
Introduction d'un nouveau matériau de gainage du combustible

En 1988, EDF a lancé un programme d'introduction de nouveaux types d'assemblages de combustible dans les réacteurs. Les gaines des crayons de ces combustibles sont en alliage de zirconium appelé « M5 ». Toutefois, dès 2001, l'apparition de fuites de gaines des assemblages de combustible équipés de crayons en alliage M5 a mis en doute la fiabilité de ce matériau. Les problèmes d'exploitation rencontrés ont conduit l'IRSN à recommander qu'EDF réalise des investigations relatives à l'origine des pertes d'étanchéité constatées et ralentisse le rythme de déploiement d'assemblages de combustible avec gaines en alliage M5 sur le parc. Le problème a été pris très au sérieux par le fabricant de ces assemblages et par EDF qui ont mis en place des actions correctives dont l'effet est encore aujourd'hui suivi par l'IRSN.

Contexte - Historique d'introduction



Un assemblage combustible

Les gaines des crayons des assemblages de combustible constituent la première « barrière » de confinement des produits de fission. Pour les réacteurs du parc d'EDF, elles ont d'abord été réalisées en zircaloy 4, un alliage métallique à base de zirconium contenant de l'étain et d'autres éléments. Le zirconium est utilisé pour les gaines notamment parce qu'il absorbe peu les neutrons. Toutefois, dans un souci d'amélioration des performances du matériau de gainage permettant d'atteindre des [taux de combustion](#) plus élevés, EDF met en œuvre depuis plusieurs années sur son parc de réacteurs un alliage dit Massif 5 (M5) produit par AREVA-NP, comportant du niobium et d'autres additifs ; cet alliage a été développé en vue d'améliorer la résistance à la corrosion et à l'hydruration (ou absorption d'hydrogène) du gainage. L'alliage M5 se distingue également du zircaloy 4 par des vitesses de déformation sous irradiation différentes et, en particulier, par un grandissement plus faible (le grandissement est l'accroissement de la longueur des gaines des crayons sous l'effet de l'irradiation neutronique).

L'introduction en réacteur de l'alliage M5 a débuté en France en 1988 avec le chargement de quelques crayons de combustible dans le cadre du programme de développement dit « X1 première phase » d'AREVA-NP. Il s'agissait alors d'une variante de l'alliage M5 actuel. L'introduction de crayons à gainage en alliage M5 recristallisé s'est ensuite poursuivie entre 1990 et 1996 dans le cadre de quatre programmes expérimentaux dits de « pré-qualification » visant à tester différentes nuances d'alliage.

La qualification à l'échelle industrielle du gainage en alliage M5 n'est intervenue qu'en 1999 avec l'introduction à titre expérimental d'une première recharge complète dans le réacteur de Nogent 2. Les gaines des crayons étaient alors en alliage M5 mais la structure des assemblages (grilles de maintien...) était toujours en zircaloy 4. Ce n'est qu'en 2004 que le premier chargement d'assemblages « tout M5 » est intervenu dans la tranche 2 de la centrale de Nogent. Pour l'heure, des recharges tout M5 sont en cours d'irradiation dans trois réacteurs de 1300 MWe et les quatre réacteurs de 1450 MWe.

Retour d'expérience de l'introduction de l'alliage M5

La fiabilité des crayons à gainage en alliage M5 a été mise en doute dès 2001 du fait de l'apparition de fuites. Le bilan dressé en 2004 faisait apparaître un taux de défaillance des crayons en alliage M5 quatre à cinq fois supérieur à celui des crayons à gainage en zircaloy 4. Au total, entre 2001 et 2008, une trentaine de fuites d'assemblages de combustible à gainage en alliage M5 ont été détectées. A ce jour, EDF a mis en évidence trois types de défauts à l'origine des pertes d'étanchéité des crayons de combustible à gainage en alliage M5.

Deux types de défauts concernent les soudures entre les tubes et les bouchons.

Différents procédés de soudure sont utilisés pour la fabrication des crayons de combustible :

- le soudage laser permet de réaliser une soudure circulaire au moyen d'un faisceau laser induisant une fusion des matériaux de la gaine et du bouchon,
- le soudage TIG (Tungstène Inerte Gaz) est un procédé de soudure à l'arc induisant une fusion des matériaux de la gaine et du bouchon, en utilisant une électrode non fusible et un gaz inerte pour protéger l'électrode,
- le soudage USW (Upset Shape Welding) : dans ce procédé, l'échauffement provient de la résistance des pièces à souder à un courant électrique. Une force de rapprochement est appliquée sur les éléments à souder.

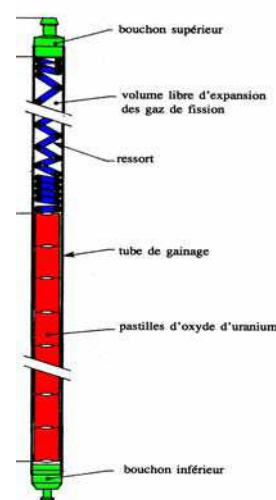
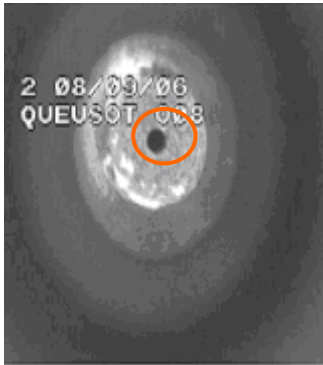


Schéma d'un crayon de combustible

Le premier type de défaut affecte les soudures circulaires des bouchons (inférieurs ou supérieurs) en alliage M5 réalisées par le procédé par laser. Les défaillances d'étanchéité constatées, qui concernent 7 crayons au total, se sont produites au cours des 1^{ers}, 2^{èmes} ou 3^{èmes} cycles d'irradiation de l'assemblage en réacteur. Ce type de défaut serait lié à la présence d'un polluant entraînant un percement ponctuel sur une portion bien délimitée du cordon de soudure pendant l'irradiation dans le réacteur. Selon EDF, les investigations conduites ont montré la sensibilité du procédé de soudage par laser à une pollution solide, très vraisemblablement de l'aluminium.



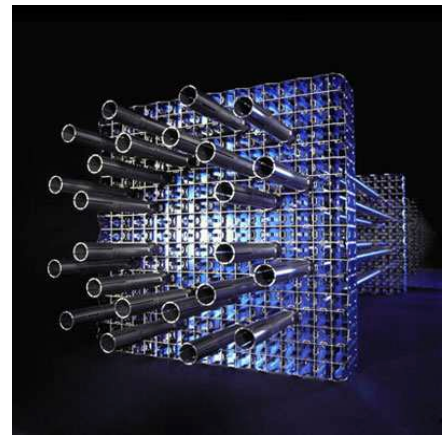
Percement localisé de la soudure circulaire du bouchon inférieur d'un crayon à gainage en alliage M5



Défaut de soudure au niveau du queusot d'un crayon en alliage M5

Le second type de défaut affecte des soudures de queusot (orifice par lequel se fait la pressurisation à l'hélium du crayon pour lui permettre de résister à la pression du circuit primaire) du bouchon supérieur réalisées avec le procédé TIG. Les pertes d'étanchéité constatées, qui concernent au total 9 crayons de combustible, se sont manifestées au cours des premiers cycles d'irradiation. EDF a indiqué qu'il s'agissait dans tous les cas de crayons de combustible ayant fait l'objet d'une reprise de soudage (sans changement de bouchon). La combinaison de doubles passages du crayon en chambre de soudage (résultant d'un défaut d'amorçage de la soudure plus fréquent avec l'alliage M5 qu'avec le zircaloy 4) et d'une sensibilité moindre des bouchons de zircaloy 4 à la pollution par l'oxyde d'uranium présent lors de la fabrication, expliquerait la fréquence plus élevée de ce type de défauts constatée sur les crayons à bouchon en alliage M5.

Enfin, un troisième type de défaut affecte certains assemblages de combustible au cours de leur premier cycle d'irradiation ; en 2008, des marques de type poinçonnement et des percements ont été observés. L'analyse a montré que, pendant la fabrication, les opérations d'insertion des crayons à gaine en alliage M5 dans les grilles de maintien de ces crayons peuvent créer des copeaux. Ces copeaux sont à l'origine de pertes d'étanchéité (au nombre de 12) de crayons à gaine en alliage M5 du fait de leur usure par fretting (usure résultant de mouvements oscillatoires de petite amplitude) associée aux copeaux restés coincés sous les ressorts des grilles.



Squelette d'assemblage

Actions correctives mises en œuvre

Afin de retrouver au plus vite une fiabilité des crayons de combustible en alliage M5 au moins équivalente à celle des crayons à gaine en zircaloy 4, différentes actions correctives ont été mises en place par EDF :

- en 2005, l'amélioration de la propreté dans les différentes usines de fabrication de combustible pour se prémunir des risques de pollution,
- à compter de début 2007, l'utilisation d'un procédé de soudage moins sensible à la pollution : il s'agit du « procédé USW » en remplacement des procédés par laser et TIG. De par la mise en œuvre du procédé USW, il n'y a plus nécessité d'un queusot dans le bouchon supérieur (mise en pression du crayon et soudage en simultané),
- le remplacement des bouchons en alliage M5 par des bouchons en zircaloy 4,
- la réduction de la production de copeaux lors des opérations d'insertion des crayons dans les assemblages de combustible en réduisant la vitesse d'insertion des crayons,
- la modification des conditions de maintien des crayons dans les grilles.

Le point de vue de l'IRSN

Dès les premières pertes d'étanchéité qui ont affecté le réacteur n°2 de la centrale de Nogent en 2001, l'IRSN a souligné l'importance d'étudier dans les plus brefs délais l'origine de ces pertes d'étanchéité et considéré qu'une généralisation au parc de l'utilisation du type d'assemblage impliqué était prématurée. De 2003 à 2006, EDF a lancé une série d'investigations en usine, d'essais et d'expertises approfondies afin de déterminer l'origine des pertes d'étanchéité et a pris les dispositions correctives mentionnées ci-dessus.

En 2006, des pertes d'étanchéité continuant à se produire, l'ASN a estimé qu'il était nécessaire « d'adopter une démarche prudente » quant à l'introduction d'assemblages de combustible à gainage en alliage M5 et a estimé nécessaire que « le dialogue technique se poursuive notamment sur [...] la fiabilité des fabrications d'assemblages en alliage M5 ».

Des éléments de compréhension contribuant à apprécier les différentes causes de perte d'étanchéité ont été transmis. Toutefois, l'IRSN constate que ceux-ci ne permettent pas d'expliquer sur le plan de la métallurgie la sensibilité particulière des crayons à gainage et bouchons en alliage M5 aux polluants suspectés (aluminium et oxyde d'uranium selon les procédés mis en œuvre). Des actions visant à comprendre l'origine de cette sensibilité des crayons de combustible aux conditions de soudage doivent être entreprises.

Comme indiqué plus haut, il est indéniable que les problèmes de fiabilité des crayons utilisant l'alliage M5 ont été pris au sérieux par le fabricant. Toutefois, l'efficacité des actions correctives ne pourra être appréciée que sur la base du retour d'expérience de l'irradiation de recharges « tout M5 » qui sont ou seront introduites dans les tranches de 1300 MWe et 1450 MWe. Aussi, dans l'attente de la transmission d'éléments complémentaires de la part d'EDF, l'introduction de nouvelles recharges utilisant l'alliage M5 a été limitée par l'ASN sur le conseil de l'IRSN aux 3 réacteurs de 1300 MWe ayant déjà chargé des assemblages en alliage M5 (sur les 20 réacteurs de ce type que compte le parc nucléaire). A ce jour, du combustible à gainage en alliage M5 est présent dans 17 réacteurs de 900 MWe, trois réacteurs de 1300 MWe et les quatre réacteurs de 1450 MWe.

L'IRSN souligne ici que l'introduction en réacteur d'un nouveau type de combustible, de même que toute modification concernant la fabrication des combustibles, est susceptible d'entraîner des conséquences inattendues en termes de performances. C'est pour cette raison que l'IRSN a depuis toujours recommandé une approche prudente qui se traduit par un processus long et progressif dont les étapes successives doivent être respectées afin de pouvoir disposer d'un retour d'expérience suffisant avant de procéder à toute nouvelle étape.