

Fontenay-aux-Roses, le 6 février 2019

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2019-00019

Objet : EDF - Quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe  
Examen des études relatives aux agressions internes et externes

Réf. [1] Lettre ASN - CODEP-DCN-2013-013464 du 28 juin 2013  
[2] Lettre ASN - CODEP-DCN-2016-007286 du 20 avril 2016  
[3] Lettre ASN - CODEP-DCN-2019-000657 du 7 janvier 2019

En vue de l'autorisation de poursuivre l'exploitation des réacteurs de 900 MWe au-delà de leur quatrième visite décennale (VD4), Électricité de France (EDF) a transmis à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) le rapport de sûreté (RDS) correspondant ainsi que les notes d'études associées.

Les VD4 des réacteurs de 900 MWe s'inscrivent dans un contexte particulier puisqu'EDF a fait part, en 2009, de sa volonté de prolonger la durée de fonctionnement des réacteurs au-delà de 40 ans. À la suite d'une consultation du groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR) portant sur le programme de travail d'EDF associé au projet d'extension de la durée de fonctionnement des réacteurs, l'ASN a notamment estimé, par lettre citée en référence [1], que le niveau de sûreté des réacteurs actuels devait être amélioré, en particulier au regard des exigences de sûreté renforcées appliquées aux nouveaux réacteurs. En 2016, à l'issue de la consultation du GPR sur les orientations du programme de travail d'EDF associé au 4<sup>ème</sup> réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe (réexamen VD4-900), l'ASN a statué, par lettre citée en référence [2], sur ces orientations et a défini les éléments complémentaires qu'EDF devait transmettre afin d'apporter la démonstration de sûreté attendue dans le cadre de ce réexamen.

Le réexamen VD4-900 doit permettre d'améliorer le niveau de sûreté des réacteurs de 900 MWe avec des objectifs visant à se rapprocher de ceux applicables aux nouveaux réacteurs, comme l'EPR Flamanville 3 (EPR-FA3), en tenant compte du retour d'expérience acquis sur le parc électronucléaire français et international et, plus généralement, de l'évolution des connaissances et des pratiques.

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

Le renforcement de la robustesse des réacteurs pour ce qui concerne les agressions d'origines interne et externe figure parmi les objectifs retenus par EDF dans le cadre du réexamen VD4-900. Par lettre citée en référence [3], l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur les méthodes, les scénarios et les résultats des études relatives aux agressions, sur les conséquences radiologiques de ces agressions, ainsi que sur les enseignements apportés par ces études et le caractère suffisant des éventuelles modifications proposées par EDF pour le réexamen VD4-900. L'ASN demande également à l'IRSN de tenir compte des questions posées au cours du dialogue technique organisé avec l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (ANCCLI) qui montrent un besoin particulier d'information et d'explications (récurrence de la thématique abordée par la question, risque fort perçu par le public).

Le contexte du réexamen VD4-900 ayant conduit à de nouveaux attendus pour la démonstration de la maîtrise des risques liés aux agressions, le premier paragraphe de cet avis examine les éléments à caractère générique transmis par EDF pour y répondre. Les paragraphes suivants présentent les conclusions de l'expertise menée par l'IRSN concernant les études réalisées par EDF, pour les différentes agressions, pour les réacteurs du palier CPY et, lorsque les éléments sont disponibles, pour le site du Bugey. Cet avis examine également le « plan d'actions ventilation » mis en œuvre par EDF dans le cadre du réexamen.

L'avis ne porte en revanche ni sur le séisme et la tornade, traités dans des avis spécifiques, ni sur les risques induits par les transports internes pour lesquels aucun dossier n'a été reçu à ce jour. Les agressions d'origine malveillante ne relèvent pas de la présente expertise.

Par ailleurs, les études probabilistes de sûreté (EPS) relatives aux agressions et réalisées par EDF pour le réexamen VD4-900 sont examinées dans un cadre dédié et permettront d'apporter un éclairage complémentaire sur les risques liés à certaines agressions.

## **1. Démonstrations particulières attendues pour le réexamen des risques associés aux agressions**

### Application de l'arrêté du 7 février 2012 relatif aux installations nucléaires de base

Le réexamen VD4-900 est le premier à appliquer, dès son lancement, l'arrêté du 7 février 2012. Toutes les agressions internes et externes explicitement citées aux articles 3.5 et 3.6 de cet arrêté font l'objet d'un chapitre dédié dans le RDS et d'études qui réévaluent les niveaux d'agressions à considérer, identifient les effets de ces agressions sur les installations et vérifient que les dispositions existantes, le cas échéant complétées par des modifications prévues par EDF lors des VD4, permettent de maîtriser les risques liés à ces agressions.

### Prise en compte des préconisations de l'association WENRA (Western European nuclear regulators association)

L'association WENRA a publié en 2014 une mise à jour des niveaux de référence applicables aux réacteurs existants qui introduit un nouveau chapitre spécifique aux agressions d'origine naturelle. Pour les études d'agressions du réexamen VD4-900, l'ASN a demandé à EDF de tenir compte de ces niveaux de référence et plus particulièrement des préconisations relatives, d'une part aux niveaux d'agressions naturelles à étudier, d'autre part à l'intégration, dans toutes les études d'agressions et à l'instar des études d'autres événements déclencheurs, d'une défaillance matérielle postulée (« aggravant » correspondant à la défaillance la plus pénalisante).

### *Niveaux d'agressions préconisés par WENRA pour vérifier le dimensionnement des installations*

Pour ce qui concerne l'intensité des agressions externes d'origine naturelle à retenir pour définir les protections (« aléas de dimensionnement »), WENRA préconise de viser une fréquence annuelle de dépassement de cette intensité inférieure à  $10^{-4}$  par réacteur. Cette intensité doit couvrir les événements historiques extrêmes pertinents. L'IRSN a examiné les arguments et les évaluations transmis par EDF en réponse à la demande de l'ASN [2] de positionner les aléas de dimensionnement retenus pour les agressions au stade de la VD4-900 (y compris le séisme) par rapport à la cible préconisée par WENRA et de justifier la capacité des installations à faire face à des niveaux d'agressions significativement supérieurs aux aléas de dimensionnement lorsqu'ils ne sont pas à la cible.

EDF a identifié quatre agressions météorologiques pour lesquelles l'aléa de dimensionnement ne respecte pas la cible préconisée par WENRA : les « grands chauds », les « grands froids », les « grands vents » et la neige. Pour cette dernière, EDF s'est engagé à définir les dispositions d'exploitation permettant d'assurer que le déneigement des structures sera réalisé avant d'atteindre des niveaux de neige dommageables. Pour les trois autres agressions identifiées, EDF a défini un « aléa WENRA », qui vient en complément de l'aléa de dimensionnement, et a vérifié la capacité des installations à y faire face. Cet aléa est déterminé sur la base d'une valeur d'aléa de fréquence d'occurrence « raisonnablement quantifiable » (typiquement une période de retour centennale), à laquelle EDF applique ensuite une marge pour viser un niveau d'aléa pouvant être assimilé à la cible décennale préconisée par WENRA. L'IRSN considère que l'approche d'EDF est satisfaisante lorsque la cible décennale n'est pas accessible directement en utilisant des démarches éprouvées. La méthode de quantification de cette marge, qui croise différentes approches (principalement l'écart aux records observés et l'extrapolation statistique), est également satisfaisante. L'IRSN relève qu'EDF ne traite cependant pas explicitement la question des incertitudes, qui apparaît pourtant dans les préconisations de WENRA. L'IRSN a examiné si la « marge » était significativement supérieure à l'incertitude associée à l'évaluation du niveau d'aléa « raisonnablement quantifiable » auquel elle est ajoutée ou si la « marge » était ajoutée à un niveau d'aléa couvrant déjà des incertitudes. L'expertise par l'IRSN des « aléas WENRA » ainsi que des vérifications de la capacité des installations à y faire face sont présentées dans les paragraphes relatifs aux agressions « grands vents », « grands chauds » et « grands froids ».

Pour les autres agressions naturelles, l'IRSN estime satisfaisants les arguments présentés par EDF pour justifier la pertinence des aléas de dimensionnement retenus pour le réexamen VD4-900 au regard des préconisations de WENRA (certaines agressions telle que l'inondation externe atteignent la cible ; pour d'autres, telle que le colmatage des stations de pompage, la définition d'un « aléa WENRA » n'apparaît pas pertinente). Toutefois, pour le séisme, l'IRSN considère qu'EDF devra compléter son argumentaire en présentant, pour les VD4 des réacteurs de 900 MWe, des spectres probabilistes d'aléa sismique calculés pour une fréquence de dépassement inférieure à  $10^{-4}$ /an, conformément aux préconisations de WENRA.

### *Vérifications préconisées par WENRA au-delà du dimensionnement en vue d'éviter des effets falaise*

WENRA préconise également de s'assurer que des agressions d'intensité supérieure à celles visées pour la vérification du dimensionnement des installations n'induisent pas d'effet falaise et d'identifier les moyens qui permettraient d'assurer la disponibilité des fonctions de sûreté dans une telle situation. Pour le séisme, les inondations externes, la tornade et la foudre, l'IRSN considère que les évaluations complémentaires de sûreté menées après l'accident de Fukushima et la mise en œuvre des dispositions du « noyau dur », permettant de faire face à des agressions plus sévères que celles de dimensionnement, s'intègrent bien dans le cadre de ces préconisations. En revanche, pour les agressions « grands chauds » et « grands froids », EDF n'a pas transmis d'éléments suffisants pour se prononcer (pas d'estimation du niveau d'aléa qui induirait un effet falaise, pas d'identification des moyens qui permettraient de l'éviter).

### Prise en compte d'un aggravant dans les études d'agressions (internes, externes)

Au titre de l'aggravant préconisé par WENRA pour l'étude de tous les événements déclencheurs retenus dans la démonstration de sûreté, EDF a réalisé des études d'agressions en postulant la défaillance d'un matériel « actif » nécessaire pour gérer l'agression. Ceci concerne des études d'agressions internes (incendie, explosion, chute de charge/collision et inondation interne) et externes (inondations externes, grands chauds, grands froids et agressions de la source froide). L'IRSN considère que l'intégration d'une défaillance postulée d'un équipement actif dans les études d'agressions du réexamen VD4-900 constitue une amélioration notable par rapport aux précédents réexamens des réacteurs en exploitation et permet d'accroître la robustesse du niveau de protection des installations.

En revanche, pour les équipements « passifs » qui ont un rôle équivalent, voire parfois plus important, que celui des équipements « actifs » dans la maîtrise des risques d'agressions, l'IRSN estime que l'argument mis en avant par EDF, à savoir la « haute fiabilité » de ces équipements, du fait de leur nature et de leur conception, n'est pas suffisamment justifié pour permettre de ne pas les retenir, a priori, au titre des aggravants potentiels. Au cours de l'expertise, afin de répondre à la demande de l'ASN [2] de retenir la défaillance du matériel la plus défavorable, quelle que soit la nature de ce matériel, EDF a examiné l'impact de la défaillance de certains équipements « passifs » sur la gestion d'un incendie ou d'une inondation interne, agressions pour lesquelles l'IRSN et l'ASN ont estimé que des compléments devaient être apportés sur ce point en priorité. Les engagements pris par EDF devraient notamment permettre :

- pour l'incendie, la concrétisation des améliorations issues de l'analyse de l'impact d'un aggravant sur une porte coupe-feu ainsi que l'élargissement des recherches d'aggravants à d'autres équipements « passifs » ;
- pour l'inondation interne, le renforcement du suivi en exploitation des siphons de sol identifiés comme sensibles.

L'IRSN considère qu'EDF devra en outre poursuivre les réflexions initiées lors de la présente expertise concernant l'identification des équipements passifs « clés » pour la protection des installations contre les risques liés aux agressions et sur les exigences à associer à ces équipements.

### Réexamen des risques liés aux agressions au regard des exigences renforcées des réacteurs de type EPR

L'ASN a demandé à EDF de définir les objectifs de sûreté à retenir pour le réexamen VD4-900 au regard de ceux applicables aux réacteurs de nouvelle génération, notamment le réacteur EPR-FA3. L'IRSN précise, notamment en réponse à des questions posées au cours du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI, que l'objectif général retenu pour les agressions pour les réacteurs de 900 MWe, qui est d'éviter la fusion du combustible et de limiter les rejets radioactifs, est cohérent avec celui retenu pour l'EPR-FA3. Toutefois, les moyens de répondre à cet objectif, qui ont fait l'objet d'une expertise par l'IRSN pour chaque agression, peuvent différer de ceux appliqués pour le réacteur EPR-FA3 qui les a intégrés dès la conception, notamment par une conception à quatre trains de sauvegarde indépendants, qui est globalement plus favorable, et par la prise en compte d'un aggravant dans les études des agressions internes.

Pour ce qui concerne les niveaux d'agressions à retenir, l'IRSN a examiné les évaluations présentées par EDF pour le réexamen VD4-900 au regard des référentiels applicables, de l'état de l'art et des démarches mises en œuvre pour le réacteur EPR-FA3.

Pour les dispositions de protection, la considération lors du réexamen VD4-900 des préconisations de WENRA présentées plus haut est de nature à renforcer la robustesse des réacteurs de 900 MWe. En outre, dans le cadre du réexamen VD4-900, EDF a examiné la sensibilité des études d'agressions des réacteurs de 900 MWe aux délais opérateurs retenus dans les études pour l'EPR-FA3. Il a ainsi retenu les délais de 30 minutes pour une action manuelle depuis la salle de commande et d'une heure pour une action manuelle en local, considérés pour les études de sûreté de l'EPR-FA3, au lieu des délais retenus dans les études de sûreté du parc en exploitation (20 minutes pour les actions manuelles depuis la salle de commande, 25 minutes pour les actions en local dans le bâtiment électrique et 35 minutes pour les autres bâtiments). En pratique, ces études de sensibilité ont été menées pour les incendies et les inondations internes ; leur expertise est présentée dans les paragraphes relatifs à ces agressions. En effet, pour les autres agressions, soit aucune action particulière n'est requise de la part des opérateurs, soit les actions peuvent être anticipées (agressions prédictibles), soit les délais disponibles pour les réaliser sont importants.

## **2. Agressions d'origine externe**

### Inondations externes

Pour le réexamen VD4-900, EDF a appliqué les préconisations du guide ASN n°13 publié en 2013, relatif à la protection des installations nucléaires contre les inondations externes. Ce guide définit notamment les situations de référence pour le risque d'inondation (SRI) à retenir pour le dimensionnement des protections.

La présente expertise a tout d'abord porté sur la réévaluation des risques associés aux inondations externes (détermination des SRI, hormis les pluies et les remontées de nappes phréatiques ; examen des dispositions de protection) pour le site du Tricastin, site pour lequel le « dossier de site inondation externe stade 5 », qui porte la démonstration de la maîtrise des risques liés aux inondations externes, a été transmis. Au-delà de l'application au site du Tricastin, l'expertise a porté plus généralement sur les méthodes mises en œuvre par EDF pour caractériser les SRI retenues pour les sites de bord de rivière.

L'IRSN considère que les éléments transmis par EDF concernant les méthodes d'évaluation des SRI des sites de bord de rivière sont globalement satisfaisants. Pour le site du Tricastin, les calculs réalisés par l'IRSN confirment l'acceptabilité des niveaux des SRI évalués par EDF. Pour les autres sites du parc en exploitation, EDF devra, en cohérence avec les préconisations du guide n°13, justifier la modélisation des brèches de digue, valider les modèles hydrodynamiques utilisés en régime transitoire et majorer de 15 % la totalité des débits de l'hydrogramme pour la SRI relative à la rupture d'un ouvrage de retenue.

Pour le site du Tricastin, l'IRSN estime que l'application du guide n°13 à ce site ainsi que les dispositions de protection prévues, complétées par les modifications proposées par EDF pour les VD4, permettent d'atteindre un niveau de protection satisfaisant.

L'expertise a ensuite porté sur certains éléments transmis par EDF relatifs aux niveaux d'inondation, plus sévères que ceux retenus pour le dimensionnement, à considérer pour la protection du « noyau dur ». L'évaluation réalisée par EDF pour la « crue fluviale augmentée » pour le site du Tricastin, de même que les méthodes d'évaluation des ruptures multiples de barrage pour les sites de bord de rivière, sont satisfaisantes. Pour le site du Tricastin, les niveaux d'agressions « noyau dur » présentent ainsi des marges suffisantes par rapport aux niveaux des SRI déterminés pour le dimensionnement sur la base du guide n°13.

Par ailleurs, les niveaux marins évalués par EDF pour la protection du « noyau dur » des sites de Gravelines et du Blayais, qui seront utilisés pour dimensionner les renforcements des protections périphériques prévues par EDF sur ces sites, sont satisfaisants compte tenu des engagements pris par EDF.

Enfin, l'IRSN a examiné les justifications apportées par EDF en réponse aux demandes de l'ASN [2] relatives à l'intégrité des joints d'étanchéité inter-bâtiments, en service normal ainsi qu'en cas de séisme, et les considère acceptables.

L'IRSN précise également, notamment en réponse à des questions posées au cours du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI, que :

- l'isolement du site en cas d'inondation est bien étudié par EDF, conformément aux préconisations du guide n°13, et fait l'objet de dispositions particulières sur les sites concernés ;
- l'élévation du niveau de la mer est considérée par EDF pour l'évaluation du niveau d'eau en situation d'inondation pour les sites concernés, tels que Gravelines et Blayais, en cohérence avec les préconisations du guide n°13 ;
- comme indiqué dans le guide n°13, aucune formation géologique ne peut induire un tsunami notable sur les sites EDF implantés en bord de mer et la prise en compte des inondations induites par les tempêtes permet de couvrir le risque lié au tsunami.

### Grands vents

Les effets directs du vent sur les bâtiments et les matériels situés à l'extérieur ont été traités à la conception des réacteurs de 900 MWe en appliquant les règles NV65 définissant les effets de la neige et du vent et publiées par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB). Afin de traiter les effets indirects du vent, liés à la génération de projectiles, EDF avait élaboré et décliné un référentiel « Projectiles générés par le vent extrême » lors des réexamens périodiques associés aux troisièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe puis de 1300 MWe (VD3-900 et VD3-1300). À la suite de l'examen de ce référentiel par l'IRSN, l'ASN avait demandé à EDF d'y apporter des justifications dont certaines sont à prendre en compte pour le réexamen VD4-900.

L'IRSN estime satisfaisants les principes méthodologiques présentés par EDF pour évaluer les risques induits par les grands vents et les projectiles associés au titre des agressions du dimensionnement. Pour les sites du Tricastin et du Bugey, pour lesquels EDF a d'ores et déjà décliné ces principes, l'IRSN considère que les dispositions de protection retenues par EDF sont suffisantes pour maîtriser les risques induits par les « grands vents » du dimensionnement. Les éléments apportés par EDF, en réponse à une demande de l'ASN, pour montrer l'absence de risque de survitesse des ventilateurs en cas de « grands vents », sont également satisfaisants.

L'IRSN note qu'EDF a défini, en complément de l'aléa de dimensionnement, un aléa « grands vents WENRA », visant à respecter les préconisations de WENRA, et s'est assuré de la capacité des installations à y faire face. Néanmoins, l'IRSN estime que cet aléa n'apparaît pas suffisamment robuste. Les méthodes de détermination d'un tel aléa mériteraient d'être examinées au sein du groupe de travail, en cours de lancement par l'ASN, sur la caractérisation des agressions « vents et neige » (groupe réunissant l'ASN, l'IRSN, les exploitants et des experts du domaine).

### Foudre et interférences électromagnétiques externes

Afin de tenir compte des nouvelles exigences introduites par l'arrêté du 7 février 2012, EDF a défini, en complément de l'évaluation des risques induits par la foudre selon les éléments de la norme CEI 62305, une méthodologie de traitement de ces risques pour les réacteurs nucléaires.

Pour ce qui concerne l'aléa foudre retenu par EDF pour le réexamen VD4-900 au titre du dimensionnement, qui s'appuie sur le niveau de protection I de la norme CEI 62305, EDF n'a pas justifié qu'il respecte la cible préconisée par WENRA. Néanmoins, cet aléa apparaît acceptable compte tenu du fait qu'EDF a en complément :

- protégé le « noyau dur » contre un niveau de foudre bien plus sévère et que la protection des bâtiments abritant les matériels du « noyau dur » bénéficie également aux autres matériels de ces bâtiments ;
- vérifié l'absence de conséquence d'un coup de foudre de faible intensité (inférieure à celle de l'intensité minimale considérée dans l'aléa foudre) sur les matériels situés à l'extérieur des bâtiments du fait de leur mise à la terre.

Pour le réexamen VD4-900, EDF a considéré les cumuls de la foudre avec une pluie de forte intensité, un incendie ou une explosion, tel que demandé par l'ASN et réalisé pour le réacteur EPR-FA3. EDF a vérifié la capacité des réacteurs de 900 MWe à faire face aux effets directs de la foudre ainsi que, pour ce qui concerne les effets indirects, aux surtensions induites conduites par les canalisations entrant et sortant des bâtiments à protéger, ce qui est satisfaisant. Cette vérification l'a conduit à identifier des besoins de modification pour les VD4 afin de compléter les dispositions existantes. L'IRSN estime que des compléments de démonstration, qu'EDF s'est engagé à apporter dans le cadre des VD4, sont cependant nécessaires pour permettre de statuer sur la maîtrise des risques liés à cette agression. Ces compléments concernent, d'une part la vérification que les champs rayonnés par la foudre à l'intérieur des bâtiments ne remettent pas en cause les fonctions de sûreté, d'autre part la vérification, au titre de l'aggravant à postuler dans les études d'agressions, de l'absence de conséquence d'un coup de foudre sur le réseau électrique cumulé avec la défaillance d'un parafoudre.

Par ailleurs, pour ce qui concerne la tempête solaire, agression qui a fait l'objet de questions au cours du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI, l'IRSN souligne qu'EDF n'a pas apporté d'élément nouveau en réponse à la demande de l'ASN d'évaluer les risques de manque de tension externe (MDTE) de longue durée induit par une tempête solaire et affectant plusieurs sites nucléaires de façon simultanée. EDF estime en effet que ces risques sont couverts par le MDTE de 15 jours postulé à la suite d'un séisme. EDF a néanmoins engagé une étude exploratoire pour mieux évaluer les courants géomagnétiques induits (GIC) par une tempête solaire significative sur le territoire national, en particulier leurs effets sur les transformateurs. Si l'évaluation des risques liés aux tempêtes solaires n'apparaît pas prioritaire par rapport aux études relatives aux autres agressions, l'IRSN estime qu'EDF doit néanmoins progresser dans la connaissance des GIC et de leurs effets sur les installations.

### Grands chauds

Lors des canicules de 2003 et 2006, les températures de l'eau et de l'air observées sur les sites ont été nettement supérieures à celles retenues à la conception des centrales nucléaires. À la suite de ces événements, EDF a élaboré un référentiel « grands chauds » afin de réévaluer la sûreté des installations pour des températures extérieures supérieures, susceptibles d'être atteintes à l'horizon 2042 en tenant compte du réchauffement climatique. Pour le réexamen VD4-900, EDF a réévalué les températures extérieures à considérer et mis à jour les études thermiques visant à montrer la robustesse des installations, et ce en intégrant les demandes formulées par l'ASN en 2013 sur le référentiel « grands chauds ».

L'IRSN a examiné la démarche et les hypothèses utilisées par EDF (données, hypothèses et modèles statistiques, prise en compte des incertitudes...) pour définir les températures de l'air (température de longue durée TLD pour les « grands chauds de redimensionnement » ; température exceptionnelle TE et température minimale Tmin de la sinusoïde définie pour l'« agression canicule ») et les valeurs d'humidité. L'IRSN souligne, notamment en réponse à des questions posées au cours du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI, que ces températures prennent en compte l'impact du changement climatique. L'IRSN considère qu'EDF doit néanmoins revoir certains aspects de sa méthodologie, notamment la période de retour considérée, pour déterminer les températures TE et Tmin en « agression canicule ». **Ce point fait l'objet de la recommandation n°1.** Pour les sites de Gravelines, Blayais, Cruas, Dampierre et Saint-Laurent-des-Eaux, dans le cas où les réévaluations demandées dans cette recommandation ne pourraient pas être finalisées par EDF dans des délais compatibles avec leur examen (au plus tard deux ans avant la VD4), l'IRSN estime que les valeurs à retenir pour ces sites dans le cadre de leur VD4 devraient être au minimum les suivantes :

- pour le site de Gravelines, une température TE de 41 °C et une température Tmin de 26 °C ;
- pour le site du Blayais, une température TE de 44 °C et une température Tmin de 29 °C ;
- pour le site de Cruas, une température TE de 45 °C et une température Tmin de 27 °C ;
- pour les sites de Dampierre et Saint-Laurent-des-Eaux, une température TE de 44 °C et une température Tmin de 26 °C.

L'IRSN a ensuite examiné le bilan transmis par EDF des études réalisées pour vérifier la tenue en température des matériels de sûreté, dans les scénarios de fonctionnement normal, incidentel ou accidentel considérés dans le référentiel « grands chauds ». L'IRSN relève, dans les résultats de ces études, que de nombreux matériels, notamment de sauvegarde, présentent de faibles marges entre leur température maximale admissible et la température atteinte dans leur local d'implantation. Cela constitue une fragilité de la démonstration de la protection des installations contre les « grands chauds », notamment au regard des incertitudes qui existent dans les calculs thermiques réalisées par EDF à l'aide du code ThBAT. EDF s'est ainsi engagé, pour les locaux présentant des enjeux de sûreté importants et de faibles marges de tenue en température des équipements qu'ils abritent, à reprendre les études thermiques à l'échéance de fin 2021, afin de s'assurer de l'existence de marges. L'IRSN estime que, dans les cas où des marges insuffisantes subsisteraient à l'issue de ces nouvelles études, EDF devrait proposer des modifications permettant de garantir la tenue en température des matériels concernés. L'IRSN souligne que, compte tenu du délai associé à l'engagement d'EDF, la démonstration complète ne sera pas apportée pour le redémarrage du réacteur n°1 du site du Tricastin à l'issue de sa quatrième visite décennale.

EDF n'a pas fourni, pour le réexamen VD4-900, d'éléments relatifs à la tenue en température des matériels nécessaires pour gérer des situations du domaine complémentaire, ni en termes de démarche, ni en termes d'évaluation. À cet égard, EDF s'est engagé, à échéance de fin 2021, à étendre le référentiel « grands chauds » aux hypothèses des études thermiques associées aux situations du domaine complémentaire. Toutefois, en l'état actuel, le dossier présenté par EDF ne permet pas de vérifier la capacité des réacteurs de 900 MWe à faire face aux situations du domaine complémentaire dans des conditions de températures extérieures élevées. **Ce point fait l'objet de la recommandation n°2.**

Afin de respecter les préconisations de WENRA, EDF a défini des températures « canicule WENRA », obtenues en appliquant une marge de 2 °C aux températures TE et Tmin, et s'est assuré que les réacteurs de 900 MWe peuvent y faire face sans faire appel à des dispositions de protection complémentaires à celles déjà valorisées au titre du dimensionnement. L'IRSN estime que cette marge n'est pas suffisante pour tenir compte des incertitudes liées à l'évaluation des températures pour une période de retour décennale.

En outre, les études relatives à la capacité des installations à faire face à un tel aléa, dont seuls les principales hypothèses et les résultats ont été transmis, valorisent des hypothèses particulières qui ne sont pas suffisamment justifiées. Par conséquent, l'IRSN ne peut se positionner, à ce stade, sur la capacité des réacteurs de 900 MWe à maîtriser une agression « canicule WENRA ».

Pour ce qui concerne la prise en compte d'un aggravant en situation de canicule, EDF a transmis une étude de sensibilité qu'il s'est engagé à compléter lors de la reprise des études thermiques prévue fin 2021. L'IRSN souligne que, compte tenu du délai associé à l'engagement d'EDF, la démonstration complète ne sera pas apportée pour le redémarrage du réacteur n°1 du site du Tricastin.

En conclusion, l'IRSN estime que la démonstration de la capacité des installations à faire face aux situations de « grands chauds » n'est pas pleinement apportée à ce stade et doit être complétée par EDF.

### Grands froids

Les réacteurs de 900 MWe ont été conçus en considérant une température extérieure de dimensionnement de -15°C et disposent, depuis leur réexamen VD2-900, d'un référentiel « grands froids » pour vérifier la capacité des installations à faire face à des températures plus sévères. Pour le réexamen VD4-900, EDF a conforté les températures retenues dans ce référentiel en prenant en considération les derniers éléments de veille climatique. EDF a également mis à jour les études vérifiant la capacité des installations à faire face aux « grands froids », notamment pour vérifier la tenue des matériels installés depuis le réexamen VD2-900 et pour actualiser les valeurs des apports thermiques dans les locaux.

Compte tenu des modifications des installations ou de leurs conditions d'exploitation qui sont proposées par EDF pour les VD4-900 au regard des conclusions des études relatives aux « grands froids », l'IRSN estime que la démonstration apportée par EDF relative à la maîtrise des risques liés à cette agression (hors îlots conventionnels des réacteurs du palier CP2, EDF n'ayant pas encore transmis ces études) est globalement satisfaisante. EDF a également présenté une étude « grands froids » intégrant un aggravant pour l'îlot nucléaire du palier CPY dont les hypothèses et les résultats sont satisfaisants.

L'IRSN a également examiné le niveau d'aléa « grands froids WENRA » défini par EDF pour répondre aux préconisations de WENRA. L'IRSN considère que les éléments présentés par EDF, à savoir une marge de 2°C sur la température courte durée elle-même minorée de 4 à 5 °C par rapport à des températures froides centennales, sont acceptables. Les résultats des études réalisées par EDF en tenant compte de cette température montrent la capacité des réacteurs de 900 MWe à y faire face.

### Agresseurs de la source froide

L'alimentation en eau des systèmes importants pour la sûreté situés en station de pompage doit être assurée en toutes circonstances, y compris en cas d'agressions susceptibles de menacer la source froide. Ces agressions sont les plus basses eaux, la prise en glace, l'envasement et l'ensablement, le frasil, les hydrocarbures et l'arrivée massive d'éléments colmatants. À la suite des événements marquants survenus en 2009, EDF a fait évoluer le référentiel de sûreté des systèmes de la station de pompage qui est applicable à partir des VD4 pour les réacteurs de 900 MWe, afin de mieux traiter ces agressions.

Pour ce qui concerne les situations de plus basses eaux, l'IRSN avait jugé satisfaisante, lors du réexamen VD3-1300, la démarche d'EDF pour évaluer les niveaux d'eau à retenir. L'IRSN souligne néanmoins l'importance d'intégrer les effets anthropiques lors des périodes d'étiage pour vérifier la pertinence des niveaux d'eau retenus.

Pour ce qui concerne les risques de prise en glace de la station de pompage, en cohérence avec sa position exprimée lors du réexamen VD3-1300, l'IRSN estime satisfaisante la vérification présentée par EDF considérant la concomitance d'un niveau bas de la source froide d'occurrence centennale avec une épaisseur de glace de période de retour millénaire.

Pour les risques de frasil, EDF prévoit la mise en place lors de la VD4 d'un système de recirculation d'eau chaude pour tous les sites qui n'en sont pas déjà équipés, ce que l'IRSN estime satisfaisant dans le principe.

L'IRSN estime qu'EDF prend convenablement en compte les risques d'ensablement ou d'envasement des prises d'eaux par un suivi bathymétrique régulier, associé à des critères de dragage garantissant l'écoulement fluvial dans les canaux d'amenée. L'IRSN précise, notamment en réponse à une question posée au cours du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI, que, sur le site de Gravelines, ces dispositions sont complétées par un arrêt préventif des pompes dédiées à la production électrique afin de garantir le fonctionnement des pompes nécessaires au refroidissement des matériels importants pour la sûreté.

Pour le réexamen des risques induits par les nappes d'hydrocarbures, EDF a présenté deux évaluations, l'une déterministe visant à caractériser la quantité d'hydrocarbures susceptible d'atteindre un site, la seconde probabiliste montrant l'acceptabilité de ce risque. L'IRSN estime acceptables la démarche et les conclusions d'EDF.

Enfin, l'IRSN estime que les éléments transmis par EDF montrent une bonne capacité des réacteurs de 900 MWe à faire face à une arrivée massive d'éléments colmatants.

En conclusion, l'IRSN estime que les évaluations réalisées par EDF à l'égard des agressions de la station de pompage et les dispositions mises en place pour y faire face, complétées par les modifications proposées par EDF, permettent de réduire les risques de perte de l'alimentation en eau des pompes de sûreté dans ces situations d'agressions.

### Environnement aérien

L'analyse d'EDF du risque aérien vise à décliner la règle fondamentale de sûreté RFS I.2.a, qui préconise une évaluation probabiliste du risque de rejet inacceptable de substances radioactives en cas de chute accidentelle d'un aéronef. L'IRSN précise, notamment en réponse à des questions posées au cours du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI, qu'aucune valeur limite n'est fixée dans cette RFS pour définir le caractère inacceptable d'un rejet. Dans ses analyses, EDF vise le maintien des trois « fonctions de sûreté » définies dans la RFS I.2.a. Pour l'étude probabiliste du risque, EDF considère que la perte d'équipements assurant une de ces fonctions est inacceptable, indépendamment du niveau de rejet pouvant éventuellement en résulter.

Les familles d'aviation définies pour ces analyses sont l'aviation générale, qui correspond aux avions civils de masse inférieure à 5,7 t, l'aviation commerciale, qui regroupe les avions civils à caractère commercial de masse supérieure à 5,7 t et l'aviation militaire, qui correspond aux avions des armées de l'air, de terre et de l'aéronavale.

L'IRSN précise, notamment en réponse à des questions posées au cours du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI, que les aéronefs légers de types ULM, ballons, drones... ne sont pas explicitement pris en compte dans l'analyse du risque. Toutefois, leurs caractéristiques (masse, vitesse...) permettent de considérer que les conséquences de leur chute accidentelle sont négligeables ou couvertes par celle des aéronefs définis précédemment.

La chute accidentelle d'un avion de l'aviation générale a été retenue pour le dimensionnement du génie civil de certaines structures de l'îlot nucléaire en termes d'impact mécanique induit. De l'analyse d'EDF, il résulte que les probabilités de chute sur une installation d'un aéronef de l'aviation commerciale ou militaire sont les plus faibles. La chute d'un gros porteur de l'aviation commerciale relève des études des actes de malveillance, réalisées dans un cadre dédié.

Dans le cadre du réexamen VD4-900, EDF a proposé une mise à jour de sa méthodologie d'évaluation du risque aérien, applicable à tous les paliers, et a actualisé la liste des cibles de sûreté concernées ainsi que le calcul des surfaces virtuelles associées à chacune d'entre elles. EDF a par ailleurs examiné les risques liés à la chute accidentelle d'un hélicoptère et présenté une analyse des effets induits par la chute d'avion autres que l'impact mécanique.

EDF s'est engagé à réviser son estimation des probabilités surfaciques de chute d'un aéronef de l'aviation générale ou commerciale en améliorant l'étude statistique des risques liés aux aérodromes présents dans l'environnement d'un CNPE. Par ailleurs, EDF se positionnera, au premier trimestre 2019, sur l'opportunité de compléter son analyse des risques liés à la chute d'hélicoptères.

De plus, en réponse à une demande de l'ASN, EDF a transmis des études pour l'ensemble des réacteurs du palier CPY et du Bugey visant à montrer que l'impact mécanique de la chute d'un aéronef représentatif de l'aviation générale sur le voile le plus exposé du bâtiment du combustible n'entraîne pas de situation qui pourraient conduire à la fusion des assemblages de combustible qui y sont entreposés. L'IRSN considère que les éléments transmis sont satisfaisants pour ce qui concerne le voile le plus exposé du bâtiment du combustible des réacteurs du palier CPY. En revanche, pour les réacteurs du Bugey, l'IRSN estime que des compléments d'analyse sont nécessaires de la part d'EDF pour répondre à cette demande, ce à quoi EDF s'est engagé pour le premier trimestre 2019. Enfin, les éléments relatifs à la tenue des toitures des bâtiments, transmis récemment par EDF, sont en cours d'expertise.

L'acceptabilité des risques liés à la chute d'un aéronef sera réexaminée pour chaque site.

#### Environnement industriel et voies de communication

EDF avait mis à jour sa méthodologie d'analyse des risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication dans le cadre du réexamen VD3-1300. En particulier, des paramètres d'étude avaient été actualisés. Des compléments à cette méthode ont été apportés dans le cadre du réexamen VD4-900. Les déclinaisons seront réalisées par EDF à l'occasion du réexamen de chacun des réacteurs de 900 MWe.

L'IRSN souligne que les remarques relatives aux risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication qu'il avait formulées dans le cadre du réexamen VD3-1300 sont également applicables au réexamen VD4-900. Par ailleurs, l'IRSN considère à ce stade que certains paramètres pour l'analyse du risque industriel sont à consolider tels que le paramètre qui représente la probabilité conditionnelle qu'un phénomène dangereux donné (incendie, explosion sur place, explosion d'un nuage dérivant, dérive d'un nuage toxique) survienne, sachant qu'un accident de transport a eu lieu.

L'acceptabilité des risques induits par l'environnement industriel et les voies de communication sera donc réexaminée pour chaque site.

### Démarche de veille climatique

Dans une démarche d'anticipation, EDF met en œuvre une veille climatique pour s'assurer que le changement climatique ne remet pas en cause le dimensionnement des installations face à des aléas dont les caractéristiques pourraient être modifiées. Lors des orientations du réexamen VD4-900, l'ASN avait considéré que l'approche d'EDF n'était pas conforme au code de l'environnement et avait demandé à EDF de l'améliorer.

À l'issue de son analyse, l'IRSN estime que la démarche de veille climatique mise en œuvre par EDF pour le réexamen VD4-900 répond dans le principe à la demande de l'ASN de se baser sur l'état des connaissances scientifiques les plus récentes. La poursuite de cette veille au regard des éléments mis en avant dans le cadre de la présente analyse est un outil nécessaire sur lequel EDF doit s'appuyer pour anticiper les conséquences d'éventuelles évolutions climatiques sur la démonstration de sûreté.

Pour les prochaines applications de la démarche de veille climatique, l'IRSN considère que, dans un objectif d'amélioration, la notion d'« événement climatique majeur » ainsi que le contenu de l'analyse menée en cas d'observation de cet événement, les valeurs des températures chaudes de l'air consolidées au regard des résultats d'autres modèles climatiques et l'évolution des connaissances dans le suivi des étiages devront être détaillés.

### **3. Agressions d'origines internes**

#### Incendie

Pour le réexamen VD4-900, l'IRSN considère que les évolutions de méthode proposées par EDF constituent une avancée significative pour la maîtrise des risques liés à l'incendie. La nouvelle méthode de justification de la sectorisation contre l'incendie (appelée PEPSSI) consiste à comparer la performance d'un élément de sectorisation à l'intensité de l'incendie susceptible de se produire dans le local considéré (dite courbe de feu). Sa déclinaison aux différents réacteurs de 900 MWe reste toutefois à finaliser. À cette occasion, EDF devra décliner cette nouvelle méthode aux locaux munis d'un système fixe d'extinction identifiés à fort enjeu pour la sûreté, afin d'apprécier le dimensionnement de leur sectorisation en cas d'indisponibilité d'un tel système. Par ailleurs, dans le cadre de cette déclinaison, le dimensionnement de certaines protections des chemins de câbles en mode commun<sup>1</sup> et des moyens minimaux de conduite<sup>2</sup> du bâtiment électrique présente de faibles marges et doit faire l'objet d'un complément d'analyse. **Ceci fait l'objet de la recommandation n°3 en annexe.**

S'agissant des effets des fumées d'incendie, l'IRSN considère également que la méthode proposée par EDF permet d'identifier les situations pour lesquelles l'agression concomitante de plusieurs équipements par les fumées présenterait un impact significatif sur la sûreté.

Pour ce qui concerne l'intégration d'un aggravant dans les études d'incendie, EDF a pour l'instant uniquement proposé la fiabilisation de certaines portes coupe-feu en limite de volume de feu de sûreté. L'IRSN considère que la démarche basée sur l'exploitation de l'EPS « incendie » devrait permettre d'identifier les dispositions de protection contre l'incendie supplémentaires dont la défaillance en cas d'incendie présente un fort enjeu de sûreté. Une attention particulière devra toutefois être portée à la pertinence des modifications qui seront définies à l'issue de ces études.

---

<sup>1</sup> Des chemins de câbles sont dits en mode commun lorsqu'ils appartiennent à des voies différentes et transitent dans le même volume de feu de sûreté. Un incendie, conduisant à la perte de ces chemins de câbles, sera donc susceptible d'entraîner la perte d'équipements redondants (i.e. assurant la même fonction et appartenant à des voies différentes).

<sup>2</sup> Ensemble des équipements d'une voie permettant d'assurer le repli à l'état sûr du réacteur en situation incidentelle.

Pour ce qui concerne l'étude de sensibilité à l'allongement du délai opérateur, l'IRSN estime que les conclusions sont globalement satisfaisantes. EDF n'a toutefois pas présenté d'analyse quantifiée relative à l'allongement du délai opérateur dans le bâtiment du réacteur.

Enfin, au-delà du réexamen VD4-900, l'IRSN estime qu'EDF devra retenir pour les futurs réexamens la méthode PEPSSI comme démarche de référence pour justifier le bon dimensionnement des éléments de sectorisation.

### Explosion

EDF a complété sa démarche d'analyse du risque d'explosion d'origine interne pour tenir compte des objectifs et engagements formulés lors des orientations du réexamen VD4-900 et des demandes formulées par l'ASN lors du réexamen VD3-1300 ayant un caractère générique.

À ce stade, malgré les avancées méthodologiques significatives proposées par EDF au terme de l'expertise menée, l'IRSN souligne que le réexamen de la démonstration de sûreté pour ce qui concerne la maîtrise du risque d'explosion interne n'est pas finalisé ; de nombreux compléments sont prévus par EDF dans le courant de l'année 2019. En particulier, l'IRSN a mis en évidence une erreur dans les modélisations réalisées par EDF ; les études portant sur les conséquences d'une fuite d'un mélange hydrogène/azote dans l'îlot nucléaire sont donc à reprendre. EDF s'est engagé à réviser ces études. Parmi les analyses annoncées par EDF, l'étude des conséquences fonctionnelles d'une explosion à la suite d'une fuite d'un fluide hydrogéné, en dehors des singularités démontables des circuits, constitue également un complément important. De plus, à ce stade, la démonstration présente des lacunes d'ordre méthodologique pour lesquelles des compléments sont attendus. Ces points, génériques à l'ensemble des réacteurs en fonctionnement, concernent :

- le risque d'explosion à la suite d'une fuite d'hydrogène dans le bâtiment du réacteur, bien que les nuages explosibles correspondants soient a priori de dimensions réduites. L'IRSN précise, notamment en réponse à des questions posées au cours du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI, que ce point a fait l'objet de la recommandation suivante à l'occasion des conclusions du réexamen VD3-1300 : « *L'IRSN recommande, pour tous les paliers, qu'EDF identifie les cibles de sûreté situées à proximité des mélanges inflammables susceptibles de se former dans le bâtiment réacteur en champs proche des lieux de fuite ou en cas d'accumulation et vérifie que les conséquences de la perte de ces cibles sont acceptables* » ;
- la nécessité d'identifier de manière exhaustive les cibles de sûreté nécessaires à la mise en état sûr du réacteur à la suite d'une explosion.

Enfin, concernant les locaux pour lesquels un risque de mode commun est d'ores et déjà identifié en cas d'explosion dans l'îlot nucléaire, EDF s'est engagé à étudier les moyens de protection pouvant être mis en œuvre.

Ainsi, à ce jour, l'IRSN ne dispose pas des éléments lui permettant de statuer sur le caractère suffisant de la maîtrise du risque d'explosion d'origine interne pour les réacteurs de 900 MWe.

### Collision et chute de charge

L'agression « collision et chute de charge » était traitée jusqu'à présent dans différents chapitres des RDS relatifs aux engins de manutention du bâtiment du réacteur (BR) et du bâtiment combustible (BK) et non dans un chapitre dédié. Les chutes de charge avaient toutefois fait l'objet d'analyses spécifiques dans le cadre de réexamens périodiques précédents, notamment pour celles susceptibles de survenir lors des manutentions effectuées dans le BR avec le tampon d'accès des matériels ouvert (lors du réexamen VD2-1300) et pour ce qui concerne les conséquences de la chute d'un emballage de transport dans le BK (lors du réexamen VD3-1300).

En revanche, les collisions n'avaient pas fait jusqu'à présent l'objet d'analyses spécifiques. Pour le réexamen VD4-900, EDF a réalisé des études de « collision ou chute de charge » et a également analysé, compte tenu des demandes formulées par l'ASN [2], la fiabilité des opérations de levage par le pont polaire du palier CPY et les conséquences d'une collision ou d'une chute de charge dans le BR.

L'IRSN considère que la démonstration de sûreté présentée par EDF pour les bâtiments autres que le BR est satisfaisante. En revanche, afin de finaliser la démonstration pour le BR, l'IRSN estime qu'EDF doit encore apporter des compléments pour ce qui concerne les chutes de charges manutentionnées par le treuil principal du pont polaire du BR et analyser les conséquences des collisions lors des manutentions effectuées à l'aide du pont polaire.

L'IRSN précise, notamment en réponse à des questions posées au cours du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI, que, pour ce qui concerne le risque spécifique de chute d'un batardeau dans les piscines, ce risque peut être écarté dans les piscines BK, qui sont équipées de portes pivotantes sur les réacteurs de 900 MWe. Pour la piscine du bâtiment du réacteur, EDF a indiqué que le batardeau est manutentionné lors des phases d'arrêt sans survol de la cuve.

#### Défaillances de tuyauteries - Inondations internes et ruptures de tuyauterie haute énergie (RTHE)

Pour le réexamen VD4-900, EDF a introduit des évolutions méthodologiques pour l'étude des inondations internes et des défaillances de tuyauteries, par rapport au référentiel utilisé lors du réexamen VD3. La nouvelle méthodologie comprend l'intégration d'un aggravant dans les études. Elle intègre de plus l'analyse des conséquences de l'inondation induite par la rupture d'une tuyauterie véhiculant un liquide et agressée par les effets de la RTHE (elle-même susceptible de générer une inondation si la tuyauterie haute énergie véhicule un liquide). L'IRSN estime que cette méthodologie est globalement satisfaisante et présente certaines améliorations par rapport à celle utilisée précédemment. L'IRSN considère toutefois qu'EDF doit apporter des justifications sur la faisabilité des actions d'isolement des fuites par les opérateurs dans les délais valorisés dans les études d'inondation interne. **Ce point fait l'objet de la recommandation n°4.** Des compléments sont également nécessaires pour vérifier la maîtrise des conséquences associées à une défaillance des tuyauteries de petit diamètre, ce à quoi EDF s'est engagé.

Les études détaillées des risques liés aux agressions « inondations internes » et « défaillances de tuyauteries » sont satisfaisantes dans leur ensemble. Des compléments sont néanmoins attendus sur quelques aspects. Notamment, les études reprises très récemment par EDF pour quelques locaux du BAN ont mis en évidence des besoins de modification qu'EDF s'est engagé à définir.

Aussi, l'IRSN considère que la démonstration présentée par EDF à l'égard des risques liés à ces agressions n'est à ce jour pas totalement finalisée.

#### Défaillances de réservoirs, pompes et vannes - Projectiles internes

Cette agression est traitée dans les RDS dans les chapitres « Protection contre les inondations internes » (examiné par l'IRSN au paragraphe ci-avant) et « Protection contre les projectiles internes (hors missile turbine) » (abordé ci-dessous) au travers des effets qu'elle produit.

Pour le réexamen VD4-900, EDF a présenté des études des risques induits par la défaillance de réservoirs, pompes et vannes générant des projectiles internes pour les réacteurs du palier CPY qui sont basées sur une méthodologie qui apparaît globalement acceptable en ce qui concerne les projectiles types, leur vitesse d'éjection et les risques de perforation du génie civil. Les résultats des études sont globalement satisfaisants. Quelques compléments, qu'EDF s'est engagé à fournir dans le cadre du réexamen VD4-900, restent néanmoins nécessaires pour conclure sur le caractère suffisant des protections.

#### Interférences électromagnétiques internes

Les interférences électromagnétiques (IEM) sont dites internes lorsque les perturbations électromagnétiques sont générées dans le périmètre de l'INB. Les sources de perturbations électromagnétiques à considérer sur un site sont liées principalement à l'activité humaine ou industrielle. La conséquence d'une IEM interne peut être une défaillance temporaire ou permanente des équipements qui ne sont pas dimensionnés pour y faire face.

L'arrêté du 7 février 2012 (arrêté INB) rend obligatoire l'évaluation par l'exploitant des risques inhérents aux IEM internes. Bien que pris en compte depuis la conception au travers de la qualification et selon les règles définies par le RCC-E, ce risque n'apparaissait pas en tant que tel dans la liste des agressions internes. L'IRSN considère que les dispositions d'installation et de montage permettent d'atteindre les objectifs de protection visés pour la poursuite d'exploitation des réacteurs de 900 MWe.

En outre, l'IRSN estime satisfaisantes, d'une part les modifications qui améliorent l'immunité des équipements de contrôle-commande rénovés face à leur environnement, d'autre part la mise en œuvre d'un guide de zonage renseignant les niveaux d'IEM réels auxquels les équipements devront faire face dans le cadre de futures installations ou modifications de matériels.

Pour les réacteurs de 900 MWe, l'IRSN considère que les dispositions de protection retenues par EDF sont satisfaisantes pour maîtriser ces risques.

#### **4. Conséquences radiologiques des agressions**

Les évaluations des conséquences radiologiques comportent deux étapes : l'évaluation des rejets hors des installations, puis l'évaluation des conséquences radiologiques de ces rejets.

Pour ce qui concerne les agressions autres que l'incendie, les hypothèses considérées par EDF pour le réexamen VD4-900 pour ces évaluations des rejets en situations d'agressions sont similaires à celles considérées lors du réexamen VD3-1300. Ces dernières ont conduit à des demandes de l'ASN, notamment sur leur caractère raisonnablement pessimiste. L'IRSN rappelle que les conclusions des instructions relatives au réexamen VD3-1300 sont applicables au réexamen VD4-900. Or, EDF n'a pas traité l'ensemble des demandes de l'ASN exprimées lors du réexamen VD3-1300 dans ses évaluations pour le réexamen VD4-900. Ceci ne remet néanmoins pas en cause le respect des objectifs de sûreté associés au réexamen VD4-900.

Pour l'évaluation des conséquences radiologiques à partir des rejets hors des installations, EDF a mis en œuvre pour le réexamen VD4-900, pour toutes les agressions sauf l'incendie, une nouvelle méthodologie destinée à mieux répondre aux exigences de la réglementation ainsi qu'aux demandes de l'ASN sur les spécificités de site. Celle-ci est en cours d'analyse dans le cadre d'un avis spécifique.

Pour ce qui concerne l'incendie, les évaluations des conséquences radiologiques diffèrent de celles des autres agressions à la fois par la présentation des résultats, les hypothèses considérées pour les évaluations des rejets hors

des installations et les hypothèses et indicateurs considérés pour l'évaluation des conséquences radiologiques de ces rejets. EDF s'est engagé à mettre à jour l'évaluation des conséquences radiologiques associée à l'incendie pour répondre à l'article 3.7 de l'arrêté INB et à en retranscrire les résultats dans les rapports de conclusion des réexamens des réacteurs après leur VD4. L'IRSN estime satisfaisante dans son principe l'action d'EDF. Dans l'attente, l'IRSN n'est pas en mesure de se positionner sur les conséquences radiologiques des incendies.

## **5. Performances des dispositions de protection à l'égard des agressions**

### Équipements importants pour la protection (EIP) valorisés pour maîtriser les risques liés aux agressions

Pour le réexamen VD4-900, le principe retenu par EDF d'attribuer un classement de sûreté « IPS-NC » à tous les EIP valorisés dans les études d'agressions constitue une amélioration nécessaire qui devrait permettre un meilleur suivi en exploitation de ces EIP. Pour les équipements actifs, ce suivi est décliné dans les règles générales d'exploitation (RGE) qui sont examinés par l'IRSN dans le cadre de l'expertise du dossier d'amendement aux RGE pour le réexamen VD4-900. Pour les équipements passifs, qui contribuent également à la protection contre les agressions, EDF s'est engagé à identifier les principes de surveillance en exploitation et à leur associer des critères opérationnels permettant de statuer sur le respect des exigences qui leur sont attribuées. L'IRSN estime que cet engagement est satisfaisant, le non-respect d'un critère opérationnel devant être considéré comme un écart dans l'attente de sa caractérisation.

### Organisation mise en œuvre pour faire face aux agressions

L'IRSN a examiné plus particulièrement l'organisation mise en œuvre sur les sites à l'égard des « grands chauds ». La robustesse des dispositions prises par EDF pour faire face à des agressions climatiques repose sur l'expérience opérationnelle d'un large réseau d'acteurs. S'agissant des situations de « grands chauds », la règle particulière de conduite (RPC) associée liste les actions devant être réalisées par les exploitants pour prévenir, détecter et maîtriser les conséquences de températures élevées sur le fonctionnement des réacteurs. Au niveau des sites, le suivi et la mise en œuvre opérationnelle de la RPC « grands chauds » sont assurés par un pilote stratégique, membre de l'équipe de direction, qui doit s'assurer de la prise en compte de l'agression au sein du site ; un pilote opérationnel, en charge d'une ou plusieurs agressions, pilote le processus de l'agression dont il a la charge ; un référent assiste la direction et l'encadrement dans la mise en œuvre de la politique de prévention du risque lié à l'agression dont il est porteur.

L'examen par l'IRSN de la déclinaison opérationnelle des prescriptions de la RPC « grands chauds » a mis en évidence le rôle clé des pilotes opérationnels des sites pour faire face de façon efficace à cette agression. Forts d'une expérience significative, ils sont ainsi à l'origine de différentes initiatives qui favorisent, d'une part l'appropriation des prescriptions, d'autre part la prise en compte d'équipements autres que les EIP valorisés pour la protection contre les « grands chauds », mais cependant importants pour la maîtrise des risques induits par une agression « grands chauds ». L'IRSN relève que ces initiatives ne sont pas suffisamment partagées entre les sites, le retour d'expérience en matière d'agression « grands chauds » étant principalement centré sur le retour d'expérience événementiel ou technique et portant peu sur les bonnes pratiques des sites.

Par ailleurs, l'IRSN relève des difficultés pour assurer, dans de bonnes conditions, la montée en compétence des nouveaux pilotes opérationnels, dans le contexte actuel de renouvellement générationnel, les pilotes opérationnels en place comme les nouveaux venus dans la fonction étant souvent mobilisés par d'autres missions. Dans ce contexte, l'IRSN estime que le partage d'expérience sur la gestion des situations d'agression « grands chauds » entre

les sites et avec le niveau national devrait intégrer un examen du caractère reproductible de démarches locales pertinentes en vue d'un déploiement sur les autres sites et être l'occasion d'accompagner la montée en compétence des nouveaux pilotes opérationnels et référents sur les agressions.

#### Plan d'actions ventilation

Le plan d'actions ventilation (PAV), qui se décline en quatre lots, est prévu d'être déployé sur les réacteurs du palier 900 MWe dans le cadre de leur VD4. À ce stade, EDF a présenté le résultat du lot 1 qui consiste à déterminer les débits de ventilation requis de sûreté valorisés dans les études relatives aux agressions « grands chauds », « grands froids » et « explosion interne ». Le respect en exploitation de ces débits doit garantir le maintien, dans les locaux, des températures acceptables pour le bon fonctionnement des équipements de sûreté qu'ils abritent, ainsi que l'absence de risque d'explosion, et cela pour l'ensemble des situations de fonctionnement normal et accidentelles considérées dans les référentiels associés à ces agressions. La définition correcte de ces débits est donc essentielle à la démonstration de sûreté. Or l'IRSN constate que la démarche retenue par EDF pour l'établissement de ces débits conduit à limiter la marge entre la température ambiante calculée dans le local à l'aide de l'outil ThBat et la température admissible des équipements qu'il contient. Il est donc nécessaire de vérifier que les conservatismes retenus par EDF dans ses études thermiques permettent de couvrir, avec des marges, les incertitudes existantes par ailleurs, en particulier celles relatives à l'utilisation du logiciel ThBat et aux données d'entrée des études.

Dans le cadre de la présente expertise, cette vérification n'a pas pu être menée à son terme, EDF n'ayant pas transmis les notes d'études thermiques détaillées, mais uniquement la note présentant le bilan de ces études. Néanmoins, les nombreux éléments apportés par EDF, concernant la représentativité des températures calculées par le logiciel ThBat dans les études thermiques, ont permis de lever certaines interrogations sur des postes d'incertitudes potentiels associés à la modélisation, mais aussi d'en confirmer d'autres (en particulier sur l'évaluation de la température à proximité des matériels). À ce stade, l'IRSN n'est en mesure de se prononcer, ni sur le caractère suffisant des modifications envisagées par EDF dans le cadre du réexamen VD4-900 concernant les dispositions de protection au titre des « grands chauds » et des « grands froids », ni sur la pertinence des débits de sûreté actuellement déterminés. À cet égard, EDF s'est engagé, pour les locaux présentant des enjeux de sûreté importants et de faibles marges sur la tenue en température des équipements qu'ils abritent, à reprendre les études thermiques à l'échéance de fin 2021, afin de s'assurer de l'existence de marge suffisante. Dans ce cadre, EDF prévoit des évolutions des hypothèses de découplage, mais n'a pas précisé la nature exacte de ces évolutions. L'IRSN estime qu'avant la reprise de ses études, EDF devra donner de la visibilité sur ce sujet. L'IRSN souligne par ailleurs que, compte tenu du délai associé à l'engagement d'EDF, la démonstration ne sera pas apportée pour le redémarrage du réacteur n°1 du site du Tricastin.

En outre, l'IRSN estime qu'EDF doit présenter les résultats et les conclusions des lots 2 à 4 du PAV (mesures de débits de ventilation sur des réacteurs pilotes et remise à niveau si nécessaire ; analyse des mesures et identification des modifications éventuelles ; généralisation aux réacteurs de 900 MWe) en amont des quatrièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe.

Enfin, l'IRSN considère que toute exigence relative aux systèmes de conditionnement thermique, et pas seulement les débits globaux requis de ventilation, doit être intégrée à la démonstration de sûreté, dès lors qu'elle est nécessaire au respect des températures admissibles des EIPS dans les locaux. Ceci concerne notamment les puissances de chauffage et de refroidissement valorisées dans les études thermiques et les débits requis par local.

## 6. Conclusion

L'IRSN souligne l'ampleur des études d'agressions menées par EDF dans le cadre du réexamen VD4-900, ainsi que les améliorations qui ont été apportées à la plupart de ces études par rapport au réexamen précédent des réacteurs de 900 MWe. Sur la base des études expertisées et compte tenu des compléments qu'EDF s'est engagé à apporter, l'IRSN considère que les dispositions de protection existantes et les modifications prévues par EDF à la suite de ces études devraient permettre d'atteindre les objectifs fixés pour le réexamen VD4-900 à l'égard des agressions.

L'IRSN souligne néanmoins l'importance des compléments attendus de la part d'EDF pour finaliser les démonstrations de sûreté relatives à certaines agressions et pour permettre de justifier le caractère suffisant des dispositions de protection associées. En outre, l'IRSN estime que d'autres compléments, qui font l'objet des recommandations présentées en annexe, sont nécessaires pour garantir la maîtrise des risques liés aux canicules, aux incendies et aux inondations internes.

Enfin, au vu des compléments attendus, il apparaît que la démonstration ne pourra pas être apportée sur certains aspects dans les délais cohérents avec la quatrième visite décennale du réacteur n° 1 du site de Tricastin.

Pour le Directeur général et par délégation,

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe à l'Avis IRSN/2019-00019 du 6 février 2019

Recommandations

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF réévalue la température exceptionnelle TE et la température Tmin, à retenir pour chaque site dans le cadre du réexamen VD4-900, en tenant compte :

- d'une période de retour centennale (borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70 %), permettant de couvrir l'évolution climatique jusqu'au prochain réexamen de sûreté du site ;
- de tendances climatiques justifiées par rapport aux caractéristiques d'une région pertinente pour le site d'intérêt ;
- de valeurs enveloppes du retour d'expérience pertinent pour le site.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande que, dans le cadre du réexamen VD4-900, EDF évalue la capacité des installations à faire face aux situations du domaine complémentaire pour des conditions de température extérieure élevée et montre que ces situations peuvent être gérées avec un taux de couverture suffisant ou mette en œuvre les modifications nécessaires. Pour les situations de perte totale des alimentations électriques, l'IRSN recommande qu'EDF montre qu'elles peuvent être gérées pour les températures extérieures du référentiel « grands chauds ».

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande qu'EDF réalise, au plus tard pour le rapport de conclusions du réexamen du réacteur n° 1 de la centrale nucléaire du Tricastin, une analyse complémentaire pour justifier le caractère suffisant des protections des câbles électriques dont l'agression par un incendie conduirait à un mode commun et des moyens minimaux de conduite du local W606 des réacteurs du palier CPY, compte tenu des enjeux de sûreté associés et du faible écart entre la performance de ces protections et l'intensité de l'incendie susceptible de se produire dans ce local.

Recommandation n° 4

L'IRSN recommande qu'EDF vérifie, avant le redémarrage du réacteur n° 1 du site du Tricastin après sa quatrième visite décennale, que les actions d'isolement de fuite en cas d'inondation interne sont réalisables dans les délais valorisés dans les études déterministes des risques liés à cette agression, en tenant compte du temps effectivement nécessaire, lors des différents scénarios d'inondation possibles, pour identifier l'origine de la fuite ainsi que les organes à manœuvrer. Pour les scénarios pour lesquels cette faisabilité ne pourrait pas être vérifiée, EDF devra mettre en œuvre des dispositions organisationnelles (procédures...) ou matérielles (moyens de détection dans les locaux...) pour permettre de réaliser les actions d'isolement ou montrer que les délais réévalués ne remettent pas en cause les conclusions des études réalisées.