

ACCROISSEMENT DES TAUX DE COMBUSTION ET IMPACT DES EVOLUTIONS DE GESTION SUR L'EXPLOITATION DES REACTEURS DU PARC EDF

*J.-L. PROVOST – X. THIBAUT (EDF / DPN)
M. DEBES (EDF / DCN)
P. KAPLAN (COGEMA)*

RESUME

Depuis le démarrage du premier REP français en 1977, la gestion des cœurs REP a sensiblement évolué grâce aux divers progrès réalisés dans le domaine du combustible. Ces évolutions ont été soutenues par l'important retour d'expérience acquis en exploitation, ainsi que par les nombreux programmes de R et D mis en oeuvre concernant la conception du combustible et le perfectionnement des méthodes.

Aujourd'hui, l'arrivée à maturité des produits combustibles à performances accrues, permettant d'atteindre à l'échelle industrielle un taux d'épuisement élevé conduit à envisager des gestions plus optimisées s'appuyant sur une meilleure utilisation du combustible. De plus, la volonté de faire évoluer les gestions du combustible REP est également motivée par les enjeux liés à l'ouverture du marché européen de la production d'électricité à la concurrence.

Dans ce contexte, une réflexion globale a été menée sur les évolutions des gestions de l'ensemble des paliers du Parc REP, les objectifs poursuivis étant l'amélioration de la compétitivité du Parc nucléaire en agissant sur le coût du KWh (exploitation, combustible, système électrique), l'augmentation de sa réactivité par une optimisation du placement des arrêts (saisonnalisation de la courbe de charge) et la poursuite de la stratégie de l'aval du cycle (atteinte de l'équilibre généralisé des flux de combustibles irradiés et de plutonium séparé).

Les résultats de cette analyse ont conduit aux choix suivants :

- pour les 20 tranches 900 recyclant du MOX : la gestion Parité MOX, en campagne annuelle, permettant d'amener l'épuisement du MOX à parité avec celui du l'UO2 (environ 46 GWj/t)
- pour les 20 tranches 1300 : la gestion GALICE, permettant de porter l'irradiation à 62 GWj/t grâce à l'adoption de combustible à performances accrues (M5 ou Zirlo), et à enrichissement augmenté à 4,5 % en U235 (longueur de campagne de 18 mois),
- pour les 4 tranches N4 : la gestion ALCADÉ, par tiers de cœur à enrichissement de 4 % permettant d'atteindre une longueur de campagne de 17 mois.

La mise en œuvre de ces nouvelles gestions conduit au maintien ou à l'amélioration des conditions d'exploitation des tranches, garantissant ainsi l'atteinte des objectifs de sûreté, de disponibilité, de radioprotection et d'environnement.

Vis-à-vis du cycle du combustible, l'accroissement des taux de combustion entraîne, pour une même production, une réduction des déchets activés de structure, une meilleure utilisation de la matière irradiée et une consommation in situ accrue de plutonium.

1 – HISTORIQUE ET ENJEUX

Depuis le démarrage du premier REP français en 1977, la gestion des cœurs REP a sensiblement évolué grâce aux divers progrès réalisés dans le domaine du combustible. Ces évolutions ont été soutenues par l'important retour d'expérience acquis en exploitation, ainsi que par les nombreux programmes de R et D mis en oeuvre concernant la conception du combustible et le perfectionnement des méthodes.

Ces actions ont permis de mieux appréhender le comportement des produits combustibles et leurs conditions d'utilisation en réacteur, et d'une manière générale, de mieux utiliser les potentialités existantes tout en conservant des marges suffisantes tant sous l'aspect de la technologie que de la sûreté.

Aujourd'hui, l'arrivée à maturité des produits combustibles à performances accrues, permettant d'atteindre à l'échelle industrielle un taux d'épuisement élevé conduit à envisager des gestions plus optimisées s'appuyant sur une meilleure utilisation du combustible.

De plus, la volonté de faire évoluer les gestions du combustible REP est également motivée par les enjeux et opportunités suivantes :

- l'ouverture du marché européen de la production d'électricité à la concurrence, rendant encore plus nécessaire l'amélioration de la compétitivité du parc de production et renforçant le besoin d'augmentation de sa réactivité,
- la stratégie de fermeture du cycle du combustible et de bon conditionnement des déchets HAVL, associée au recyclage du plutonium dans les combustibles MOX (adéquation des flux) et à la maîtrise des quantités de combustibles usés en attente de retraitement vis-à-vis des capacités d'entreposage sous eau disponibles.

2 – SITUATION ACTUELLE DU PARC EDF

2 - 1 - gestion du combustible

Huit tranches 900 MWe CPY sont en gestion par quart de cœur avec du combustible UO₂. Les recharges sont à l'uranium naturel enrichi (UNE) à 3,7%, les tranches 3 et 4 de Cruas reçoivent également du combustible à l'uranium de retraitement enrichi (URE) à environ 4% (équivalent énergétique de l'UNE 3,7%).

Les vingt autres tranches 900 CPY sont en gestion hybride MOX (UO₂ 3.7% en quart de cœur et MOX équivalent 3.25% en tiers de cœur), la teneur en plutonium du combustible MOX étant limitée à 7%.

Les 6 tranches du palier 900 MWe CP0 sont en gestion en campagnes allongées dite CYCLADES avec renouvellement par tiers de cœur du combustible enrichi à 4,2%, deux tranches ayant déjà atteint l'équilibre de la gestion.

Sur le palier 1300 MWe, la totalité des 20 tranches est à l'équilibre de la gestion en campagnes allongées GEMMES (tiers de cœur enrichi à 4%). Les 4 tranches du palier N4 sont en gestion par quart de cœur avec du combustible enrichi à 3,4%.

Vingt six tranches sont donc concernées par l'allongement des campagnes et, par voie de conséquence, la diminution du nombre d'arrêts de tranche, permet non seulement une amélioration de la disponibilité, mais également une réduction significative de la dosimétrie.

2.2 – produits combustibles utilisés

En 2003, six tranches du palier 900 ont été approvisionnées en combustible HTP (Framatome ANP). La première recharge RFA 900 (EFG - Westinghouse) a été livrée à Gravelines 6. Les autres recharges du palier 900 MWe, UO₂ et MOX, ont été constituées d'assemblages Framatome ANP AFA-3G.

Sur le palier 1300, cinq recharges d'assemblages de conception renforcée vis-à-vis du phénomène d'usure/vibration ont été chargées : 4 recharges AFA-3GLr de conception Framatome-ANP, et une recharge RFA de conception EFG. Toutes les autres recharges 1300 étaient de conception AFA-3GL (Framatome ANP).

Nogent 2 a reçu une nouvelle recharge AFA-3GL avec gainage en M5 (nouvel alliage développé dont la résistance à la corrosion notamment est améliorée), lors de son arrêt anticipé de fin 2002. La majorité des tranches 1300 a maintenant des cœurs complets AFA-3GL.

Les épaissements de décharge maximaux des combustibles UO₂, atteints en 2003, sont proches de la limite autorisée de 52 GWj/t sur les paliers 900 (51 GWj/t) et 1300 (49 GWj/t), l'épuisement moyen étant d'environ 45 GWj/t. Les épaissements de décharge sur le palier N4 sont plus faibles (41 GWj/t en moyenne pour une valeur maximale de 45 GWj/t) du fait de l'enrichissement plus faible et de campagnes courtes.

Le combustible MOX est utilisé sur le palier CPY depuis 1987 (première recharge sur Saint-Laurent 1) et aujourd'hui il est introduit sur 20 réacteurs. A la fin 2003, environ 2100 assemblages MOX (soit 950tML) ont été chargés en réacteur ce qui correspond au recyclage de plus de 50 tonnes de plutonium séparé. Le combustible MOX ne réalisant que trois cycles annuels, son épaisseur de décharge est sensiblement plus faible que celui de l'UO₂, avec une valeur moyenne de 38 GWj/t pour une valeur maximale de 41 GWj/t.

2.3 fiabilité du combustible et comportement en réacteur

- étanchéité du gainage

Le bilan des pertes d'étanchéité du gainage pour l'année 2003 s'est sensiblement amélioré notamment sur le palier 1300 MWe, où il a retrouvé un niveau comparable à celui observé à la fin des années 1990.

- Palier 900 MWe :

5 assemblages répartis sur 5 tranches sont apparus non étanches sur le palier 900 MWe. La fiabilité du combustible apparaît stabilisée ces dernières années à un niveau bas.

Par ailleurs, il faut noter un très bon comportement du combustible MOX en réacteur. En effet, depuis l'origine de l'utilisation de ce combustible en réacteur (première recharge introduite sur Saint-Laurent 1 en 1987), seuls 5 assemblages se sont avérés non étanches soit moins d'une dizaine de crayons, la cause la plus fréquente étant liée à la présence d'un corps migrant.

- Paliers 1300 MWe et N4 :

5 assemblages répartis sur 4 tranches sont apparus non étanches sur le palier 1300 MWe. Un assemblage non étanche a également été détecté sur le palier N4. Une baisse sensible du nombre de défauts est observée par rapport à l'année dernière. La cause de défaillance de quatre de ces assemblages apparus non étanches au cours de leur troisième cycle d'irradiation, reste très probablement toujours l'usure vibratoire des crayons au niveau de la grille inférieure.

Ce phénomène a donné lieu à la mise en œuvre d'assemblages à structure renforcée en partie basse sur le palier 1300 MWe. Néanmoins, bien que cinq recharges d'assemblages de ce type aient été chargées en réacteur au cours de l'année 2003, une période transitoire de plusieurs années devra être gérée avant d'arriver à des cœurs de réacteurs ne contenant plus que des assemblages de conception renforcée.

De plus, afin d'exercer une surveillance renforcée du cœur tant que du combustible sensible au phénomène d'usure par fretting séjournera en réacteur, la mise en place de nouvelles spécifications radio-chimiques renforcées sur l'ensemble des tranches du palier 1300 MWe est intervenue à l'été 2003.

- Déformations d'assemblages

Les mesures de surveillance des déformations d'assemblages et des temps de chute des grappes mises en place sur les tranches du parc ont été maintenues durant l'année 2003. Les résultats de ces différentes investigations montrent une très nette amélioration de la situation. En effet, sur le palier 1300, aucune anomalie n'a été relevée à l'occasion des essais de temps de chute des grappes réalisés en fin de cycle.

En ce qui concerne les paliers 900 MWe et N4, où les assemblages de nouvelle génération à structure renforcée vis-à-vis des déformations ont été introduits plus tardivement, quelques absences de rebond ont encore été observées. Ces grappes étaient situées au-dessus d'assemblages de la génération précédente qui effectuaient leur dernier cycle d'irradiation, la situation devrait donc se normaliser au prochain cycle.

Ces résultats devraient permettre de supprimer à brève échéance les essais de temps de chute intermédiaires actuellement réalisés sur les tranches 1300 MWe, N4 et CP0. Ils doivent également permettre de justifier à terme la levée des contraintes vis-à-vis du positionnement sous grappe des assemblages les plus épuisés.

Concernant les flèches des assemblages, on observe une diminution de la déformation moyenne cœur avec l'augmentation du nombre de recharges AFA-3G(L). En revanche, on voit que le retour à une situation plus normale sera progressif, et demandera plusieurs cycles.

2.4 – l'exploitation des réacteurs

- manoeuvrabilité des tranches

Compte-tenu de l'importance du parc REP dans la capacité de production d'EDF (80% de l'électricité produite est d'origine nucléaire), les réacteurs doivent participer à l'équilibre production-consommation.

Les tranches REP doivent donc être aptes à réaliser les types de fonctionnement suivants :

- ⇒ fonctionnement en base à puissance nominale ;
- ⇒ réglage primaire de fréquence (puissance asservie à la variation de la fréquence);
- ⇒ réglage secondaire (équilibre des échanges avec le réseau européen);
- ⇒ suivi de charge journalier (équilibre production-consommation préétabli);
- ⇒ fonctionnement prolongé à puissance réduite (réserve de production disponible).

De plus, dans le but d'optimiser le placement des arrêts de tranches, une flexibilité sur la longueur de campagne est nécessaire. Elle conduit à des anticipations d'arrêt ou des prolongations de campagne qui ont bien sûr une répercussion sur les taux de combustion des combustibles déchargés.

Ces modes d'exploitation, plus sollicitants pour le combustible que le fonctionnement en base (notamment concernant le comportement thermomécanique du gainage et l'interaction entre les pastilles et la gaine), sont pris en compte dans l'évolution des conceptions des produits combustibles et dans les études des nouvelles gestions.

- chimie du circuit primaire

Le fonctionnement du palier 1300MWe en campagnes allongées (18 mois) conduit à des concentrations en bore du circuit primaire en début de cycle sensiblement plus élevées que celles observées en cycle annuel. En effet la concentration en bore peut atteindre environ 1500 ppm en début du cycle à l'équilibre.

Actuellement, la concentration maximale en lithine (utilisée pour contrôler le pH) est de 2.2ppm, cette restriction avait été fixée historiquement dans le but de ménager le gainage des crayons vis-à-vis du phénomène de corrosion. Cette limitation a pour conséquence de s'écarter des caractéristiques chimiques optimales du circuit primaire (pH constant de 7.2 à 300°C) vis-à-vis du relâchement des produits de corrosion et des débits de dose associés.

Le maintien de la limite en lithine à 2.2 ppm conduit en campagnes allongées à un fonctionnement de plusieurs mois en conditions de chimie primaire non optimale. Aussi, une expérimentation, mise en oeuvre sur une tranche depuis 1997, avec relèvement de la limite en lithine à 3.5 ppm permettant de se rapprocher de la valeur optimale en pH de 7.2 a montré un effet favorable sur le débit de dose sans dégrader le comportement du gainage combustible. La généralisation du relèvement de la teneur maximale en lithine à 3.5 ppm est donc envisagée à court terme sur ce palier.

- fluence sur la cuve

A l'origine, le dossier justificatif de la durée de vie des cuves de l'ordre de 40 ans a été établi sur la base de la gestion initiale : 3 cycles 3,25 % pour le REP 900 et 3 cycles 3,1 % pour le REP 1300 avec du combustible à uranium naturel enrichi. Les plans de chargement pris en compte étaient de type out-in, et le fonctionnement des tranches en base.

Aujourd'hui les conditions d'exploitation ont évolué, les gestions ont été modifiées, avec notamment le recyclage du plutonium et le passage aux campagnes allongées.

Dans le but de ne pas pénaliser la durée de vie des cuves, l'optimisation des plans de chargement des nouvelles gestions cherche à réduire la fluence au point chaud de la cuve. Des règles de positionnement des assemblages ont été définies visant à minimiser la réactivité des assemblages faisant face au point chaud de la cuve (assemblages 3 tours ou 4 tours), le plan de chargement restant néanmoins de type out-in.

Ces règles sont actuellement mises en oeuvre sur la plupart des tranches REP. Elles conduisent à une réduction notable de la fluence intégrée de la cuve sur une durée de 40 ans (la réduction par rapport aux évaluations faites avec la gestion d'origine est significative : de 20 % à 40 %).

Néanmoins ces mesures conduisent à une légère augmentation des facteurs radiaux de point chaud, une distribution radiale de puissance modifiée, et ainsi une dispersion accrue des épaissements de décharge des assemblages, pouvant conduire à une légère augmentation de l'irradiation de l'assemblage le plus épuisé.

3 - CHOIX DES GESTIONS FUTURES

Une réflexion globale a été menée sur les évolutions des gestions de l'ensemble des paliers du Parc REP, la stratégie générale étant basée sur les objectifs suivants :

- 1 - L'amélioration de la compétitivité du Parc nucléaire en exploitation. La modification de la gestion du cœur permet d'agir sur plusieurs composantes du coût d'exploitation du Parc. Les paramètres majeurs de cette optimisation sont principalement la longueur des campagnes impactant directement la disponibilité du Parc, le coût du combustible nucléaire très dépendant de l'épuisement de décharge et le placement des arrêts de tranches prenant en compte la saisonnalisation de la demande. Il est justifié de faire évoluer ces gestions dès qu'un progrès sur le combustible le permet, et notamment lorsque le taux d'épuisement de décharge peut être accru de manière significative.
- 2 - L'augmentation de la flexibilité du parc nucléaire vis-à-vis de la demande dans une situation de concurrence, par une optimisation du placement des arrêts accommodant mieux la saisonnalisation de la courbe de charge. Cette meilleure réactivité du Parc est obtenue grâce à l'introduction d'une modulation des longueurs de cycles de plus ou moins 2 mois, associée à l'introduction de recharges d'assemblages combustibles dont le nombre est alternativement augmenté et réduit de 8 assemblages. Cette flexibilité dans la composition des recharges permet de disposer d'une souplesse supplémentaire de nature à accommoder au plus près les besoins du marché en réduisant l'appel à l'énergie fossile,
- 3 - Les conséquences positives sur l'aval du cycle du combustible de l'augmentation du taux moyen d'irradiation dans le cadre d'une politique de retraitement avec mono-recyclage. A production électrique du Parc nucléaire constante, l'augmentation de l'épuisement du combustible entraîne un nombre d'assemblages usés sur l'aval du cycle diminué d'autant. L'objectif d'EDF s'inscrit dans la recherche d'une bonne maîtrise de l'équilibre des flux de combustibles irradiés.
- 4 - La politique de stabilisation du référentiel des exigences de sûreté entre deux visites décennales. Toute évolution de gestion mise en oeuvre entre deux visites décennales doit respecter le référentiel des exigences de sûreté en vigueur (les grands objectifs de sûreté et les règles associées). En effet, une évolution « au fil de l'eau » du référentiel de sûreté fragiliserait la politique de lotissement décennal des modifications. Cependant, des évolutions de méthodologies peuvent être instruites sans remettre en cause ce référentiel. Il en est de même pour des modifications matérielles du réacteur nécessitées par le changement de gestion lui-même et non par une évolution des exigences de sûreté.

Les résultats de cette analyse globale sur le parc REP ont conduit EDF à fixer son choix des gestions futures de la manière suivante :

- pour les 20 tranches 900 utilisant du MOX : la gestion Parité MOX sera mise en oeuvre dès le début 2005, avec un basculement des 20 tranches sur une courte période. Cette gestion permet d'amener le taux de combustion du MOX à un niveau équivalent à celui du l'UO₂ (environ 46 GWj/t en moyenne) tout en respectant la limite actuelle de 52 GWj/t. Les longueurs de campagne sont de 12 mois, comme la gestion GARANCE utilisée actuellement.

- pour les 20 tranches 1300, la gestion GALICE sera mise en œuvre dès 2006 avec un basculement des 20 tranches sur la période 2007-2010. Cette gestion permet de porter l'irradiation moyenne de décharge à 55 GWj/t, et nécessite de porter la limite actuelle autorisée de 52 GWj/t à 62 GWj/t. Cette gestion requiert l'utilisation d'un combustible à performances accrues (utilisation d'alliage avancé pour le gainage et la structure, tel le matériau M5 de FRAMATOME ou le Zirlo de Westinghouse), et à enrichissement augmenté à 4,5 % en U235. Pour une recharge de 56 assemblages, la longueur de campagne est de 18 mois, similaire à celle de la gestion GEMMES (tiers de cœur enrichi à 4%) actuellement en exploitation.
- pour les 4 tranches du palier N4, la gestion ALCADÉ a été retenue pour une mise en œuvre à partir de 2007. Cette gestion par tiers de cœur à enrichissement de 4 % permet d'atteindre une longueur de campagne de 17 mois, analogue à celle du palier 1300, pour un épuisement moyen de décharge d'environ 47 GWj/t et un épuisement maximal respectant la limite actuelle de 52 GWj/t.

De plus, la flexibilité réduite de la gestion GALICE (chargement successif de 64 et 48 assemblages neufs, soient + 8 et - 8 assemblages vis à vis de la taille standard de la recharge de 56 assemblages) sera étudiée pour une mise en œuvre au plus tôt sur le palier 1300 à l'équilibre de la gestion Galice à l'horizon 2012.

La mise en œuvre de ces évolutions de gestions et des évolutions de produits associées passe en préalable par la fiabilisation de l'exploitation des cœurs. En effet, la maîtrise du phénomène d'usure des crayons combustibles par fretting au droit de la grille inférieure, générique au palier 1300 MWe, nécessite la généralisation à brève échéance des produits combustibles renforcés.

4 – IMPACT DES NOUVELLES GESTIONS SUR L'EXPLOITATION DES REACTEURS

La mise en œuvre de nouvelles gestions à performances accrues doit également conduire au maintien ou à l'amélioration des conditions d'exploitation, permettant de garantir l'atteinte des objectifs de sûreté, de disponibilité, d'environnement et de radioprotection des tranches, et ainsi, confirmant l'intérêt économique effectif de cette évolution.

4 – 1 - Disponibilité

Le premier facteur qui joue sur la disponibilité des tranches est la longueur des cycles. Le coefficient de disponibilité (Kd) s'améliore lorsque l'on passe d'une durée de cycle annuelle à une durée de 18 mois. L'expérience le confirme avec un gain d'environ 4% entre le palier 900 MWe CPY géré en cycle annuel et le palier 1300 MWe géré en cycle de 18 mois. Aussi, un gain significatif en disponibilité est attendu avec le passage à la gestion ALCADÉ sur les réacteurs N4 grâce à l'allongement des campagnes de 11 à 17 mois. C'est l'intérêt essentiel de cette évolution de gestion qui nécessite cependant d'adapter les programmes de maintenance. Les deux autres évolutions de gestion Parité MOX et GALICE ne s'accompagnent pas de changement significatif des longueurs de cycle.

Par ailleurs, l'augmentation du taux de combustion de décharge du combustible, associée à la mise en œuvre des nouvelles gestions, entraîne une augmentation de la puissance résiduelle stockée dans les piscines. Le respect de la température maximale acceptable de 50°C peut conduire, suivant la température de la source froide, à un allongement du temps de refroidissement en cuve avant déchargement, pouvant impacter la durée de l'arrêt. L'ordre de grandeur de cet allongement est néanmoins limité au maximum à une demie journée pour les gestions Parité MOX et GALICE et à une journée pour la gestion ALCADÉ. De façon à réduire le risque d'impact sur la durée des arrêts, les performances du système de refroidissement des piscines seront renforcées.

4-2 - Environnement

Les rejets chimiques et radio-chimiques les plus sensibles aux évolutions de gestion concernent le bore et le tritium. En effet ces nouvelles gestions, associées à une augmentation du taux de combustion du combustible et des longueurs de campagnes, conduisent à une augmentation de la réactivité des cœurs et ainsi nécessitent un apport supplémentaire en bore en début de campagne. Or le bore est la source principale de formation de tritium dans le réfrigérant primaire. Par ailleurs, les arrêtés de rejets tant sur le bore que sur le tritium, constituent actuellement une contrainte forte pour l'exploitation. Cet aspect est particulièrement important pour les tranches 1300 MWe qui sont déjà exploitées aujourd'hui en campagnes de 18 mois (gestion GEMMES).

L'augmentation des concentrations en bore est limitée par l'introduction de poisons consommables dans le combustible : l'oxyde de gadolinium, mélangé directement à l'oxyde d'uranium. Le nombre de crayons gadoliniés introduits est ajusté pour permettre le contrôle de la réactivité du cœur et l'aplatissement de la nappe de puissance sans trop pénaliser la longueur de la campagne.

Ainsi, sur le palier 1300 MWe, le passage de la gestion GEMMES à la gestion GALICE se fera en augmentant la proportion d'assemblages gadoliniés de 37% à 64%. Pour le palier N4, qui n'utilise pas actuellement de poison consommable, la proportion d'assemblages gadoliniés de chaque recharge en gestion ALCADÉ sera de 60%. Malgré l'utilisation de poisons consommables, l'évolution des gestions conduira à augmenter les rejets tritium d'environ 20% sur le 1300 et 50% sur le N4. Les arrêtés de rejets concernant le tritium devront donc être réexaminés pour prendre en compte ces nouvelles gestions.

Les rejets bore sont plus facilement gérables dans la mesure où celui-ci peut être recyclé. Toutefois la teneur en silice des différentes capacités peut atteindre des valeurs nécessitant un renouvellement complet de l'eau borée de ces capacités. Néanmoins, la volonté de l'Autorité de Sûreté étant de réduire fortement ce type de rejet, une grande vigilance sera nécessaire dans la gestion du bore.

4 – 3 - Dosimétrie

La dosimétrie collective sur site est principalement liée aux opérations de maintenance et dépend relativement peu du combustible. Néanmoins l'augmentation du taux de combustion de décharge se traduira physiquement par des sources émettrices de flux gamma et neutrons plus importantes.

Par ailleurs, dans le cas du combustible MOX neuf, la présence de certains éléments tel l'Américium 241 impacte la dosimétrie lors des opérations de réception du combustible, et ce d'autant plus que la teneur en plutonium est importante. Le passage à la gestion Parité MOX, correspondant à une augmentation de la teneur limite en plutonium de 7% à 8,6%, a conduit EDF à s'orienter vers un déchargement sous eau des assemblages MOX, grâce à la mise en œuvre du nouvel emballage de transport du combustible MOX neuf appelé MX8.

Les estimations de l'augmentation de la dosimétrie liée aux opérations de réception et d'évacuation du combustible sont, à conditions identiques, de 10 % pour la gestion Parité MOX (avec prise en compte du nouvel emballage MX8), 30% pour la gestion GALICE et 20% pour ALCADÉ, soit respectivement par rapport à la dosimétrie totale + 0,3%, +1,4% et +1%.

De plus, afin de limiter ces augmentations sur les paliers 1300 MWe et N4, les châteaux de transport TN13/2 ont d'ores et déjà été équipés d'un sur-blindage constituant une protection neutronique.

Pour les tranches utilisant du combustible MOX, un nouveau château de transport du combustible MOX usé, le TN112, est en cours de développement, dans le but de réduire la dosimétrie lors de l'évacuation, tout en limitant le temps de refroidissement en piscine de désactivation.

4 – 4 - Chimie du circuit primaire

Comme indiqué ci-dessus, les gestions GALICE et ALCADÉ s'accompagnent d'une augmentation des concentrations en bore initiales. Il en résulte une baisse du pH en début de cycle qui peut favoriser l'apparition de dépôts de corrosion sur le combustible. Ces dépôts, en partie haute de l'assemblage, peuvent conduire dans certains cas à des anomalies de la distribution axiale de puissance des assemblages les plus chauds du cœur. Par ailleurs, la remise en solution de ces produits de corrosion activés, au cours de la phase d'oxygénation lors de la mise à l'arrêt du réacteur, peut conduire à une re-déposition sur l'ensemble du circuit primaire et en particulier dans les zones froides telles les générateurs de vapeur. Bien qu'il ne soit pas le seul paramètre influant, le pH inférieur à 6,9 constitue une condition de fonctionnement à risque accru.

La solution retenue pour rétablir un pH supérieur à 6,9 consiste à neutraliser l'acidité du bore par des teneurs en lithine plus forte en début de cycle. Une expérimentation réalisée en réacteur de puissance, avec une teneur en lithine à 3,5 ppm (contre 2,2 ppm aujourd'hui), a montré l'absence d'effet néfaste sur les composants du circuit primaire et en particulier sur la tenue à la corrosion des gaines du combustible. En conséquence, il est prévu d'utiliser ce type de chimie pour les gestions GALICE et ALCADÉ.

Conclusion

L'impact des nouvelles gestions sur l'exploitation est relativement faible compte tenu des dispositions prises pour limiter ou supprimer les contraintes générées. La gestion des rejets apparaît cependant le point le plus délicat dans le contexte d'une réglementation qui évolue constamment et se renforce dans ce domaine.

5 – IMPACT DES NOUVELLES GESTIONS SUR LE CYCLE DU COMBUSTIBLE

Aujourd'hui, compte tenu des gestions en cours d'exploitation et de l'épuisement de décharge moyen du combustible d'environ 45 GWj/t, la quantité de combustibles irradiés (CI) produite par an est d'environ 1100 tML/an.

La stratégie de l'aval du cycle du combustible mise en œuvre par EDF s'appuie sur le retraitement du combustible (850t/an) et le recyclage des matières valorisables issues du retraitement. Le plutonium séparé via le retraitement fait l'objet d'un recyclage sous forme de combustible MOX (100t/an). La mise en œuvre de cette stratégie s'appuie sur l'utilisation de l'usine de retraitement de la Hague et l'usine MELOX de fabrication de combustible MOX.

Cette stratégie permet :

- le conditionnement sûr et durable des déchets HAVL grâce notamment à la vitrification;
- la stabilisation à terme de la quantité d'assemblages UO₂ en attente;
- le recyclage des matières énergétiques valorisables, uranium de retraitement et plutonium, et la concentration in fine du plutonium dans les assemblages MOX usés, sous un volume réduit, en tant que ressource valorisable à plus long terme dans de futurs combustibles ou réacteurs

.-

Lors de la précédente décennie, le cycle, et en particulier l'aval, a bénéficié d'améliorations importantes qui ont porté principalement sur:

- l'optimisation des procédés: extraction en 2 cycles au lieu de 3, adaptation de la gestion des effluents;
- l'optimisation de la gestion des déchets et la diminution des volumes de déchets HAVL;
- la mise en place de nouveaux ateliers :
 - o R4 (remplacement de MAPu pour le plutonium),
 - o ACC (compactage des coques au lieu de cimentation),
 - o UCD et URP (décontamination des déchets et possibilité de recyclage du plutonium).

Dans les prochaines années, les évolutions de gestion des cœurs qui concernent à la fois l'amont et l'aval du cycle sont liées au combustible MOX (parité) et aux évolutions des taux de combustion de l'UO_x.

L'adoption de la gestion Parité MOX sur les 20 tranches REP 900 Mwe dédiées au MOX conduit à utiliser du combustible MOX énergétiquement équivalent à de l'UO₂ enrichi à 3.7%, donc à teneur accrue en plutonium (8.5%). L'utilisation annuelle de 100t de MOX en gestion Parité MOX contribue ainsi à la bonne gestion des quantités de plutonium séparé issu du retraitement (8,5t).

L'adoption de nouvelles gestions à haut taux de combustion sur le Parc REP permet d'envisager à l'horizon d'une décennie d'augmenter l'épuisement de décharge du combustible à environ 55 GWj/t qui correspond, à énergie produite équivalente, à réduire le volume de combustibles irradiés produit par an et contribue à la bonne maîtrise de l'équilibre des quantités de combustibles usés entreposés en piscine de refroidissement, en cohérence avec les capacités d'entreposage existantes, éventuellement adaptées.

Globalement, l'accroissement des taux de combustion entraîne, pour une même production, une réduction des déchets activés de structure, une meilleure utilisation de la matière irradiée et une consommation in situ accrue de plutonium, mais aussi une quantité accrue de certains actinides mineurs comme le curium dont l'impact doit être pris en compte.

L'augmentation des taux de combustion est accompagnée en tant que de besoin d'évolutions ou progrès similaires dans les installations du cycle en collaboration étroite avec les industriels du cycle. Ces actions sont cadencées de telle sorte que les autorisations administratives permettent le moment venu leur mise en œuvre, en particulier sous les aspects sûreté, radioprotection et rejets. Ceci a fait l'objet notamment d'un dossier élaboré par l'ensemble des industriels du cycle (Cogema, Framatome, Andra, FBFC, Transnucléaire) et EDF présenté à l'Autorité de Sûreté Nucléaire.

Dans le domaine de l'aval du cycle, ces actions concernent par exemple le conditionnement des déchets (volume, teneurs en actinides mineurs tel le curium dans les verres, type de conditionnement...). La diminution des rejets de l'usine de La Hague est une autre des ces actions. Enfin, de nombreux programmes concernent l'augmentation de l'efficacité de l'usine pour en parfaire l'optimisation industrielle.

6 - CONCLUSIONS

Dans le contexte de l'ouverture du marché européen des producteurs d'électricité, les enjeux économiques liés aux évolutions de gestion du combustible sont très importants pour EDF.

La priorité est la maîtrise du phénomène d'usure des crayons, elle permettra la mise en oeuvre des nouvelles gestions sur la base de produits combustible fiabilisés.

Ces gestions ont été décidées sur la base d'une neutralité vis-à-vis des contraintes d'exploitation qu'il est déterminant de préserver, afin de maintenir la maîtrise de la sûreté d'exploitation et de garantir l'atteinte des objectifs de disponibilité, d'environnement et de radioprotection du Parc.

Les actions menées dans le cadre du cycle du combustible doivent permettre d'accompagner les objectifs de gestion des cœurs et contribuer à assurer la compétitivité à long terme de la production nucléaire.

