Introduction

Par Roland TRACCUCCI

Chef du Service Coordination Technique
FRAGEMA/FRAMATOME, Division Combustible

Jean-François MARIN

Chef de Projet Assemblage Combustible pour Réacteurs à Eau
CEN Saclay, IRDI-CEA

A. BERTHET

Adjoint au Chef du Département Théorie
EDF/SEPTEN

Les axes de la R & D sur le combustible nucléaire visent à répondre à deux préoccupations :

- avoir une meilleure connaissance des performances et donc des limites du combustible actuel ;
- définir les produits nouveaux à partir notamment des besoins futurs exprimés par les exploitants de réacteurs à eau pressurisée.

Compte tenu de l'importance du parc nucléaire français et des conditions de fonctionnement des tranches, les besoins d'EDF représentent pour le concepteur une enveloppe des besoins des autres exploitants.

Les actions de Recherche et Développement sont en général menées dans un cadre coopératif, où se retrouvent le concepteur (Framatome-Cogema), le client (EDF), les laboratoires de recherches ou d'examens (CEA, EDF, étrangers), les fabricants (FBFC, Zircotube, Cezus,...).

I. Qualités demandées au combustible

Les tranches nucléaires ayant une place prépondérante dans le parc des centrales, il est indispensable qu'elles puissent participer à l'adaptation de la production aux demandes des consommateurs. Le combustible doit donc être à même de s'adapter aux variations de puissance, permettant ainsi une manœuvrabilité satisfaisante.

Par ailleurs, le combustible doit participer à la fourniture du kWh au coût le plus bas possible.

I.1. Accroissement de la manœuvrabilité

Le combustible doit être conçu pour s'adapter aux variations de puissance compatibles avec le suivi de charge et le réglage de fréquence (primaire et secondaire, cf. encadré sur le suivi de réseau), ainsi qu'à des fonctionnements prolongés à puissance réduite avec possibilité de retour à la puissance nominale instantanée.

Ces types de fonctionnements induisent localement sur les crayons de combustible des cyclages ou des augmentations rapides de puissance susceptibles de créer des phénomènes de fatigue de la gaine, ou d'interaction pastille-gaine (mécanique et chimique).

Ils nécessitent aussi d'avoir des marges accrues vis-à-vis des limites physiques du cœur, telles que l'ébullition critique (marge DNB), la puissance linéique locale maximale (marge APRP).

Le combustible nucléaire : une importance déterminante dans la production d'énergie nationale.

I.2. Coût du kWh

Le combustible intervient directement dans au moins trois facteurs participant au coût du kWh.

— **Au niveau du parc de production :** l'électricité ne pouvant être stockée, il faut qu'à chaque instant la consommation soit équilibrée par la production. Par ailleurs, les tranches doivent s'arrêter périodiquement, en moyenne chaque année, pour renouveler le combustible et permettre un certain nombre d'opérations de maintenance et de contrôle. Si les

variations de la demande d'électricité à court terme sont satisfaites par la manœuvrabilité, les variations saisonnières sont assurées, entre autres, par un placement judicieux des périodes d'arrêt des tranches. Le combustible doit être à même d'assurer la souplesse nécessaire à la gestion des cœurs pour permettre anticipations ou prolongations de campagnes compatibles avec une gestion du parc la plus économique possible.

— **Au niveau du coût de cycle :** la part du combustible dans le cycle du kWh est liée directement à l'utilisation de la matière fissile.

Parmi les facteurs influents figurent :

- les taux de combustion élevés,
- le recyclage du plutonium,
- l'utilisation de l'uranium de retraitement.

— **Au niveau de sa fiabilité :** cette fiabilité doit être telle qu'elle ne conduise pas à des pertes d'étanchéité du gainage susceptibles d'affecter le fonctionnement de la tranche.

Par ailleurs, les assemblages prévus pour être remis en réacteur et présentant des pertes d'étanchéité de gaine doivent pouvoir être réparés, donc être facilement démontables.

L'objectif d'amélioration de la fiabilité du combustible, au-delà de celle atteinte aujourd'hui (voisine de 99,995 %) déjà très satisfaisante, entre pour une part importante dans les actions de R & D.

II. Domaines de la R et D combustible

Le programme de R & D englobe deux domaines complémentaires :

- le développement de nouveaux produits qui peuvent être des matériels (assemblages, crayons, grappes de contrôle, poisons consommables,...) ;
- les programmes en support de ces développements.

II.1. Le développement de nouveaux produits

Ces nouveaux produits, matériaux, matériels ou concepts doivent répondre aux objectifs énoncés précédemment. Citons à titre d'exemple :

- la recherche de nouveaux alliages à base de zirconium ou de nouvelles textures métallurgiques pour les gaines des crayons de combustible permettant d'accroître la tenue à la corrosion (forts taux de combustion et augmentation des performances des chaudières) ou à minimiser l'interaction pastille-gaine (manœuvrabilité) ;
- la recherche de nouveaux matériaux de structure peu neutrophages et/ou évoluant peu sous irradiation ;
- le développement de nouvelles liaisons démontables de la structure permettant de simplifier les opérations de restauration des assemblages ;

— le développement de grilles assurant des marges élevées vis-à-vis du phénomène d'ébullition critique (manœuvrabilité, augmentation des performances des chaudières) ;

— la mise au point de poisons consommables « intégrés » (oxyde de gadolinium) ;

— la mise en œuvre du combustible à oxyde mixte $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$;

— la recherche de nouvelles gestions du combustible plus performantes (réduction du coût de cycle) et tirant le maximum de profit de l'augmentation des taux de combustion ;

— le développement de nouveaux procédés de fabrication et de contrôle associé au développement des produits ;

— le développement de l'AFA, nouvelle génération d'assemblage combustible qui remplace progressivement la génération précédente.

II.2. Les programmes en support

Ces programmes sont destinés en premier lieu à obtenir ou confirmer les données de base concernant les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des matériaux et des composants de l'assemblage de combustible, et à qualifier la modélisation de leur comportement sous diverses sollicitations, en particulier sous irradiation.

La connaissance précise des performances et des limites d'utilisation du crayon et de l'assemblage combustible actuel tant en fonctionnement normal qu'accidentel entre aussi pour une part importante.

Un des programmes majeurs, en voie d'achèvement, est celui relatif à la justification de l'aptitude du crayon combustible au suivi de charge et au télé-régulation.

Un programme important est celui qui vient d'être lancé sur le combustible MOX.

Ces programmes d'irradiation sont en majeure partie réalisés dans les piles expérimentales du CEA. Les programmes de surveillance, sur produits standards ou nouveaux, sont bien entendu réalisés dans les réacteurs de puissance d'EDF.

III. Conclusion

Amélioration des performances en vue d'accroître la manœuvrabilité des tranches, souplesse dans la gestion, augmentation des taux de combustion, recyclage du plutonium tels sont les principaux axes de la R & D menée aujourd'hui sur les combustibles des REP par les différents partenaires concernés et qui sont présentés dans les articles qui suivent.

Face à l'importance du combustible dans la production d'énergie nationale, cette R & D est menée avec une nécessaire continuité, en mettant en œuvre des moyens importants tant financiers que matériels et humains.