

Fontenay-aux-Roses, le 31 janvier 2020

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2020-00016

Objet...	EDF - REP - Réexamen périodique associé à la quatrième visite décennale des réacteurs de 900 MWe du palier CPY - Bilan de puissance des groupes électrogènes de secours.
Réf(s) ..	Saisine ASN - CODEP-DCN-2019-043189 du 28 octobre 2019.
Nbre de page(s) ...	7

1 INTRODUCTION

Les réacteurs du parc nucléaire 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.

Dans le cadre du réexamen associé à la quatrième visite décennale des réacteurs de 900 MWe du palier CPY (VD4 900), de nouveaux matériels secourus par les diesels ont été ajoutés et certains matériels secourus existants ont été modifiés. En conséquence, les bilans de puissance électrique des diesels¹ ont évolué.

Par le courrier en référence, l'ASN sollicite l'avis de l'IRSN sur l'acceptabilité au plan de la sûreté nucléaire des bilans de puissance des diesels à l'issue de l'intégration des modifications matérielles associées à la phase A² de la VD4 900 des réacteurs du palier CPY.

Pour ce faire, l'IRSN a examiné :

- l'évaluation réalisée par EDF de la puissance pouvant être fournie par les diesels (ou « puissance disponible »), notamment dans des conditions de températures extérieures élevées ;
- l'évaluation par EDF de la puissance consommée par les matériels secourus par les diesels.

Afin de conclure sur l'adéquation entre la puissance disponible aux bornes des diesels et la puissance requise pour alimenter les matériels secourus par les diesels du réacteur n° 1 de la

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

¹ Les bilans de puissance électrique inventorient les puissances consommées par les matériels secourus par les diesels, afin de vérifier l'aptitude de ces derniers à alimenter les équipements nécessaires dans toutes les situations incidentelles ou accidentelles et de déterminer les éventuelles marges de puissance électrique.

² EDF a défini une stratégie industrielle de déploiement des modifications matérielles en deux phases distinctes (phase A et phase B). Les modifications de la phase A seront exploitables au redémarrage du réacteur suivant sa visite décennale et celles associées à la phase B seront déployées au plus tard lors du deuxième arrêt pour renouvellement du combustible de type « visite partielle » après la visite décennale, soit environ quatre ans plus tard.

centrale nucléaire du Tricastin (premier réacteur du palier CPY à réaliser sa VD4), l'IRSN a analysé les résultats des essais « grands chauds » effectués sur chacun de ces deux diesels durant l'été 2019.

2 ÉVALUATION DE LA PUISSANCE DISPONIBLE AUX BORNES DES DIESELS

2.1 Méthodologie retenue par EDF

Détermination initiale de la puissance d'un diesel

La puissance électrique³ disponible aux bornes d'un groupe électrogène est directement liée à la puissance mécanique pouvant être développée par son moteur Diesel⁴.

La puissance mécanique nominale d'un moteur Diesel est définie à partir des normes applicables. Elle correspond à la puissance maximale que le diesel est capable de fournir, dans des conditions ambiantes définies, lors d'un fonctionnement en continu pendant un nombre illimité d'heures.

Ces normes, éventuellement ajustées par des préconisations du constructeur, proposent également des équations de réduction de la puissance mécanique nominale (ou « détarage »), lorsque la température de l'air comburant ou la température d'eau BT⁵ excède celle initialement définie, afin que les contraintes mécaniques et thermiques exercées sur le moteur ne dépassent pas celles prévues à la conception. En outre, il peut être nécessaire d'abaisser la puissance mécanique du moteur afin que les températures des fluides du diesel (notamment l'eau HT et l'huile) restent compatibles avec la tenue des matériels présents sur les circuits.

Prise en compte de l'impact des températures extérieures élevées sur la puissance disponible aux bornes des diesels

À l'issue des canicules de 2003 et 2006, durant lesquelles les températures d'air observées sur les sites ont été nettement supérieures à celles retenues à la conception des centrales nucléaires, EDF a élaboré le référentiel « grands chauds » pour tenir compte des températures susceptibles d'être atteintes sur les 30 prochaines années en tenant compte de l'évolution des conditions climatiques. Ce référentiel réévalue les températures de l'air extérieur à prendre en compte pour vérifier la tenue des matériels. Ainsi, il définit :

- la « température longue durée » (TLD), qui correspond à la température maximum en régime permanent retenue pour les situations de « redimensionnement » susceptibles d'être rencontrées par l'installation (fonctionnement normal, situations incidentelles et accidentelles du rapport de sûreté) ;
- la température exceptionnelle (TE), qui correspond à la température maximale journalière retenue en agression canicule.

Ainsi, EDF a défini une TLD et une TE adaptées aux conditions climatiques de chaque site.

EDF a évalué la puissance continue pouvant être développée, à la TLD et à la TE, par les diesels des différents sites du palier CPY. Cette évaluation théorique, liée à la localisation géographique du site, permet de déterminer la

³ Sauf mention particulière, dans la suite du texte, le terme « puissance » désigne une puissance électrique.

⁴ Cette relation directe entre la puissance électrique du groupe et la puissance mécanique du moteur est valable pour les réacteurs du palier CPY car la puissance de l'alternateur n'est pas un facteur limitant.

⁵ Chaque moteur Diesel possède deux circuits de refroidissement : un circuit d'eau « basse température » (BT) et un circuit d'eau « haute température » (HT), qui cèdent leurs calories dans des aéroréfrigérants.

puissance maximale pouvant être développée dans ces conditions de températures extérieures, mais ne tient pas compte du comportement spécifique de chaque diesel⁶.

Vérification du maintien des performances des diesels

En exploitation, les performances des diesels sont vérifiées lors d'essais périodiques réalisés au titre du chapitre IX des règles générales d'exploitation. Le bon fonctionnement du diesel à puissance nominale y est vérifié notamment via le respect de critères portant sur la température de divers fluides : air de suralimentation, gaz d'échappement, eau HT, eau BT, huile.

Toutefois, le fait que les critères portant sur les températures d'eau BT et HT relevées lors des essais périodiques à température ambiante soient respectés n'est pas suffisant pour garantir la réfrigération du diesel pour l'ensemble des plages de température qui pourraient être atteintes entre deux arrêts pour rechargement. Pour pallier ce problème, EDF formule certaines hypothèses, applicables à l'ensemble des réacteurs du palier CPY, afin de modéliser l'évolution de ces températures en fonction de la température extérieure.

Le comportement réel des diesels n'ayant jamais été vérifié *in situ* lors de fonctionnement dans des conditions de températures extérieures de l'ordre de la TLD et encore moins en situation d'agression canicule, une campagne d'essais à des températures proches de la TLD a débuté à l'été 2019. Celle-ci a pour but de vérifier la capacité de chaque diesel à fonctionner en cas de température extérieure élevée et de vérifier la validité des hypothèses formulées par EDF permettant d'extrapoler leur comportement face à une situation de canicule⁷. Sur la base des résultats des premiers essais réalisés, EDF révisé actuellement ses hypothèses et ses modélisations. Ce point fera l'objet d'une expertise dédiée de la part de l'IRSN.

Néanmoins, dans l'attente, l'IRSN a analysé les résultats d'essais réalisés sur les diesels du réacteur n° 1 de la centrale nucléaire du Tricastin afin d'évaluer leur capacité à fonctionner en cas de températures extérieures élevées proches de la TLD.

2.2 Évaluation des essais réalisés sur les deux diesels du réacteur n° 1 du Tricastin

Problématique liée aux aéroréfrigérants

Les aéroréfrigérants des circuits d'eau HT et BT, qui refroidissent *in fine* les diesels grâce à l'air ambiant, sont installés sur la terrasse du bâtiment diesel dans un espace confiné. Cet espace constitue un frein à la diffusion libre du flux d'air soufflé. De plus, une dalle dite « anti-missile », située environ 2,5 m au-dessus des aéroréfrigérants, les protège de la chute d'éléments de génie civil provenant de la structure de la salle des machines. La présence de cette dalle⁸ entraîne une recirculation, non prévue à la conception, de l'air chaud issu à la fois des aéroréfrigérants et de la ventilation du bâtiment diesel, ce qui dégrade le refroidissement de l'eau HT et BT dans les aéroréfrigérants.

Pour pallier ce phénomène, EDF a mis en œuvre sur certains réacteurs du palier CPY, dont le réacteur n° 1 du Tricastin, une modification matérielle consistant à installer, en toiture des aéroréfrigérants, des déflecteurs d'air sous la dalle anti-missile. EDF considère que la recirculation d'air chaud est ainsi totalement supprimée : la température à

⁶ Chaque diesel a un comportement propre du fait de disparités résultant de sa fabrication, de son installation, de son implantation et de l'état réel des matériels participant à son refroidissement.

⁷ On parle également « *d'agression canicule* ».

⁸ Cette dalle est présente sur la terrasse pour tous les diesels des réacteurs du palier CPY, excepté ceux de Cruas.

l'aspiration des aéroréfrigérants serait parfaitement homogène et égale à la température ambiante relevée sur le site.

Les essais réalisés sur le réacteur n° 1 du Tricastin mettent en évidence que cette modification apporte un gain significatif vis-à-vis de la puissance disponible. Au vu de l'impact positif de cette modification, l'IRSN considère qu'elle doit être déployée sur l'ensemble des réacteurs du palier CPY avant la prochaine période de « grands chauds ». **À cet égard, EDF a pris l'engagement n° 1 en annexe 1.**

En revanche, cette modification ne traite pas l'intégralité du phénomène de recirculation, dans la mesure où elle ne permet pas d'éliminer le flux d'air chaud longeant les côtés des aéroréfrigérants. En outre, sur les réacteurs de la centrale nucléaire de Cruas qui ne sont pas équipés de dalle anti-missile, une fraction du flux d'air chaud s'évacuant au-dessus des aéroréfrigérants peut être réaspirée par ces derniers, conduisant à un refroidissement moins performant que celui des réacteurs ayant bénéficié de la modification. Par conséquent, l'IRSN estime que le traitement de la recirculation latérale sur l'ensemble des réacteurs du palier CPY et le déploiement d'une modification adaptée aux diesels des réacteurs de Cruas pourraient améliorer sensiblement les gains déjà observés. **Ce point fait l'objet de l'observation en annexe 2.**

Examen des essais « grands chauds »

L'IRSN considère que l'analyse des relevés d'essais transmis par EDF apporte une confiance raisonnable dans l'aptitude des diesels de secours de la voie A et de la voie B du réacteur n° 1 du Tricastin à atteindre la puissance prévue par EDF à la TLD. Néanmoins, les résultats des essais sont représentatifs d'un état ponctuel de ces diesels. Compte tenu de l'évolution possible de l'état des matériels (consommateurs et diesels), ces résultats nécessitent d'être confirmés. De plus, les essais mettent en évidence que certaines hypothèses de modélisation prises en compte par EDF doivent être révisées.

En tout état de cause, dans le cas de l'agression canicule, les éléments fournis par EDF ne permettent pas de conclure avec une confiance suffisante sur la capacité des diesels de secours à développer la puissance prévue par EDF car ils reposent actuellement sur des modélisations en cours de révision par EDF. Une expertise, dans un cadre dédié, d'éléments détaillés sur ces modélisations attendus pour le 1^{er} trimestre 2020 sera nécessaire pour confirmer les conclusions d'EDF.

3 ÉVALUATION DE LA PUISSANCE CONSOMMÉE PAR LES MATÉRIELS SECOURUS.

La méthode retenue par EDF pour réaliser les bilans de puissance est principalement déterministe. Après avoir déterminé les scénarios accidentels enveloppes, la méthode consiste à réaliser une analyse fonctionnelle pour chacun de ces scénarios en différenciant les saisons (été/hiver) et les domaines de fonctionnement du réacteur. Les conditions thermo-hydrauliques associées aux différents scénarios sont prises en compte pour évaluer la puissance électrique consommée par les matériels. Enfin, EDF réalise la somme algébrique des puissances consommées par tous les matériels secourus requis dans un scénario donné, quelle que soit leur durée de fonctionnement. Cette méthode conduisant à surestimer la puissance consommée, EDF a réalisé plusieurs types « d'optimisation » afin d'affiner certaines valeurs, à savoir :

- l'adaptation du calcul de la puissance consommée par un matériel secouru en fonction du scénario dans lequel il intervient (domaine de fonctionnement du réacteur, situation incidentelle/accidentelle, saison) car, dans certains cas, ce matériel n'est pas utilisé à sa pleine puissance ;

- la détermination plus réaliste des puissances consommées par les matériels en réalisant des mesures de consommations électriques *in situ* ou des recherches documentaires.

Bien que certains conservatismes (valorisation de la puissance maximale, cumul de consommations non-simultanées) soient effectivement présents dans les calculs des bilans de puissance, l'IRSN a constaté qu'EDF ne prenait pas en compte certains phénomènes pénalisants tels que les surconsommations liées au vieillissement des matériels et les pertes en ligne.

4 CONCLUSION : ADÉQUATION ENTRE LA PUISSANCE DISPONIBLE ET LA PUISSANCE CONSOMMÉE

Les optimisations réalisées par EDF ont été relativement hétérogènes entre les différents diesels, notamment parce qu'EDF a priorisé ceux présentant initialement les plus faibles marges entre la puissance disponible et la puissance consommée par les matériels secourus. Les marges actuellement affichées sur les différents diesels ne sont donc pas directement comparables.

Compte tenu des éléments présentés ci-avant, l'IRSN considère que les marges affichées par EDF sont entachées d'incertitudes provenant à la fois des évaluations de la puissance disponible et de la puissance consommée et qu'il est nécessaire de retrouver des marges supplémentaires. À cet égard, EDF a pris l'engagement n° 2 en annexe 1 de mettre en œuvre sur l'ensemble des diesels du palier CPY une modification permettant d'obtenir un gain de puissance de 337 kW (soit environ 8,5 % Pn) dans le scénario le plus pénalisant. **L'IRSN souligne que cette modification permet de dégager des marges de puissance notables.**

Concernant le réacteur n° 1 du Tricastin, l'IRSN considère que les essais réalisés sur les deux diesels ont conforté de manière ponctuelle la valeur de la puissance disponible à des températures de l'ordre de la TLD, permettant d'ores et déjà d'avoir une confiance raisonnable vis-à-vis des marges affichées par EDF dans ces conditions. Le déploiement de la modification d'interverrouillage lors de la prochaine VP est de nature à accroître cette confiance. Par conséquent, l'IRSN considère que les diesels du réacteur n° 1 du Tricastin sont capables d'assurer leur mission hors agression canicule.

Néanmoins, afin de conclure sur la capacité de l'ensemble des diesels du palier CPY à remplir leur mission dans tous les scénarios de manière pérenne y compris en agression canicule, il sera nécessaire de disposer des résultats d'essais à venir et de la mise à jour par EDF de la modélisation utilisée pour calculer la puissance disponible.

Pour le Directeur général et par délégation,
Frédérique PICHEREAU
Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe n° 1 à l'avis IRSN n° 2020-00016 du 31 janvier 2020

Engagements principaux de l'exploitant

Engagement n° 1

EDF s'engage à réaliser la modification de mise en œuvre des déflecteurs d'air sous la dalle anti-missile située au-dessus des aéroréfrigérants des diesels sur l'ensemble des réacteurs du palier CPY (hormis les réacteurs du site de Cruas) au plus tard avant le début de l'été 2020.

Engagement n° 2

EDF s'engage à mettre en œuvre la modification d'interverrouillage des pompes du système d'alimentation de secours des générateurs de vapeurs par les pompes du système de refroidissement du cœur à l'arrêt dès la 4^e visite décennale (VD4) pour tous les réacteurs du palier CPY, excepté les réacteurs n° 1 et 2 du Tricastin pour lesquels cette modification sera réalisée lors de l'arrêt de type « visite partielle » qui suit la VD4.

Annexe n° 2 à l'avis IRSN n° 2020-00016 du 31 janvier 2020

Observation de l'IRSN

Observation

L'IRSN considère qu'EDF devrait examiner, notamment au vu des futurs résultats d'essais grands chauds et des marges évaluées par rapport à la puissance requise, l'opportunité de traiter également la composante latérale du phénomène de recirculation d'air chaud sur la terrasse des bâtiments diesels. Une attention particulière sera portée aux résultats d'essais réalisés sur les diesels de la centrale de Cruas.