

Fontenay aux Roses, le 22 octobre 2020

Madame ou Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2020-00162

Objet : EDF – REP – Paliers CP0, CPY et 1300 MWe – Pertinence des critères du chapitre IX des règles générales d'exploitation associés aux températures des différents auxiliaires des groupes électrogènes de secours

Réf. : [1] Saisine de l'ASN - CODEP-DCN-2018-011640 du 2 mars 2018.
[2] Avis IRSN/DSR n° 2007-395 du 30 novembre 2007.
[3] Avis IRSN n° 2012-00345 du 25 juillet 2012.
[4] Courrier ASN/DCN – Dép-DCN-0072-2008 du 20 février 2008.
[5] Courrier ASN/DCN – CODEP-DCN-2012-046701 du 22 novembre 2012.
[6] Avis IRSN n° 2020-00101 du 30 juin 2020.

1. INTRODUCTION

Les réacteurs du parc nucléaire en exploitation sont tous équipés de deux groupes électrogènes de secours à moteur Diesel, communément appelés diesels. Chacun d'entre eux dessert une des deux voies d'alimentation électrique redondantes qui alimentent les systèmes de sauvegarde de l'installation en cas de perte des sources électriques externes.

Des températures extérieures élevées peuvent dégrader le refroidissement des diesels, contraignant EDF à revoir à la baisse la puissance qu'ils peuvent fournir. Les diesels pourraient alors ne plus être en mesure de délivrer la puissance électrique nécessaire aux systèmes permettant le repli et le maintien en état sûr du réacteur en cas d'accident.

Pour vérifier les performances des circuits de refroidissement, EDF contrôle périodiquement que les valeurs des températures des fluides participant au fonctionnement du diesel restent en deçà de valeurs maximales, qui font l'objet de critères du chapitre IX des règles générales d'exploitation (RGE).

Certains critères, spécifiquement destinés à évaluer la capacité des diesels à fonctionner par température extérieure élevée, avaient été introduits par EDF à l'issue de deux expertises de l'IRSN en 2007 [2] (pour les réacteurs de 900 MWe) et en 2012 [3] (pour les réacteurs de 1300 MWe), dont les recommandations avaient donné lieu à des demandes de l'ASN ([4], [5]). Cependant, les valeurs auxquelles EDF a fixé les critères n'ont pas fait l'objet d'une expertise de la part de l'IRSN.

Par ailleurs, depuis ces expertises, les températures extérieures considérées ont fait l'objet de révisions, généralement à la hausse, dans le cadre de la mise en application des référentiels « grands chauds » destinés à prendre en compte l'évolution des conditions climatiques au cours des 30 prochaines années. Les diesels doivent donc désormais être opérationnels sous des ambiances plus contraignantes.

Par la saisine en référence [1], l'ASN sollicite l'avis de l'IRSN sur le caractère acceptable au regard de la sûreté des critères relatifs à la température des fluides servant au fonctionnement des diesels. Cette demande concerne particulièrement les hypothèses relatives à l'échauffement de l'air avant son aspiration au niveau des turbocompresseurs et des aéroréfrigérants, ainsi que les critères de température relatifs aux circuits de liquide de refroidissement et des gaz d'échappement.

2. IMPACT D'UNE TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE ÉLEVÉE SUR LA PUISSANCE DU DIESEL

Chaque diesel possède deux circuits de refroidissement véhiculant un liquide de refroidissement à base d'eau glycolée : un circuit d'eau « haute température » (HT¹) et un circuit d'eau « basse température » (BT²). Afin de préserver l'équilibre thermique du système, ces deux circuits cèdent leurs calories dans des échangeurs refroidis par l'air ambiant en circulation forcée (« aéroréfrigérants »).

Par ailleurs, l'air servant de comburant dans les chambres de combustion est puisé directement (pour les réacteurs de 1300 MWe) ou indirectement (pour les réacteurs de 900 MWe) dans l'environnement du bâtiment abritant le diesel.

Par température extérieure élevée, le risque existe donc, d'une part, que l'air ne soit plus assez dense pour assurer pleinement sa fonction de comburant, d'autre part, que les circuits de refroidissement n'évacuent plus suffisamment de chaleur. EDF serait alors contraint de réduire la puissance du moteur, d'une part, pour ne pas que la température de l'air comburant ou la température d'eau BT excède la limite initialement définie par le motoriste³, d'autre part, afin que la température de l'eau HT reste compatible avec ce que peuvent subir les matériels de son circuit et ne conduise pas non plus à son ébullition⁴. En outre, un refroidissement insuffisant de l'air comburant par le circuit BT pourrait *in fine* conduire à une augmentation de la température des gaz d'échappement, causant un risque de détérioration des turbines des turbocompresseurs.

Pour déterminer la puissance maximale que les diesels peuvent fournir par température extérieure élevée, il est donc nécessaire de connaître les températures de l'air comburant, de l'eau BT, de l'eau HT et des gaz d'échappement dans ces conditions.

Or les essais périodiques des diesels sont réalisés à des températures ambiantes modérées, ce qui ne permet pas de déterminer directement les températures de ces fluides par température ambiante élevée.

Pour se prononcer sur la bonne réfrigération du diesel lorsque la température ambiante est élevée, EDF utilise actuellement un modèle simplifié reposant sur des données issues du dimensionnement d'origine des diesels. Ce modèle repose sur :

- des hypothèses portant sur la valeur de l'échauffement de l'air avant son aspiration par les turbocompresseurs ou par les aéroréfrigérants ;
- une modélisation des aéroréfrigérants, supposant que leurs performances en « grand chaud » peuvent être extrapolées directement à partir des relevés effectués à une température extérieure quelconque.

¹ L'eau HT refroidit les chemises et les culasses, qui montent fortement en température lors de la combustion du carburant.

² L'eau BT refroidit l'air comburant après son passage dans les turbocompresseurs et l'huile de lubrification du moteur.

³ La puissance pouvant être développée de façon continue par un moteur Diesel est notamment définie par des limites portant sur ces deux températures. À défaut, il serait nécessaire de réduire la puissance du moteur pour lui éviter des contraintes mécaniques et thermiques excessives.

⁴ L'ébullition de l'eau HT causerait une forte dégradation de ses capacités à refroidir le moteur.

3. ANALYSE DE L'IRSN

3.1. PERIMETRE DE L'EXPERTISE

L'IRSN a considéré le fonctionnement et le refroidissement des diesels par température ambiante élevée jusqu'aux températures dites de « redimensionnement⁵ » des référentiels grands chauds. Les cas de températures supérieures, relevant de l'agression canicule, n'ont pas été examinés étant donné que les critères analysés ne donnent déjà pas satisfaction aux températures de redimensionnement.

Le cas des réacteurs du palier N4 n'est pas abordé dans cette analyse car les critères concernés par cette expertise n'existent pas actuellement pour ce palier. Cependant, les conclusions de la présente expertise sont a priori transposables à ce palier.

3.2. HYPOTHESES RELATIVES A L'ECHAUFFEMENT DE L'AIR A L'ASPIRATION DES TURBOCOMPRESSEURS ET DES AEROREFRIGERANTS

Comme décrit précédemment, l'établissement d'une relation entre la température ambiante et la température à l'aspiration des turbocompresseurs et des aéroréfrigérants est un des éléments nécessaires pour estimer la puissance maximale pouvant être développée par le moteur Diesel par température extérieure élevée.

Jusqu'à récemment, EDF évaluait l'écart entre la température ambiante et celle à l'aspiration des turbocompresseurs et des aéroréfrigérants en postulant des échauffements identiques pour l'ensemble des diesels d'un même palier, mais sans justifier les valeurs d'échauffement retenues. **L'IRSN considère que cette absence de justification n'est pas acceptable.**

Toutefois, EDF a proposé, au cours de l'expertise, une nouvelle modélisation⁶ du refroidissement des diesels des réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe, qui s'affranchit finalement de l'utilisation de valeurs précises d'échauffement de l'air à l'aspiration des turbocompresseurs et des aéroréfrigérants, en utilisant des facteurs correctifs supposés englober les différentes incertitudes du modèle. **L'IRSN considère que l'utilisation de ces facteurs ne dispense pas EDF de vérifier expérimentalement la validité des hypothèses relatives à l'échauffement de l'air à l'aspiration des turbocompresseurs, afin notamment d'identifier les influences des différents phénomènes pouvant dégrader les performances du refroidissement.**

À cet égard, EDF a réalisé, conformément à un engagement pris lors de l'expertise, des essais durant l'été 2019 « sur plusieurs moteurs diesels de plusieurs sites dans des conditions de température élevée avec une instrumentation spécifique et des conditions d'essai adaptées au grand chaud. L'instrumentation spécifique prévue pour ces essais permettra de vérifier la relation entre la température régnant sur le site et la température à l'aspiration des turbocompresseurs et à l'aspiration des aéroréfrigérants dans des conditions de température élevée proches des conditions du grand chaud pour les CNPE concernés ». À la demande de l'ASN, EDF a poursuivi cette campagne d'essais lors de l'été 2020. **L'IRSN considère cet engagement acceptable.**

En outre, EDF a émis des fiches d'amendement (FA)⁷ déclinant sous formes de critères réévalués les principes de la nouvelle modélisation du refroidissement des diesels des réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe. Ces FA prennent comme référence la température relevée à la station météo du site. **L'IRSN considère que le choix de cette référence est pertinent, dans la mesure où il est cohérent avec la démarche d'établissement des référentiels grands chauds, qui repose sur des températures régnant sur l'ensemble du site, et non à proximité immédiate des diesels. L'IRSN expertisera ces FA et analysera la cohérence de leur contenu avec les valeurs d'échauffement effectivement relevées lors des essais.**

⁵ Les référentiels grands chauds retiennent une température extérieure maximale dite de « redimensionnement », qui remplace la température de dimensionnement d'origine. Au-delà de la température de redimensionnement, le réacteur est considéré en situation d'« agression canicule ».

⁶ La démarche suivie par EDF pour établir cette nouvelle modélisation a fait l'objet d'un avis de l'IRSN [6].

⁷ La déclinaison pratique de la nouvelle modélisation dans les FA fera l'objet d'une expertise dédiée de la part de l'IRSN.

3.3. PERTINENCE DES CRITERES

3.3.1. Lacunes d'ordre général

L'expertise de l'IRSN a montré que les valeurs affectées à certains critères ne sont pas cohérentes avec les objectifs qui leur sont assignés, dans la mesure où le respect de ces critères ne garantit pas que les températures des fluides concernés restent inférieures aux valeurs maximales prescrites pour ces circuits.

Par ailleurs, les valeurs des critères de groupe A⁸ ne prennent pas en compte les incertitudes inhérentes aux instruments de mesure, ce qui peut conduire à conclure à tort au respect de ces critères.

De plus, la validation de certains de ces critères se fait via l'utilisation d'abaques, ce qui s'est révélé être une source supplémentaire d'incertitudes, voire d'erreurs.

En réponse, EDF a traité ces points dans la nouvelle modélisation de la performance du refroidissement des diesels et dans les FA qui l'accompagnent (cf. § 3.2).

L'IRSN considère que les valeurs proposées dans les FA, issues d'une modélisation théorique, doivent être vérifiées expérimentalement. Par conséquent, elles devront être cohérentes avec les paramètres relevés lors des essais réalisés par EDF par température extérieure élevée sur plusieurs diesels (cf. § 3.2).

Néanmoins, sans préjuger de l'acceptabilité des valeurs proposées par EDF dans les FA, l'IRSN a d'ores et déjà constaté qu'EDF cherche effectivement à fixer les valeurs des critères de façon cohérente avec les températures maximales à ne pas dépasser sur les différents circuits, notamment le circuit d'eau BT, le circuit d'eau HT et le circuit des gaz d'échappement.

En outre, les valeurs des nouveaux critères de groupe A prennent en compte les incertitudes des instruments de mesure, ce qui n'est pas le cas actuellement pour les diesels des réacteurs de 900 MWe.

Enfin, ces nouveaux critères sont évalués par le biais de formules mathématiques, ce qui permet de supprimer les incertitudes, mais également les erreurs, qu'engendre actuellement l'utilisation d'abaques pour déterminer les valeurs de certains critères sur les diesels des réacteurs de 900 MWe.

Par conséquent, et dans l'attente de l'expertise des FA, ces points n'appellent plus de remarques de la part de l'IRSN.

3.3.2. Cas particulier de la température à l'aspiration des aéroréfrigérants

La mesure de la température de l'air aspiré par les aéroréfrigérants présente une difficulté particulière, parce qu'elle est à effectuer dans une section présentant une grande surface.

De plus, sur les réacteurs de 900 MWe du palier CPY, une recirculation d'air chaud à l'aspiration des aéroréfrigérants amplifie fortement cette incertitude. À cet égard, EDF a déployé, au cours de l'expertise, une modification matérielle consistant en l'installation de déflecteurs à proximité des aéroréfrigérants destinés à réduire cette recirculation d'air chaud. Les premiers résultats observés lors des essais menés par température extérieure élevée à l'été 2019 montrent une réduction significative de l'échauffement de l'air à l'entrée des aéroréfrigérants. À titre d'exemple, les essais sur le diesel de la voie B du réacteur n° 1 de la centrale du Tricastin montrent, après mise en place des déflecteurs, une suppression de l'échauffement, ainsi qu'une forte homogénéisation de la température.

En outre, le fait que les FA requièrent désormais d'utiliser la température relevée à la station météo du site comme référence permet de s'affranchir des difficultés liées à la prise de mesure à l'aspiration des aéroréfrigérants.

Par conséquent, ce point n'appelle plus de remarques de la part de l'IRSN.

⁸ Sont classés en groupe A les critères d'essais dont le non-respect compromet un ou plusieurs objectifs de sûreté.

IRSN
Le Directeur général
Par délégation
Olivier LOISEAU
*Chef du service d'expertise
des réacteurs à eau sous pression*