

FR 480/455

INIS

2. European nuclear conference (ENC 79)  
Hamburg, Germany, F.R. , 6-11 May 1979

CEA-CONF--4606

Title of paper "Caramel" un combustible à oxyde  
d'uranium en plaques pour les réac-  
teurs à eau ordinaire.

By : Pierre BUSSY - DMECN/D.Tech  
Jean-Marie CERLES - SPS  
Jacques DELAFOSSE - DMECN/D.Tech  
Guy LESTIBOUDOIS - DMECN/D.Tech  
Jean-Pierre SCHWARTZ - DEDR/SERMA

Organization : Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay  
B.P. n°2 -91190- Gif-sur-Yvette

Country : France

## I. INTRODUCTION

Le combustible caramel est un combustible original étudié et mis au point par le CEA pour les réacteurs à eau. Il peut être utilisé dans différents domaines de cette filière : centrales électrogènes de petite et moyenne puissance, réacteurs de propulsion navale, réacteur calogène et enfin piles de recherche.

## II. DESCRIPTION DU COMBUSTIBLE

Il est constitué de plaques élémentaires minces qui sont assemblées parallèlement entre elles pour former des faisceaux ou assemblages qui sont chargés dans le coeur des réacteurs.

Chaque plaque est constituée par un pavage régulier de pastilles parallélépipédiques en oxyde d'uranium. Ces pastilles de faible épaisseur, sont entièrement isolées les unes des autres et du milieu extérieur par un gainage en alliage de zirconium.

## III. LES AVANTAGES DU COMBUSTIBLE "CAMEL"

a/ - Combustible peu contaminant : Chaque compartiment élémentaire ne contient que quelques grammes d'oxyde, en cas de perte d'étanchéité la quantité de produits de fission qui risque de passer dans le circuit primaire de refroidissement est donc faible

b/ - Combustible faiblement enrichi, non proliférant

Les plaques qui constituent le combustible "Caramel" contiennent une quantité élevée d'oxyde. Aussi dans les applications qui nécessitent le plus haut enrichissement, ce dernier ne dépasse pas 8 % en uranium 235.

c/ - Combustible froid

La division de la matière fissile en éléments minces permet un excellent refroidissement. On peut obtenir des puissances volumiques élevées tout en ne dépassant pas au centre de l'oxyde, la température de dégagement des gaz de fission.

#### IV. LES DIFFERENTS TYPES DE CAMEL ET LEURS APPLICATIONS

Les possibilités d'application de ce combustible s'étendent des réacteurs producteurs d'énergie électrique aux réacteurs d'irradiation pour la recherche; a chaque application correspond un type de caramel adapté.

##### a/ - Combustible pour petites centrales ou Propulseur marin

Le caramel est du type épais, apte à atteindre des combustions massiques élevées et à résister à des cyclages de puissance variés dans des circuits d'eau à haute température et haute pression.

##### b/ - Combustible pour centrale calogène

Combustible pour circuits d'eau à température moyenne et faible pression.

##### c/ - Le combustible caramel pour les réacteurs de recherche

Dans une de ses applications, on a développé le combustible caramel de façon à pouvoir l'utiliser pour les réacteurs employant des combustibles à plaques du type M.T.R. Il présente alors l'avantage sur un combustible métallique UA1 actuellement utilisé, de limiter l'enrichissement nécessaire à une valeur inférieure à 10 %  $U_5$ , ceci provient de la forte densité de l'oxyde comparée à celle de "l'alliage" UA1 (3 à 3,5) dans lequel la proportion pondérale d'uranium ne dépasse pas 40 %.

Mais l'utilisation de ce combustible dans les piles de forte puissance volumique, jusqu'à  $400 \text{ kW/dm}^3$  a conduit à mettre au point un combustible dont l'épaisseur d'oxyde puisse décroître jusqu'à 15 mm. On obtient ainsi des plaques relativement minces, conduisant à une division suffisante du réseau combustible, permettant seule d'extraire une puissance volumique élevée.

#### V. PROGRAMME D'ESSAIS DE QUALIFICATION

Une étude paramétrique dans des boucles d'essais a permis de déterminer les limites de fonctionnement du combustible caramel épais, sans rupture. Le diagramme qui en résulte donne jusqu'au-delà d'une combustible massique de 50.000 MWj/t. les puissances volumiques admissibles, avec et sans cyclage.

Ces essais ont été poursuivis par des irradiations globales d'assemblages complets :

- 16 dans le réacteur P.A.T.
- 4 dans le réacteur C.A.P.

et complétés par des essais simulés de L.O.C.A. et des mesures de contamination des circuits de réacteurs.

Les caramels les plus minces ont fait l'objet également d'irradiations globales sous la forme d'assemblages précurseurs irradiés dans le coeur de la pile OSIRIS avant sa transformation. Cette transformation et le fonctionnement de ce réacteur avec un coeur d'éléments "Caramel" constitue la principale expérience d'épreuve de ce combustible.

#### Expérience d'utilisation du "Caramel" mince - Adaptation d'OSIRIS

La majorité des réacteurs de recherche, en particulier les réacteurs à performances élevées comme OSIRIS, utilisent du combustible très enrichi (93%), sous la forme d'un alliage U-Al.

Le C.E.A. a décidé de mettre à profit les possibilités du combustible CAMEL pour s'affranchir des sujétions liées au combustible très enrichi en le remplaçant par un combustible faiblement enrichi (7-8 %).

L'expérience très grande acquise sur ce type de combustible a permis à la Division de Métallurgie de définir un produit s'intégrant au réacteur, sans modification des structures et autorisant le quasi maintien des performances avec des transformations relativement mineures sur l'installation.

Le nouveau combustible conserve exactement la géométrie extérieure de l'U-Al. Sa capacité d'accepter des puissances spécifiques très élevées est compatible avec la puissance volumique de fonctionnement du réacteur. Les conséquences pour les irradiations en sont donc limitées : une quasi-stabilité des flux rapides dans les emplacements d'irradiation du coeur et une réduction très limitée des flux thermiques dans les emplacements d'irradiation situés dans le réflecteur, accompagnées d'une diminution très importante de l'échauffement dû au rayonnement gamma.

Les travaux d'adaptation ont porté essentiellement sur le circuit primaire où la nécessité d'accroître le débit a conduit à changer les pompes et utiliser les 4 échangeurs disponibles. Quelques autres adaptations ont été réalisées, entre autres l'introduction de la D.R.G. dans les circuits de sécurité, et quelques modifications mineures des stockages et des moyens de manutention.

Au niveau de l'exploitation, les conséquences sont mineures. Un élément favorable est l'allongement du cycle de fonctionnement entre 2 rechargements partiels.

En ce qui concerne la sûreté nucléaire, plusieurs éléments favorables sont à retenir : la division du combustible limite les conséquences d'une rupture de gaine ; l'existence d'un effet DOPPLER négatif très important rend moins graves les effets d'un accident de réactivité et plus invraisemblable, un accident explosif.

## VI. LA FABRICATION DU COMBUSTIBLE CAMEL

### a/ - Les méthodes

Les procédés diffèrent suivant qu'il s'agit de la fabrication de plaques épaisses ou de plaques minces.

La fabrication comporte les séquences suivantes qui sont décrites :

- préparation des pastilles d'oxyde fritté
- revêtement antidiffusion
- montage des plaques
- fermeture sous vide
- gainage à haute pression
- montage des assemblages
- contrôles

### b/ - Moyens de production

Ils sont répartis entre le CEA et ses filiales dans des ateliers situés sur différents sites :

- centre de Cadarache : conversion de l' $UF_6$ , gainage à haute pression,
- usine de Bollène : Frittage des pastilles, montage des plaques,
- centre de Saclay : montage des assemblages, contrôles

**VII. CONCLUSIONS**

L'ensemble de l'expérience sur le combustible "Caramel" qui porte sur plusieurs milliers de plaques fabriquées, confirme dans l'ensemble les performances attendues d'un combustible non proliférant ayant des caractéristiques améliorées pour la sûreté.



0

0

0