

Fontenay-aux-Roses, le 30 juin 2020

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2020-00101

Objet...	EDF - REP - Paliers CP0, CPY et 1300 MWe - Nouvelle modélisation de la performance du refroidissement des groupes électrogènes de secours
Réf(s) ..	[1] Saisine de l'ASN - CODEP-DCN-2018-011640 du 2 avril 2018. [2] Saisine de l'ASN - CODEP-DCN-2020-022058 du 8 avril 2020.
Nbre de page(s) ...	8

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.

Une expertise en cours, menée par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) en réponse à la saisine de l'Autorité de sûreté (ASN) en référence [1] portant sur les critères à retenir pour le contrôle des températures des fluides auxiliaires des diesels de secours des réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe, a mis en évidence que le respect de ces critères ne permet pas de garantir un refroidissement suffisant des diesels en cas de température extérieure élevée. Dans ces conditions, la capacité des diesels à fournir la puissance requise en situation accidentelle pour alimenter les matériels nécessaires au repli et au maintien du réacteur dans un état sûr pourrait être remise en cause.

Afin de collecter des données expérimentales sur les performances du refroidissement des diesels, l'ASN a demandé à EDF de réaliser des essais de fonctionnement sur plusieurs diesels à des températures extérieures élevées (essais « grand chaud ») lors de l'été 2019. À leur issue, l'ASN a formulé à EDF plusieurs demandes. Ainsi, EDF devait, pour la fin de l'année 2019, présenter une nouvelle modélisation de la performance du système de refroidissement des diesels reposant notamment sur les résultats des essais « grand chaud » de l'été 2019. EDF devait également se prononcer sur « *la capacité des diesels, réacteur par réacteur, à assurer leur fonction en cas de températures élevées* ».

Par la saisine en référence [2], l'ASN sollicite l'avis de IRSN sur le caractère acceptable, au regard de la sûreté, des éléments apportés par EDF pour répondre à ces demandes.

Dans ce cadre, l'IRSN a expertisé les éléments transmis par EDF concernant la nouvelle démarche retenue pour modéliser le refroidissement des diesels des réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe. L'analyse a porté sur les hypothèses de la nouvelle modélisation, les premiers résultats obtenus

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

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses

Standard +33 (0)1 58 35 88 88

RCS Nanterre 8 440 546 018

MEMBRE DE

ETSON

EUROPEAN
TECHNICAL SAFETY
ORGANISATIONS
NETWORK

avec cette modélisation, ainsi que sur la proposition d'essais « équivalent grand chaud » destinés à compléter la modélisation.

2 PRESENTATION DE LA NOUVELLE MODELISATION

2.1 Description du refroidissement

Chaque diesel possède deux circuits de refroidissement véhiculant un liquide de refroidissement à base d'eau glycolée : un circuit d'eau « haute température » (HT) et un circuit d'eau « basse température » (BT). Afin de préserver l'équilibre thermique du système, ces deux circuits cèdent leurs calories dans des aéroréfrigérants¹.

Ces circuits de refroidissement sont régulés en température à l'aide de vannes thermostatiques faisant varier le débit d'eau passant dans les aéroréfrigérants². Lorsque la température du liquide est suffisamment élevée, le débit est entièrement dirigé vers les aéroréfrigérants. Dans le cas contraire, une partie (voire la totalité) de l'eau est redirigée à l'entrée du moteur. La technologie des vannes de régulation ne permettant pas d'observer directement leur taux d'ouverture, le débit d'eau passant dans les aéroréfrigérants ne peut pas être connu avec précision.

2.2 Rappels sur l'ancienne modélisation

La connaissance des échanges thermiques dans les aéroréfrigérants est nécessaire pour déterminer la puissance maximale que les diesels peuvent fournir par température extérieure élevée, cette puissance étant limitée par le respect des températures maximales admissibles par les différents fluides servant au fonctionnement du moteur, au premier rang desquels l'eau BT³ et l'eau HT⁴.

À cet égard, les températures d'eau BT et d'eau HT sont fortement influencées par la température ambiante, notamment parce que les fluides sont refroidis par l'air extérieur. Le respect, lors d'un essai périodique (EP) réalisé à une température ambiante modérée, des critères de température maximale d'eau BT/HT, n'est donc pas suffisant pour se prononcer sur la bonne réfrigération du diesel lorsque la température ambiante est élevée. Jusqu'à présent, pour pallier ce problème, EDF utilise un modèle simplifié reposant sur des données issues du dimensionnement d'origine des diesels et qui évalue leurs performances en « grand chaud » en extrapolant directement les relevés effectués à une température extérieure quelconque.

À la suite d'échanges dans le cadre de l'expertise de l'IRSN sollicitée par la saisine en référence [1], qui ont mis en évidence les limites de ce modèle simplifié, et sur la base des résultats des premiers essais « grand chaud » réalisés à l'été 2019, EDF a développé une nouvelle modélisation des performances du refroidissement des diesels.

¹ Ces aéroréfrigérants sont des échangeurs de chaleur constitués de radiateurs refroidis grâce à un flux d'air généré par quatre ventilateurs.

² Les circuits BT des réacteurs de 900 MWe font exception : l'intégralité du débit d'eau BT passe par les aéroréfrigérants, quelle que soit sa température.

³ L'eau BT a besoin d'être correctement refroidie afin de maintenir l'air de suralimentation et l'huile à des températures compatibles avec un fonctionnement durable du moteur. À défaut, il serait nécessaire de réduire la puissance du moteur Diesel pour lui éviter des contraintes mécaniques et thermiques excessives. L'eau BT étant un liquide de refroidissement intermédiaire, l'estimation de la température maximale admissible est complexe et sa quantification est encadrée par une norme, ou par des prescriptions du motoriste s'y substituant. On parle alors de « détarage ».

⁴ L'eau HT refroidit les chemises et les culasses, qui montent fortement en température lors de la combustion du carburant. Un refroidissement insuffisant de l'eau HT dans les aéroréfrigérants pourrait conduire à son ébullition et donc à une forte dégradation de ses capacités à refroidir le moteur. Pour prévenir de cette ébullition, il peut être nécessaire de réduire la puissance du moteur Diesel.

2.3 Principes et objectifs de la nouvelle modélisation

Dans le cadre de la nouvelle modélisation des performances du refroidissement des diesels, EDF a utilisé de nouvelles hypothèses, d'une part pour modéliser les échanges thermiques dans les aéroréfrigérants, d'autre part pour déterminer les valeurs de certaines données d'entrée. Enfin, il a développé le concept d'essais « équivalent grand chaud » destinés à simuler, à partir d'une situation tempérée, un fonctionnement par température élevée et devant permettre, à terme, de s'affranchir de la réalisation d'essais par température extérieure élevée.

3 ANALYSE DE L'IRSN

L'IRSN a analysé les hypothèses sur lesquelles EDF appuie la nouvelle modélisation, les premiers résultats obtenus avec cette modélisation, ainsi que le concept d'essais « équivalent grand chaud ».

3.1 Modélisation du refroidissement

La nouvelle modélisation du refroidissement des diesels repose en premier lieu sur une évaluation des échanges thermiques dans les aéroréfrigérants. Celle-ci suit une approche conventionnelle qui n'appelle pas de remarques de principe de la part de l'IRSN. Toutefois, l'IRSN note qu'EDF utilise des approximations pour déterminer les valeurs de certains paramètres propres à la modélisation des aéroréfrigérants. En outre, l'IRSN a analysé les hypothèses retenues par EDF pour déterminer les valeurs des autres paramètres intervenant dans la modélisation du refroidissement des diesels, que sont la part de la puissance thermique évacuée du moteur par les circuits BT et HT, les débits d'air, d'eau BT et d'eau HT traversant les aéroréfrigérants et l'échauffement de l'air extérieur avant son entrée dans les aéroréfrigérants. **Il a ainsi constaté que de nombreuses valeurs retenues par EDF reposent également sur des approximations.**

L'IRSN admet qu'il ne serait pas réaliste d'espérer déterminer la valeur précise de chaque paramètre pour chaque diesel et le recours à des approximations peut être considéré acceptable, dans la mesure où EDF présente la nouvelle modélisation comme un modèle global du système de refroidissement. En effet, EDF utilise deux facteurs correctifs (un pour le circuit BT, l'autre pour le circuit HT) englobant l'ensemble des phénomènes impactant les performances réelles par rapport à l'attendu théorique (encrassement, dégradations ponctuelles...), y compris les approximations faites dans les hypothèses de modélisation. Néanmoins, les valeurs de ces facteurs correctifs ont été déterminées par EDF à partir des résultats d'essais « grand chaud » menés à l'été 2019 sur une dizaine de diesels parmi les 104 qui équipent les réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe. Étant donné le rôle majeur que la nouvelle modélisation donne à ces paramètres, l'IRSN estime que leurs valeurs doivent être consolidées à l'aide de davantage de mesures *in situ*. **L'IRSN considère donc qu'EDF doit poursuivre sa campagne d'essais « grand chaud » débutée à l'été 2019 pour effectuer un nouveau calage des valeurs des facteurs correctifs.** L'intérêt de ces essais repose également sur d'autres éléments présentés au paragraphe suivant.

Par ailleurs, concernant les caractéristiques physiques du liquide de refroidissement⁵, EDF s'appuie sur des données fournies par le constructeur allant jusqu'à une température de 100 °C. Au-delà, il extrapole ces données jusqu'à la température d'ébullition (109,7 °C). Or cette plage de température est particulièrement critique, du fait du risque d'ébullition, qui dégraderait significativement les échanges thermiques. **L'IRSN considère donc qu'EDF devrait s'appuyer sur des données expérimentales et non sur de simples extrapolations. Ce point fait l'objet d'une observation en annexe 2.**

⁵ Les caractéristiques physiques du liquide de refroidissement, qui varient en fonction de sa température, sont utilisées pour évaluer la qualité des échanges thermiques.

Enfin, EDF devra valider expérimentalement ses hypothèses concernant l'échauffement de l'air avant son aspiration dans les turbocompresseurs. **À défaut, la puissance fournie par les diesels pourrait être surestimée. Ce point fait l'objet de la recommandation n° 1 en annexe 1.**

3.2 Résultats obtenus avec la nouvelle modélisation

L'IRSN a analysé les premiers résultats de calculs obtenus avec la nouvelle modélisation. Ceux-ci ont tout d'abord été comparés à ceux obtenus avec l'ancienne modélisation. Leur cohérence avec les relevés des essais « grand chaud » de l'été 2019 a ensuite été examinée. Enfin, leur compatibilité avec un plus large spectre de température a été analysée en considérant, d'une part les températures caniculaires⁶, d'autre part les températures modérées.

Cette analyse a mis en évidence de nombreuses insuffisances. Notamment, les résultats ne sont présentés que pour une étroite plage de température extérieure qui, parfois, ne s'étend même pas jusqu'à la température maximale de dimensionnement des réacteurs. Ceci rend leur interprétation difficile.

En outre, les températures maximales atteintes par l'eau BT et l'eau HT selon ces calculs dépassent quasi-systématiquement les valeurs actuellement considérées comme des limites admissibles dans les référentiels d'EDF. Si les dépassements relatifs à l'eau BT peuvent être compensés par une réduction de la puissance du moteur, ceux concernant l'eau HT conduisent EDF à proposer un rehaussement des limites admissibles, qui sont actuellement relativement éloignées des températures pouvant être effectivement supportées par les circuits HT. Néanmoins, l'IRSN estime que ce rehaussement doit rester modéré, afin de conserver une marge⁷ vis-à-vis de la tenue de certains organes, au premier rang desquels les vannes de régulation.

L'IRSN considère que la réalisation d'une campagne d'essais « grand chaud » permettrait de collecter des données expérimentales à même de combler ces lacunes et de vérifier la validité de la nouvelle modélisation en grand chaud. **Ces éléments s'ajoutent à ceux énoncés en conclusion de l'analyse des hypothèses de modélisation au paragraphe précédent. Au vu de tous ces éléments, l'IRSN considère qu'EDF doit poursuivre, sur les diesels des réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe, la campagne d'essais « grand chaud » commencée à l'été 2019. Ce point fait l'objet de la recommandation n° 2 en annexe 1.**

Par ailleurs, l'IRSN rappelle qu'EDF n'a pas apporté d'élément démontrant la tenue des manchons compensateurs en élastomère équipant le circuit HT des diesels du palier CPY au-delà de 90 °C, conformément à l'engagement pris dans le cadre de l'examen des agressions à l'occasion de la quatrième visite décennale des réacteurs de 900 MWe.

Lors des essais « grand chaud », un palier de puissance intermédiaire devra être observé afin de prendre en compte le cas de l'« agression canicule ». En effet, dans cette situation, la puissance électrique requise par les scénarios d'accidents est inférieure à celle attendue hors agression canicule. Pour s'assurer que les diesels seront suffisamment refroidis en cas de canicule, il est donc nécessaire de vérifier que la nouvelle modélisation évalue correctement l'influence de la puissance développée par le diesel, en procédant à des relevés de paramètres à différents niveaux de puissance. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 3 en annexe 1.**

⁶ Lorsque la température extérieure dépasse celle prévue lors du dimensionnement, les réacteurs sont considérés en « agression canicule ». La nouvelle modélisation a vocation à couvrir cette situation, qui correspond à des températures plus élevées que celles auxquelles les essais « grand chaud » ont été réalisés.

⁷ Cette marge est nécessaire pour compenser les incertitudes de la nouvelle modélisation.

3.3 Configuration « équivalent grand chaud »

Principe

La nouvelle modélisation postulant que les vannes de régulation sont pleinement ouvertes, elle est uniquement applicable aux essais réalisés par des températures extérieures suffisamment élevées pour provoquer cette pleine ouverture. La probabilité qu'un EP se déroule par une température compatible avec la nouvelle modélisation est donc très faible. Or un des objectifs de la nouvelle modélisation est de pouvoir, à partir des résultats d'EP réalisés par une température extérieure quelconque, évaluer les performances du refroidissement en « grand chaud ». EDF propose donc de forcer la pleine ouverture des vannes de régulation lors des EP, en dégradant volontairement les performances des aéroréfrigérants via l'arrêt d'un des quatre ventilateurs. EDF considère alors pouvoir établir une équivalence entre les résultats ainsi obtenus et ceux qui auraient été observés en « grand chaud ». Pour cela, il applique, à cette situation dégradée, une version adaptée de la nouvelle modélisation, dans laquelle il est supposé que les performances des aéroréfrigérants diminuent d'un quart.

Limites identifiées

L'IRSN a analysé la configuration « équivalent grand chaud » proposée par EDF et exprime deux réserves principales.

Premièrement, l'hypothèse d'EDF selon laquelle les quatre ventilateurs contribuent de façon rigoureusement égale au refroidissement de l'eau BT et HT, chacun étant à l'origine d'exactly un quart du refroidissement, n'est pas démontrée. Il y a alors un risque qu'EDF surestime la perte de performance liée à l'arrêt d'un ventilateur. Dans ce cas, en appliquant la nouvelle modélisation à des relevés issus d'un essai « équivalent grand chaud » sur un diesel n'ayant que trois ventilateurs en service, EDF surestimerait le gain de performance lié à la remise en service du quatrième ventilateur. Ceci le conduirait *in fine* à surévaluer les performances de refroidissement avec quatre ventilateurs en service. **L'IRSN considère donc que l'approximation supposant une contribution égale des quatre ventilateurs n'est pas acceptable.**

Deuxièmement, en se bornant à simuler un refroidissement dégradé de l'eau BT et de l'eau HT dans les aéroréfrigérants, EDF néglige de nombreux impacts qu'aurait une température extérieure réellement élevée sur les différents fluides participant au fonctionnement du moteur.

Conclusion sur les essais « équivalent grand chaud »

Les réserves susmentionnées induisent une confiance limitée dans la validité du modèle de refroidissement avec trois ventilateurs en service. Il est peu probable qu'un tel modèle permette, à terme, lors d'EP, de prédire avec une précision suffisante les températures des fluides en grand chaud, dans la mesure où les essais « équivalent grand chaud » diffèrent significativement de la situation de grand chaud sur deux aspects : d'une part l'arrêt d'un ventilateur, d'autre part la différence de température extérieure. L'IRSN estime donc que, pour établir la validité de son modèle d'essais « équivalent grand chaud », EDF ne doit pas se limiter à le comparer directement à des résultats d'essais « grand chaud », mais doit procéder à un découplage permettant d'évaluer séparément les influences respectives de ces deux paramètres.

Pour évaluer spécifiquement l'échauffement causé par l'arrêt d'un ventilateur, EDF doit présenter une comparaison des résultats des essais « équivalent grand chaud » avec les résultats obtenus par une même température extérieure avec quatre ventilateurs en service, les vannes de régulation devant être pleinement ouvertes dans les deux cas. En vue de recueillir de tels résultats, l'IRSN considère qu'EDF doit réaliser, au moins sur chaque diesel faisant ou ayant

fait l'objet d'un essai « grand chaud », un essai par température extérieure modérée, en s'assurant que le système de refroidissement conserve la même configuration. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 4 en annexe 1.**

En conclusion, l'IRSN considère que la représentativité des essais « équivalent grand chaud » ne pourra être acquise qu'après la réalisation d'une campagne les associant à des essais effectués avec les quatre ventilateurs des aéroréfrigérants en service. Pour chaque couple d'essais, les relevés de paramètres devront être réalisés par une même température extérieure et les vannes de régulation des circuits de refroidissement devront être pleinement ouvertes, afin de pouvoir comparer les résultats dans ces deux configurations et de caler d'éventuels facteurs correctifs. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 5 en annexe 1.**

4 CONCLUSION

Dans l'état actuel des éléments transmis par EDF, l'IRSN considère que la nouvelle modélisation de la performance du système de refroidissement des diesels n'est pas suffisamment éprouvée pour que la capacité des diesels à remplir leur mission par température extérieure élevée repose sur son application. Pour atteindre cet objectif, EDF devra prendre en compte les recommandations formulées en annexe 1.

Pour le Directeur général et par délégation,
Frédérique PICHEREAU
Adjointe à la Directrice de l'expertise de sûreté

Annexe 1 à l'avis IRSN n° 2020-00101 du 30 juin 2020

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF vérifie expérimentalement la pertinence des hypothèses relatives à l'échauffement de l'air à l'aspiration des turbocompresseurs retenues dans la nouvelle modélisation du refroidissement des diesels et, le cas échéant, les fasse évoluer.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF présente un calendrier de réalisation d'essais par température extérieure élevée sur un nombre suffisamment représentatif de réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe permettant de vérifier les performances du refroidissement des groupes électrogènes de secours à puissance nominale. Ces essais devront débuter dès la prochaine période estivale.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande qu'EDF observe, lors de chaque essai « grand chaud », un palier de puissance intermédiaire correspondant à la puissance valorisée en situation d'agression canicule, permettant de relever les paramètres caractéristiques du refroidissement du diesel.

Recommandation n° 4

L'IRSN recommande qu'EDF réalise, au moins sur chaque diesel faisant ou ayant fait l'objet d'un essai « grand chaud », un essai par température extérieure modérée, en s'assurant que le système de refroidissement conserve la même configuration.

Recommandation n° 5

L'IRSN recommande qu'EDF établisse la représentativité des essais « équivalent grand chaud » à l'aide d'une campagne les associant à des essais effectués avec les quatre ventilateurs des aéroréfrigérants en service. Pour chaque couple d'essais, les relevés de paramètres devront être réalisés par une même température extérieure et les vannes de régulation des circuits de refroidissement devront être pleinement ouvertes, afin de pouvoir comparer les résultats dans ces deux configurations et de caler d'éventuels facteurs correctifs.

Annexe 2 à l'avis IRSN n° 2020-00101 du 30 juin 2020

Observation de l'IRSN

L'IRSN estime qu'EDF devrait, en s'appuyant sur des données expérimentales, évaluer les caractéristiques physiques du liquide de refroidissement des diesels au-delà de 100 °C et jusqu'à sa température d'ébullition.