

Fontenay-aux-Roses, le 28 mai 2014

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN N° 2014-00210

Objet : Réacteurs électronucléaires - EDF
Paliers 900 MWe et 1300 MWe

Critères d'usure admissible des guides de grappe

Réf. : Lettre ASN CODEP-DCN-2014-003117 du 30 janvier 2014

Par lettre citée en référence, vous demandez l'avis et les observations de l'IRSN sur la suffisance de l'analyse effectuée et sur l'acceptabilité au plan de la sûreté des critères d'usure admissible des guides de grappe de commande (GDG) des paliers 900 MWe et 1300 MWe formulées par EDF.

Les GDG des tranches du palier 900 MWe sont constitués d'un « *guidage continu* » d'environ 1 m de hauteur et de huit « *cartes de guidage* » espacées d'environ 300 mm. Ceux du palier 1300 MWe sont constitués d'un guidage continu d'environ 600 mm de hauteur et de onze cartes de guidage espacées d'environ 300 mm. Le guidage continu est constitué de fourreaux et tubes fendus. Les cartes de guidage comportent des canaux qui permettent le passage des 24 crayons absorbants de la grappe de commande. Les schémas n° 1 et 2 en annexe 2 présentent une section d'une carte de guidage, ainsi qu'une section du guidage continu d'un GDG d'une tranche 1300 MWe. Les canaux dits E qui sont cités dans la suite de cet avis sont repérés sur ces schémas. Ils sont au nombre de 4.

Adresse courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

Les grappes de commande et les GDG contribuent à la fonction de sûreté « maîtrise de la réactivité » dans les conditions de fonctionnement des domaines de dimensionnement et complémentaire. Le critère de sûreté associé s'exprime par une exigence sur le temps de chute minimum de toutes les grappes. Pour les analyses d'accidents, dans le rapport de sûreté, deux valeurs conservatives sont considérées :

- 2,85 s sans séisme et 3,86 s avec séisme pour les tranches 900 MWe,
- 2,24 s sans séisme et 3,07 s avec séisme pour les tranches 1300 MWe.

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre B 440 546 018

Suite à la réunion du groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires le 11 mai 2006, consacrée à l'examen de la gestion du vieillissement des réacteurs à eau sous pression, EDF a réalisé des expertises sur trois GDG déposés du palier 900 MWe, dont l'un avait été déposé suite à une augmentation du temps de chute de grappe. Ces expertises ont mis en évidence des zones faiblement

usées au niveau des cartes de guidage et du guidage continu. EDF a conclu que l'origine de l'augmentation du temps de chute des grappes ne peut être attribuée à une usure du GDG.

EDF a alors développé et qualifié un procédé d'examen in situ d'usure des GDG et a réalisé à l'aide de cet outillage, en 2012 et 2013, l'examen de l'ensemble des GDG de quatre réacteurs du palier 1300 MWe et de trois réacteurs du palier 900 MWe. Certains guides de grappe des tranches du palier 1300 MWe présentent d'ores et déjà des usures importantes. Les guides de grappe des tranches du palier 900 MWe présentent des usures moindres.

EDF a transmis en 2013 à l'ASN un dossier établissant un critère d'usure maximal pour les guides de grappes. Ce dossier fait l'objet du présent avis de l'IRSN.

Critères d'usure admissible

Contenu du dossier d'EDF

Pour l'établissement du critère d'usure maximal des GDG, EDF retient les canaux situés à l'intérieur des cartes de guidage, repérés E sur le schéma n° 1 en annexe 2. EDF considère ces canaux comme précurseurs à l'égard de l'usure des ligaments, compte tenu qu'ils présentent les ligaments les plus courts, d'une longueur d'environ 3 mm. Ces ligaments subissent une usure par frottement ou par impacts répétés des crayons absorbants de la grappe de commande. EDF définit trois types de ligament usé (partiellement usé, fortement usé, totalement usé), représentés sur le schéma n° 3 en annexe 2. Dans le cas du ligament totalement usé, le crayon de la grappe situé dans le canal E est susceptible de sortir de son logement.

EDF définit en premier lieu un « *domaine admissible* » où le crayon peut se trouver hors de son logement. Les limites de ce domaine garantissent l'absence d'interférence avec des crayons voisins, le maintien du comportement élastique du crayon et l'absence d'obstacle empêchant sa réinsertion dans son canal en cas de chute de grappe. Ce domaine est représenté sur le schéma n° 4 en annexe 2. Pour EDF, tant que le crayon reste dans ce domaine admissible, la chute de la grappe est assurée.

Il convient de noter que, pour que le crayon sorte complètement de son canal de guidage, sa déflexion minimale doit être de 12,22 mm dans le cas du palier 900 MWe et 12,25 mm dans le cas du palier 1300 MWe.

Ensuite, EDF détermine le nombre de cartes de guidage successives (en commençant par la plus basse) présentant un ligament totalement usé et pour lequel le crayon pourrait sortir du domaine admissible. En effet, les efforts qui s'appliquent au crayon le déforment ; au-delà d'un certain nombre de cartes usées, le crayon – moins bien tenu – sort du domaine admissible. La démarche d'EDF consiste à déterminer par des calculs par « éléments finis » ce nombre maximal de cartes de guidage totalement usées. Le crayon a été modélisé sous forme de poutre, en le supposant rotulé à ses deux extrémités, en considérant que les ligaments des autres cartes de guidage et du guidage continu sont fortement usés. L'exploitant a réalisé de nombreux calculs en statique et en grands déplacements pour les conditions de fonctionnement normal et de fonctionnement accidentel (accident de perte de réfrigérant primaire + séisme), en considérant, pour les calculs les plus défavorables, que le crayon est soumis à :

- son poids propre,

- différentes configurations d'efforts latéraux au niveau des cartes de guidage totalement usées,
- un effort de coincement du crayon au sommet du guidage continu où le ligament est supposé fortement usé. Le coincement est pris en compte de façon défavorable au sommet du guidage continu et son intensité estimée par calcul est de 40 N pour les conditions de fonctionnement normal et de 100 N pour les conditions de fonctionnement accidentel.

Pour chacune des configurations étudiées, EDF a fait varier l'intensité de l'effort latéral dû à la traînée hydraulique induite par les écoulements, ainsi que le lieu d'application de l'effort. Les valeurs de ces efforts hydrauliques retenus ainsi que leur répartition spatiale sont principalement issus d'une analyse des résultats des essais MAGALY. Ces essais, réalisés à la fin des années 1980, avaient pour but de déterminer l'influence relative des différents écoulements dans le guide de grappe sur l'état vibratoire des crayons. L'exploitation des résultats d'études prospectives de R&D sur l'hydraulique, menés dans les années 80 par AREVA avant les essais MAGALY ont mis en avant l'existence de débits transverses dirigés vers le centre du GDG, situés en dessous des cartes. Selon EDF, ces débits résultent principalement de la rencontre de l'écoulement axial (5 m/s à l'entrée du GDG) avec la carte, qui est un obstacle géométrique. Ces écoulements transverses, évalués à 30 à 40 cm/s au-dessous des cartes de guidage 1 et 2, a conduit l'exploitant à déterminer un effort de plaquage, assimilé à un effort de traînée, de l'ordre de 1 N. Au-delà, les vitesses d'écoulement transverse sont plus faibles. L'usure est donc principalement attendue au niveau des cartes inférieures.

EDF retient qu'un effort latéral par carte de guidage de l'ordre de 1 N est compatible avec les usures vibratoires observées sur le palier 1300 MWe et qu'un effort de 3 N appliqué sur la carte n°2 ou n°3 est une valeur enveloppe de cet effort. Pour EDF, 3 N est une valeur conservatrice de l'effort hydraulique, car un effort de cette intensité plaquerait – selon ses calculs – le crayon contre son logement et annihilerait les vibrations. L'effort réel est donc nécessairement inférieur.

Finalement, l'exploitant a retenu les cas suivants :

- un effort latéral de 2 N sur la deuxième carte de guidage,
- un effort latéral de 3 N sur la deuxième carte de guidage, équivalent à un effort latéral de 1 N sur les trois premières cartes de guidage,
- un effort latéral jugé pénalisant de 3 N sur la troisième carte de guidage. Ce dernier cas, permettant d'évaluer la robustesse des résultats de l'analyse, n'a été étudié que sur le palier 1300 MWe.

Globalement les déformées du crayon restent assez stables selon ces différentes configurations.

Une composante orthoradiale de cet effort a également été prise en compte, mais l'exploitant a précisé que, dans la mesure où l'effort radial est principalement dirigé vers le centre du guide de grappe, la composante orthoradiale doit rester faible par rapport à l'effort radial. Son intensité est considérée de l'ordre de 1 N sur une des trois premières cartes de guidage. Cet effort est pris en

compte en considérant que le crayon est sorti de son logement au niveau des cartes considérées totalement usées.

De l'ensemble de ces calculs, EDF a conclu à l'admissibilité des usures suivantes, applicable au fonctionnement normal et aux conditions accidentelles (séisme + accident de perte de réfrigérant primaire), le cas des conditions accidentelles étant toujours limitatif :

- pour le palier 900 MWe :
 - une usure totale des ligaments sur 4 niveaux de cartes de guidage successifs d'un même canal est acceptable¹ pour les canaux E, dans le cas où le guidage continu n'est pas totalement usé ;
 - une usure totale des ligaments sur 3 niveaux de cartes de guidage successifs est acceptable pour les canaux E, dans le cas où le guidage continu est totalement usé ;
- pour le palier 1300 MWe :
 - une usure totale des ligaments sur 6 niveaux de cartes de guidage successifs d'un même canal est acceptable pour les canaux E, dans le cas où le guidage continu est totalement usé sur une hauteur inférieure à 50 mm depuis son sommet ;
 - une usure totale des ligaments sur 5 niveaux de cartes de guidage successifs est acceptable pour les canaux E, dans le cas où le guidage continu est totalement usé sur une hauteur supérieure à 50 mm depuis son sommet.

Au cours de l'instruction, EDF a précisé que ces critères étaient globalement cohérents avec la pratique internationale. Aux Etats-Unis par exemple, la société WESTINGHOUSE retient cinq cartes consécutives totalement usées comme critère de remplacement pour un GDG équivalent à celui présent sur les réacteurs de 1300 MWe français.

Position de l'IRSN

L'IRSN note que l'usure des cartes de guidage des GDG est un phénomène avéré. Pour établir un critère d'usure maximale des GDG, l'exploitant a réalisé de nombreux calculs, dont le résultat n'est jamais un temps de chute des grappes, mais un déplacement maximal d'un crayon. Lors de l'instruction technique, EDF a d'ailleurs indiqué que le critère d'usure admissible des GDG est un critère de maintenance, indépendant du critère de temps de chute, défini dans le cadre du processus de maîtrise du vieillissement des composants. Pour l'IRSN, l'usure des GDG est un phénomène évolutif et peut remettre en cause la sûreté, en empêchant la chute de la grappe de commande ou en augmentant le temps de chute de la grappe au-delà des critères prescrits.

EDF a précisé que le critère d'usure admissible considéré vise à se prémunir du risque potentiel de blocage de la grappe à la sollicitation, mais pas à anticiper une dérive de temps de chute. A cet égard, EDF a rappelé que certains GDG du palier 900 MWe, situés en face d'une tubulure de sortie de cuve et présentant donc un effet plaquant particulièrement important, avaient présenté une dérive de temps de chute de grappe alors qu'ils étaient peu usés, alors qu'un GDG du palier 1300 MWe peut présenter des usures importantes, mais jamais de dérive de temps de chute de grappe. Cependant,

¹ Acceptable signifie que le crayon déformé reste à l'intérieur du domaine admissible au niveau où la flèche est maximale.

L'IRSN estime qu'EDF n'a pas démontré que le critère d'usure admissible qu'il retient n'entraînerait pas des temps de chute pouvant être supérieurs aux requis de sûreté, tant en fonctionnement normal qu'en fonctionnement accidentel, par exemple dans le cas d'un séisme ou d'un accident de perte de réfrigérant primaire.

Pour EDF, l'usure des GDG est un mécanisme de vieillissement identifié du GDG, qui ne constitue pas un écart par rapport à la conception tant qu'elle ne compromet pas l'insertion de la grappe de commande et la chute de celle-ci dans l'assemblage combustible lorsqu'elle est requise. L'IRSN considère au contraire que l'usure des GDG est un écart par rapport à la conception et que le GDG usé n'est plus conforme au composant d'origine, dont le rôle est de guider les crayons absorbants de la grappe de commande et d'en permettre la chute, en particulier en cas d'accident. L'usure du GDG par les crayons de la grappe conduit à une augmentation continue du jeu entre le crayon et son canal dans le GDG, ce que l'IRSN considère comme un écart de conformité, le GDG devant conserver son rôle de guidage des crayons de la grappe de commande.

L'IRSN estime que les calculs réalisés par l'exploitant restent théoriques et présentent de nombreuses incertitudes de différentes natures. L'IRSN observe, par exemple, que les résultats dépendent de la valeur de l'effort latéral de plaquage, nécessaire pour faire sortir le crayon absorbant de son canal, et de son lieu d'application. EDF a apporté des précisions sur les valeurs d'efforts retenues. L'IRSN constate aussi que, dans son étude, l'exploitant n'a pas pris en compte les vibrations induites par les effets hydrodynamiques de l'écoulement du fluide autour du crayon. Pour EDF, les effets hydrodynamiques de l'écoulement autour du crayon sont bien pris en compte par la réponse du crayon (amplitude vibratoire et fréquence) déterminée lors des essais MAGALY, les crayons de la grappe étant instrumentés et l'écoulement hydraulique est peu différent dans un GDG usé. L'IRSN précise néanmoins que les essais MALAGY représentent uniquement une configuration de fonctionnement normal. En fonctionnement accidentel, les valeurs d'effort retenues par l'exploitant n'ont pas été validées et ne peuvent pas l'être en l'absence d'essai disponible. Enfin, la chute des grappes devra aussi être validée pour un niveau de séisme de type noyau dur (SND), ce qui n'est pas évoqué par le dossier de l'exploitant. Ainsi, l'IRSN considère qu'il n'y a pas de garantie sur l'exhaustivité de la démarche. Pour l'IRSN, la démarche principalement calculatoire retenue par l'exploitant n'est pas une démarche robuste qui permet de garantir des temps de chute de grappe inférieurs aux critères de sûreté en toute situation.

Par ailleurs, l'IRSN estime que, si le crayon de la grappe de commande est sorti de son guide, il n'est pas exclu qu'il ne puisse pas y rentrer, par exemple dans le cas où les ligaments des cartes de guidage sont totalement usés, mais avec un jeu proche du diamètre du crayon et un bord non uniformément lisse. Sur ce point, EDF a répondu à l'IRSN que le profil d'une carte de guidage totalement usée, observé dans les quelques contrôles réalisés sur les GDG du palier 1300 MWe, était toujours évasé, de sorte que le crayon, même s'il sortait de son logement, serait toujours capable d'y entrer, à condition bien sûr de rester dans le domaine admissible défini par l'exploitant.

Jusqu'à présent, les essais de chute de grappe dans les guides de grappe très usés du palier 1300 MWe restent dans la moyenne des temps de chute et continuent de respecter les critères de sûreté. Néanmoins, ces essais – réalisés en arrêt à chaud – doivent permettre de garantir des temps de chute acceptables dans toutes les situations accidentelles du dossier de sûreté, en particulier lors d'un séisme ou d'un accident de perte de réfrigérant primaire, où les écoulements sont fortement perturbés. Pour l'IRSN, si les crayons sortaient de leur logement, leurs mouvements transverses dans les conditions accidentelles pourraient entraîner des temps de chute beaucoup plus importants. EDF estime que la souplesse d'un crayon est limitée, puisque par exemple les calculs de déformée d'un crayon avec 9 cartes totalement usées (soit 2,5 m de longueur libre) conduit à une déflexion de 22,6 mm pour un effort latéral de 3 N sur la troisième carte de guidage. L'IRSN considère que les arguments avancés par EDF n'assurent pas du respect du critère de limitation du temps de chute de grappe, en particulier en situation accidentelle.

Conclusion

L'usure totale d'un ligament d'une carte de guidage constitue un écart de conformité pour le GDG dans son ensemble. Un programme de remplacement doit être défini pour rétablir la conformité.

Les études réalisées par l'exploitant et résumées dans le présent avis visent à couvrir le cas où l'usure totale d'un ligament d'une ou plusieurs cartes de guidage aurait été atteinte et à démontrer que la chute de grappe n'est pas empêchée. Précisément, les études de l'exploitant visent à démontrer que l'usure totale du ligament E d'une ou plusieurs cartes de guidage n'autorise que des déformations limitées du crayon, garantissant, en toute situation, son maintien à l'intérieur d'un domaine admissible situé à l'extérieur de son canal de guidage. Pour EDF, le maintien du crayon dans ce domaine admissible est la garantie qu'aucun coincement ne se produira lors de la chute de grappe, le crayon pouvant retourner dans son logement sans rencontrer d'obstacle particulier.

Pour l'IRSN, les calculs réalisés par l'exploitant ne constituent pas une démonstration probante du bon comportement des grappes dans les GDG usés et du respect de leur temps de chute, en particulier en situation accidentelle. En effet, la définition du domaine admissible par l'exploitant est indépendante du temps de chute de la grappe, les frontières de ce domaine ayant été établies sur des critères principalement géométriques et non sur des essais de chute. De plus, si le crayon sort de son logement, rien n'indique qu'il sera effectivement maintenu dans le domaine admissible, en particulier en situations accidentelles pour lesquelles l'exploitant ne dispose pas de données validées par des essais. L'IRSN note de plus que l'exploitant n'a pas étudié le comportement de la grappe dans un GDG usé dans le cas du séisme SND.

L'IRSN considère qu'une démarche prudente doit être maintenue à l'égard de l'usure des GDG.

Pour l'IRSN, la garantie du retour du crayon dans son logement est apportée dès lors que le crayon ne sort effectivement pas du canal de guidage usé.

Aussi, l'IRSN estime que la déflexion du crayon ne doit pas excéder 12,22 mm pour le palier 900 MWe et 12,25 mm pour le palier 1300 MWe afin que le crayon ne sorte jamais de son canal. Or la détermination du nombre de cartes de guidage sans usure totale qui garantisse de ne pas dépasser ces valeurs de déflexion est absente du dossier d'EDF pour les conditions accidentelles. L'IRSN considère

The first part of the paper is devoted to a general discussion of the
fundamental principles of the theory of the structure of the
crystal lattice and the role of the interatomic forces in the
determination of the properties of the crystal.

The second part of the paper is devoted to a detailed discussion of the
properties of the crystal lattice and the role of the interatomic forces in the
determination of the properties of the crystal.

References

1. A. I. Kitaigorodskii, *Introduction to the Theory of Crystal Structure*, Moscow, 1967.
2. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.
3. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.
4. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.
5. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.
6. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.
7. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.
8. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.
9. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.
10. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.

References

1. A. I. Kitaigorodskii, *Introduction to the Theory of Crystal Structure*, Moscow, 1967.
2. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.
3. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.
4. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.
5. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.
6. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.
7. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.
8. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.
9. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.
10. A. I. Kitaigorodskii, *Crystal Chemistry*, Moscow, 1967.

