'épaisseur de l'oxyde. Au delà de la concentration totale en hydrogène, la distribution de l'hydrogène est aussi importante. Sous l'effet des gradients thermiques qui existent dans le crayon, l'hydrogène peut former des «rims» à l'extérieur de la gaine, qui peuvent mener à une décroissance de la déformation à la rupture. Ces rims sont une conséquence du fort taux de

² G. Hache note que le chiffre correct aurait du être 230 cal/g [1], et aussi que le critère de 170 cal/g est spécifique pour le RIA à puissance nulle dans les BWR, et remplace par le critère DNBR dans les REP.

de combustion, car ils apparaissent lorsque la limite de solubilité à la température extérieure de la de la gaine est atteinte. A notre connaissance, ce phénomène n'a pas été pris en compte dans les les nouveaux critères. Pour les couches d'oxyde plus épaisses, le phénomène de desquamation peut se produire, ce qui peut mener à la formation de «blisters». Ce phénomène peut être pris en en compte dans les critères en exigeant de ne pas avoir de desquamation. Finalement, l'orientation des hydrures (circonférentielle ou radiale) est un paramètre essentiel pour déterminer la ténacité des gaines.

Un autre facteur important dans la résistance à la déformation induite par la pastille est l'état de contrainte qui se produit. Normalement un état de contrainte bi-axial est observé (entre déformation plane et déformation équi-biaxée), ce qui pose des restrictions sur les données expérimentales que l'on peut utiliser. Cela dépend notamment de l'interaction pastille gaine, qui dépend à son tour de l'évolution du combustible, notamment du développement de la région du rim de UO₂, une région qui apparaît avec le taux de combustion à cause de l'effet d'auto-écran, menant à une forte densité de fission et, par voie de conséquence, à une accumulation des gaz de fission. Dans les propositions industrielles, un «knockdown factor» est implémenté pour pouvoir utiliser les essais uni-axiaux; il est nécessaire de bien vérifier que ces facteurs sont bien appliqués.

En conclusion, les critères proposés par l'exploitant s'appuieront sur une base de données qui donnera par exemple la DED (densité d'énergie de déformation) critique conduisant à la rupture. De plus, pour que ce type de critère soit valable, il faut être sûr que tous les mécanismes de rupture de la gaine après exposition à fort taux de combustion soient correctement pris en compte.. L'approche IRSN est jugée convenable dans la mesure où elle cherche à identifier ces mécanismes de rupture et les paramètres à considérer. Quelques-uns de ces paramètres déjà identifiés comme importants par la NRC sont : a) la teneur totale en hydrogène, b) la distribution de l'hydrogène (formation de rims et blisters), c) l'orientation des hydrures et d) l'état de contrainte imposé sur la gaine. En conclusion, la commission pense que l'approche combinant essais intégraux (ce qui nécessite CABRI), essais à effets séparés, codes analytiques et modèles amont est probablement la meilleure envisageable actuellement pour analyser le RIA.

- [1] P. E. MacDonald, S. L. Seiffert, Z. R. Martinson, R. K. McCardell, D. E. a. Owen, and S. K. Fukuda, Nuclear Safety, vol. 21, (1980), No. 5, 582.
- [2] R. O. Meyer, R. K. McCardell, H. M. Chung, D. J. Diamond, and H. H. Scott, "A Regulatory Assessment of Test data for Reactivity Initiated Accidents," Nuclear Safety, vol. 37, (1996), 4, 872-387.
- [3] B. E. Boyack, A.T. Motta, K.L. Peddicord, C.A. Alexander, R.C. Deveney, B. M. Dunn, T. Fuketa, K.E. Higar, L.E. Hochreiter, S.E. Jensen, F.J. Moody, M.E. Nissley, J. Papin, G. Potts, D.W. Pruitt, J. Rashid, D.H. Risher, R.J. Rohrer, J.S. Tulenko, K. Valtonen, and W. Wiesenack, "Phenomena Identification and Ranking Tables (PIRTs) for Reactivity Initiated Accidents in Pressurized Water reactors Containing High Burnup Fuel," Nuclear Regulatory Commission NUREG/CR-6742, 2001.