

Fontenay-aux-Roses, le 19 janvier 2018

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis/IRSN N° 2018-000013

Objet : Examen du Dossier d'options de sûreté du réacteur EPR Nouveau Modèle (EPR NM)

Réf. Lettre ASN CODEP-DCN-2017-039708 du 1^{er} décembre 2017

Le décret n°2007-1557 du 2 novembre 2007 modifié relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives stipule que « *toute personne qui prévoit d'exploiter une installation nucléaire de base peut demander à l'Autorité de sûreté nucléaire, préalablement à l'engagement de la procédure d'autorisation de création prévue par l'article 29 de la loi du 13 juin 2006, un avis sur tout ou partie des options qu'elle a retenues pour assurer la sûreté de cette installation* ».

Dans ce cadre, Electricité de France (EDF) a sollicité, le 15 avril 2016, l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sur les principales options de sûreté d'un projet de nouveau modèle de réacteur, appelé EPR Nouveau Modèle (EPR NM). Le dossier d'options de sûreté (DOS), transmis en support à cette demande, présente le référentiel de sûreté applicable à ce projet de réacteur et les principales options de conception actuellement à l'étude. Par lettre citée en référence, l'ASN a souhaité recueillir l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur ce dossier, en vue de la tenue d'une réunion du groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires.

Conformément à votre demande, l'IRSN a examiné les sujets suivants :

- la prise en compte du retour d'expérience ;
- les objectifs de sûreté ;
- les référentiels réglementaires et para-réglementaires applicables ;
- la démarche générale de conception (principes généraux de conception et démarche d'étude des situations de fonctionnement et des agressions) ;
- les principales options de conception du réacteur ainsi que l'architecture et la conception des principaux systèmes participant à la réalisation des fonctions de sûreté du réacteur ;
- les principales options de conception de la piscine d'entreposage et de manutention du combustible et du bâtiment combustible (BK) ainsi que la démarche d'élimination pratique de la fusion de combustible dans le BK.

En parallèle, EDF a déposé en juin 2016, auprès du Haut Fonctionnaire de la Défense et de la Sécurité (HFDS), un dossier d'options de sécurité (DOSEC), au titre du Code de la Défense.

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 B 440 546 018

LE RÉACTEUR EPR NM

Les principales évolutions retenues par EDF pour le projet EPR NM par rapport au réacteur EPR FA3 sont les suivantes :

- augmentation de la puissance du cœur (1750 MWe - 4850 MWth) ;
- évolution de la conception des assemblages combustibles ;
- utilisation de grappes de commande « noires¹ » pour le contrôle du cœur ;
- évolution de l'instrumentation dédiée à la protection et à la surveillance du cœur ;
- passage de quatre trains pour les systèmes de sauvegarde (injection de sécurité, alimentation de secours des générateurs de vapeur...) à trois trains ;
- amélioration des systèmes supports à la réalisation des fonctions de sûreté (renforcement de la diversification de la source froide, amélioration des sources électriques, des systèmes de ventilation et de conditionnement thermique des locaux...) ;
- passage à une simple enceinte de confinement avec liner du bâtiment du réacteur (BR) ;
- simplification de la conception du récupérateur de corium, avec notamment la réduction de la surface d'étalement du corium ;
- suppression du concept « two-room » (pas d'accès au bâtiment du réacteur en fonctionnement) ;
- suppression du bâtiment des auxiliaires nucléaires (BAN).

Le guide ASN n°22 relatif à la conception des réacteurs à eau sous pression, récemment publié par l'ASN et établi conjointement avec l'IRSN (désigné ci-après « guide n°22 »), sert de référence pour la conception de ce réacteur. EDF n'a en revanche pas spécifié de manière exhaustive les référentiels réglementaires et para-réglementaires applicables ; ceux-ci seront précisés dans le rapport préliminaire de sûreté (RPrS).

OBJECTIFS DE SÛRETÉ

Les objectifs généraux de sûreté de l'EPR NM reprennent les sept objectifs définis par l'association des régulateurs européens (WENRA), en 2010, pour les nouveaux réacteurs à eau sous pression. L'IRSN estime que, au stade de la conception d'un nouveau réacteur, EDF aurait dû s'interroger davantage sur la possibilité de définir, pour l'EPR NM, des objectifs complémentaires à ceux définis pour l'EPR FA3, ou préciser les objectifs retenus pour ce réacteur, pour prendre notamment en compte, de manière explicite, les enseignements tirés, d'une part de l'accident de Fukushima Dai-ichi, d'autre part de l'instruction de l'EPR FA3. Au cours de l'instruction, l'IRSN a toutefois pu constater que des améliorations notables de la conception ont été retenues pour l'EPR NM, sans que des objectifs de sûreté aient été préalablement formulés (diversification de la source froide et indépendance du niveau 4 de la défense en profondeur notamment). EDF s'est engagé à préciser, dans le rapport préliminaire de sûreté qui accompagnera une future demande d'autorisation de création du premier réacteur EPR NM, les objectifs généraux de sûreté ainsi que les objectifs de conception qu'il a

¹ Une grappe de commande « noire » contient des matériaux neutrophages tels que le carbure de bore ou l'alliage Argent-Indium-Cadmium. Elle augmente l'efficacité de l'arrêt automatique du réacteur par rapport à l'utilisation de grappes dites « grises » dont est équipé l'EPR FA3.

retenus. De manière générale, l'IRSN considère que l'objectif doit être que le niveau de sûreté du réacteur EPR NM soit au moins équivalent à celui du réacteur EPR FA3.

DÉMARCHE GÉNÉRALE DE CONCEPTION

Principes généraux de conception

Défense en profondeur

Les fondements de la démarche générale de conception décrite par EDF, cohérents avec ceux préconisés dans le guide n°22, les objectifs définis pour chaque niveau de défense en profondeur ainsi que la structure proposée pour les niveaux 3 (prévention de la fusion du cœur) et 4 (limitation des conséquences de l'accident grave) n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN. L'IRSN note par ailleurs que, au stade de la conception, EDF prend en compte les systèmes supports dans l'application de la défense en profondeur et vise à renforcer l'indépendance entre les niveaux 3 et 4, ce qui est satisfaisant. Pour les cas dans lesquels une indépendance stricte entre les niveaux 3 et 4 ne peut pas être démontrée, une analyse au cas par cas sera nécessaire afin de s'assurer de l'atteinte d'une indépendance « autant que raisonnablement possible ». Sur ce point, l'IRSN souligne que la conception des vannes de dépressurisation du circuit primaire de l'EPR NM conduit à ouvrir les deux lignes de dépressurisation du circuit primaire pour remplir la fonction de « gavé-ouvert » relevant du niveau 3 de la défense en profondeur, de manière à disposer d'un délai d'action de l'opérateur suffisant, alors que l'ouverture d'une ligne est requise au titre du niveau 4 de la défense en profondeur. Pour l'IRSN, ceci remet en cause l'indépendance entre les niveaux 3 et 4 de la défense en profondeur sans qu'aucune justification ne soit apportée à ce stade du projet. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 1 en annexe.**

Démonstration de sûreté

Conformément au guide n°22, la démonstration de sûreté de l'EPR NM est faite de manière déterministe, complétée par des méthodes probabilistes. L'approche déterministe distingue, d'une part un domaine de conception de référence reposant sur des méthodes, règles et hypothèses d'étude conservatives, d'autre part un domaine de conception étendu reposant sur des méthodes, règles et hypothèses d'étude plus réalistes. Cette approche, complétée par la prise en compte des agressions internes et externes, n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

Les études probabilistes de sûreté (EPS) visent, en complément, à caractériser, par une investigation systématique des scénarios accidentels, les risques liés à l'installation nucléaire en termes de fréquences d'événements initiateurs redoutés et de conséquences associées. Les EPS permettent ainsi d'obtenir une vue globale de la sûreté, prenant en compte aussi bien la fiabilité des équipements que les actions réalisées par les opérateurs. Le calendrier et les méthodes de développement ainsi que le domaine de couverture des études probabilistes de sûreté de niveau 1 et de niveau 2 présentés par EDF au stade de la conception initiale du réacteur EPR NM sont acceptables. La définition des catégories de rejets utilisées pour l'analyse des résultats de l'EPS de niveau 2 devrait toutefois être revue afin de mettre en évidence les situations avec fusion de combustible dont les conséquences dépassent l'objectif, défini à la conception, de limitation, dans l'espace et dans le temps, des conséquences radiologiques et d'apporter un éclairage sur la hiérarchisation des situations d'accident

grave au regard de leurs conséquences radiologiques. EDF s'est engagé à revoir la définition des catégories de rejet en ce sens.

En outre, l'IRSN rappelle que, conformément à la décision relative au contenu du rapport de sûreté des INB, la démonstration de sûreté devra présenter des marges suffisantes pour éviter les effets falaises. EDF estime que la présence de marges suffisantes est assurée au travers de la démarche de conception et de la démonstration de sûreté afférente ; les hypothèses et règles associées aux études menées permettent de garantir une robustesse proportionnée pour chaque niveau de la défense en profondeur. L'IRSN estime qu'une attention particulière devra être portée aux conditions de fonctionnement du domaine de conception étendu, leur étude ne présentant pas le même niveau de conservatisme et de robustesse (pas d'aggravant pris en compte dans les études « DEC-A » notamment) que l'étude des conditions de fonctionnement de référence.

Classement de sûreté

Au stade de la conception, EDF a défini une démarche de classement de sûreté pour identifier les exigences applicables aux structures, systèmes et composants (SSC), en cohérence avec leur importance pour la sûreté. L'IRSN relève que la démarche de classement de l'EPR NM, qui distingue la catégorisation des fonctions (catégories 1 à 3) et le classement des SSC (classes S1 à S3), est conforme aux recommandations du guide n°22 et apparaît plus opérationnelle que celle de l'EPR FA3. Compte tenu des engagements pris par EDF au cours de l'instruction, l'IRSN estime globalement satisfaisante la démarche de classement proposée pour l'EPR NM.

Les exigences associées aux dispositions nécessaires à la prévention des situations « pratiquement éliminées » feront l'objet d'une attention particulière de l'IRSN qui sera vigilant à ce qu'un nombre suffisant de lignes de défense reste assuré en cas d'agressions externes extrêmes.

EDF exclut la défaillance d'équipements en tant qu'initiateur d'agressions au motif que les exigences qui leur sont attribuées seraient suffisantes pour ne pas supposer cette défaillance. D'une manière générale, les hypothèses relatives aux initiateurs considérés dans les études d'agressions internes, y compris les hypothèses d'absence de défaillance postulée (cas des SSC initiateurs d'inondation interne ou de missiles internes, des tuyauteries véhiculant du dihydrogène), sont insuffisamment détaillées dans le DOS et nécessitent des compléments de l'exploitant sans attendre la transmission du RPrS.

La suffisance des exigences associées au niveau de qualité de réalisation attribué à des SSC classés, en fonction des enjeux de sûreté, sera évaluée lors de l'examen du RPrS.

Enfin, l'IRSN note qu'EDF entend utiliser les mêmes exceptions aux règles de classement que pour l'EPR FA3 et estime ceci peu ambitieux au stade de la conception d'un nouveau réacteur.

Qualification aux conditions accidentelles

L'IRSN estime globalement satisfaisante la démarche de qualification aux conditions accidentelles des équipements de l'EPR NM qui a été présentée par EDF dans son principe (référentiel, sollicitations à prendre en compte, fonctions à qualifier et exigences associées au processus de qualification).

Exclusion de rupture

EDF propose d'appliquer une démarche d'exclusion de rupture aux tuyauteries principales du circuit primaire principal (CPP) et aux tuyauteries de vapeur des circuits secondaires principaux (CSP) jusqu'au point fixe en aval de la vanne d'isolement de vapeur. Le référentiel d'application de la démarche d'exclusion de rupture pour l'EPR NM, qui sera transmis à l'ASN fin 2018, sera fondé sur celui mis en œuvre pour l'EPR FA3.

De son analyse, l'IRSN retient, au rang des avantages que procure l'application de la démarche d'exclusion de rupture, des gains significatifs en termes de tracé pour le CPP, mais plus limités pour le CSP. En tout état de cause, l'acceptabilité de la démarche repose en premier lieu sur l'excellence de la qualité de conception et de réalisation qui, pour l'IRSN, n'a pas été suffisante pour les tuyauteries de vapeur principales de l'EPR FA3.

Pour les tuyauteries principales du circuit primaire principal, l'IRSN réserve sa position quant à l'application d'une démarche d'exclusion de rupture dans l'attente d'éléments complémentaires, dont le référentiel de conception, de fabrication et de contrôle en service. Ces éléments devront être transmis sans attendre le RPrS.

Pour les tuyauteries principales des circuits secondaires principaux, l'IRSN estime qu'EDF devra limiter l'application de la démarche d'exclusion de rupture aux seuls tronçons le nécessitant, soit les tronçons des lignes de vapeur situés à l'extérieur de l'enceinte de confinement.

Lien entre les situations et charges des équipements et les études du rapport de sûreté

En application de l'arrêté du 12 décembre 2005 relatif aux équipements sous pression nucléaires, EDF doit définir la liste des situations de fonctionnement du circuit primaire principal et du circuit secondaire principal de l'EPR NM. L'IRSN souligne l'importance de démontrer le caractère enveloppe de la liste des situations retenues pour le dimensionnement de la deuxième barrière. La démonstration de ce caractère enveloppe devra notamment s'appuyer sur la vérification que la caractérisation thermohydraulique des situations retenues est, d'une part pertinente à l'égard du risque de perte d'intégrité de la deuxième barrière, d'autre part qu'elle conduit à des chargements conservatifs. EDF s'est engagé à justifier ce point dans le RPrS. A cet égard, EDF s'est engagé, à la même échéance, à vérifier s'il n'existe pas de situations qui dimensionnent la deuxième barrière et qui ne découlent pas des conditions de fonctionnement retenues pour le réacteur.

Prise en compte des dimensions organisationnelles et humaines

La prise en compte des dimensions organisationnelles et humaines à la conception est un facteur déterminant pour garantir la sûreté en exploitation. A cet égard, la conception de l'EPR NM doit favoriser la capacité des personnels à détecter et à gérer les aléas et doit permettre de limiter les possibilités d'actions humaines inappropriées, tant en fonctionnement normal qu'en situations accidentelles. La démarche générale d'Ingénierie des Facteurs Humains (PIFH), présentée par EDF pour répondre à cette exigence, repose sur des principes reconnus au niveau international, repris par le guide n°22. Ainsi, EDF envisage l'installation à concevoir, non pas comme un système technique, mais comme un système sociotechnique dont le bon fonctionnement repose sur l'articulation entre les activités humaines individuelles et collectives et les systèmes techniques.

La démarche qu'il retient doit permettre, au fur et à mesure que les options techniques ou organisationnelles de conception seront définies, d'anticiper leurs conséquences sur les activités humaines qui seront réalisées dans l'installation et d'identifier les difficultés probables et les risques associés afin d'ajuster à temps ces options de conception ; ceci est satisfaisant.

EDF s'est ainsi engagé à réaliser une analyse des impacts, sur la sûreté en exploitation, des évolutions de conception susceptibles d'induire des contraintes particulières et à présenter les mesures qu'il retient pour limiter ces contraintes. Il s'est de plus engagé à présenter, dans le RPrS, pour les situations d'exploitation présentant un enjeu particulier en termes de sûreté, les exigences de conception issues des études des facteurs humains, visant à fiabiliser la réalisation des activités humaines, ainsi que les dispositions techniques ou organisationnelles associées.

Couplage sûreté/sécurité

Les interfaces entre la sûreté et la sécurité ne sont traitées, ni dans le DOS, ni dans le DOSEC. Toutefois, l'IRSN a pu constater, au cours de son analyse, la mise en œuvre, par EDF, d'une approche intégrée, prenant en compte les interfaces entre la sûreté et la sécurité. EDF mettra à jour le chapitre du RPrS relatif au système de management de la qualité pour préciser les modalités de prise en compte des interfaces sûreté/sécurité dans le projet.

Démarche d'étude des situations de fonctionnement et des agressions

Conditions de fonctionnement de référence

La démarche d'élaboration de la liste des conditions de fonctionnement de référence (DBC) s'appuie sur l'identification préalable des événements initiateurs uniques, en cohérence avec le guide n°22.

Les règles d'étude des conditions DBC sont pour la plupart celles retenues pour l'EPR FA3. L'indisponibilité pour maintenance préventive d'un train d'un système n'est plus toutefois prise en compte, ce qui conduit à une architecture des principaux systèmes de sûreté à trois trains. Compte tenu des engagements pris par EDF au cours de l'instruction, l'IRSN estime ces règles d'étude satisfaisantes.

Les critères de tenue du combustible sont pour la plupart cohérents avec ceux retenus pour l'EPR FA3. Ils prennent notamment en compte les conclusions de l'instruction du nouveau référentiel APRP. Certains critères intègrent les évolutions proposées par EDF dans le cadre de la réunion du GPR dédiée à l'examen des critères de tenue du combustible. EDF devra tenir compte des demandes afférentes qui seront formulées par l'ASN. **L'IRSN rappelle par ailleurs que, dans le cadre de l'instruction des critères retenus pour l'EPR FA3, l'ASN a demandé à EDF d'afficher explicitement une exigence d'absence de fusion de combustible en transitoire de catégorie 3. Cette exigence devra être reconduite pour l'EPR NM.** De surcroît, l'exploitant a indiqué, au cours de l'instruction, viser comme objectif de conception, l'absence de crise d'ébullition en transitoire de catégorie 3.

Concernant les règles d'étude des DBC relatives à la piscine d'entreposage des assemblages combustibles usés, l'IRSN estime que, à l'instar de ce qui est prévu pour l'EPR FA3, le manque de tension externe (MDTE) doit être pris en compte avec l'aggravant pour l'étude des DBC associées à

l'entreposage et à la manutention du combustible. Dans ce cas, seuls des équipements classés sismiques pourront être valorisés.

La liste des DBC sera consolidée dans le RPrS.

Conditions de fonctionnement avec défaillances multiples

Pour l'EPR NM, EDF propose une nouvelle démarche d'identification des conditions de fonctionnement avec défaillances multiples (DEC-A) consistant en une analyse déterministe des conséquences des défaillances de causes communes (DCC) considérées comme les plus probables. La liste des conditions DEC-A n'est plus un résultat des EPS comme c'est le cas pour l'EPR FA3 pour les conditions de réduction du risque de fusion du cœur (RRC-A). La démonstration de sûreté résultant de cette démarche sera, in fine, confortée par les résultats des EPS de niveau 1 qui viseront à démontrer le respect de l'objectif de limitation de la fréquence de fusion du cœur. L'IRSN estime que la démarche proposée par EDF est pertinente et permet une identification relativement exhaustive, dès le stade du DOS, des dispositions DEC-A. EDF s'est de plus engagé à proposer, dans le RPrS, une démarche d'utilisation des EPS de niveau 1 « événements internes » (réacteur et piscine) pour mettre en évidence les éventuelles séquences prépondérantes qui ne seraient pas couvertes par une condition de fonctionnement DEC-A issue de l'application de la démarche déterministe. Les règles d'étude des conditions DEC-A sont identiques aux règles d'études des conditions RRC-A de l'EPR FA3. Pour le réacteur, l'état sûr est caractérisé par un cœur sous-critique et par les fonctions fondamentales de sûreté assurées durablement. Pour la piscine de désactivation, EDF s'est engagé à modifier la définition de l'état sûr initialement proposée pour les études DEC-A afin de requérir une évacuation durable de la puissance résiduelle en boucle fermée, ce qui est satisfaisant.

Prise en compte des situations d'accident grave

Les conditions de fonctionnement avec fusion du cœur « DEC-B » définies par EDF au stade du DOS pour dimensionner des dispositions de conception complémentaires permettant d'assurer en particulier le confinement des substances radioactives en cas d'accident avec fusion du cœur sont acceptables. Le caractère suffisant de la démarche d'EDF sera confirmé en s'appuyant sur les études probabilistes de sûreté. Les règles d'étude de ces conditions n'appellent pas de remarque, sous réserve que les règles générales d'exploitation limitent les indisponibilités, dues à la maintenance préventive, des systèmes intervenant dans ces conditions.

Prise en compte des agressions internes

La liste des agressions internes prises en compte à la conception est conforme à l'« arrêté INB ». Les règles de cumul d'agressions internes n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.

L'IRSN estime qu'EDF doit rechercher des solutions techniques pour éviter, autant que possible, qu'une agression interne n'induisse un événement DBC, et, le cas échéant, justifier les éventuels DBC induits qui n'ont pas pu être exclus à la conception. Pour l'étude de ces derniers, il s'est par ailleurs engagé à valoriser en priorité les dispositions utilisées dans les conditions DBC.

L'IRSN considère en outre qu'aucune agression interne ne doit générer de conditions DEC-A ou DEC-B, objectif qu'EDF s'est engagé à retenir.

L'IRSN estime enfin qu'EDF doit se fixer comme objectif d'éviter les situations de mode commun en cas d'agression interne. EDF s'est engagé à apporter des justifications particulières pour les agressions pour lesquelles il ne serait pas possible de limiter la perte des redondances d'un système et à présenter les dispositions de conception associées.

Par ailleurs :

- pour l'incendie d'origine interne, l'IRSN souligne l'importance de définir au plus tôt les principes de conception pour maîtriser les différents phénomènes liés à l'incendie (dysfonctionnements liés aux suies, effets de pression...) et permettre ainsi une amélioration de la sûreté, notamment sur des sujets ayant fait l'objet de demandes ou remarques de l'ASN, souvent récurrentes, pour les réacteurs en fonctionnement ;
- pour les défaillances de tuyauterie, EDF reconduit les hypothèses du référentiel « Rupture de tuyauterie haute énergie » de l'EPR FA3, à l'exception des défaillances de tuyauteries haute énergie en gaz basse pression qu'il ne prend plus en compte. EDF a transmis des éléments de justification sur ce point qui seront analysés sans attendre la transmission du RPrS ;
- pour les missiles internes, EDF retient les mêmes initiateurs que pour l'EPR FA3, à savoir des défaillances sur les composants à haute énergie (réservoirs, pompes et vannes) ne disposant pas d'un niveau de qualité Q dans tous les bâtiments classés de sûreté. En outre, EDF a proposé d'étudier, au titre de la robustesse et à l'instar de l'EPR FA3, la défaillance d'un échantillon caractéristique de composants à haute énergie du bâtiment du réacteur de niveau de qualité Q. En revanche, pour les autres bâtiments, il ne prévoit pas de réaliser de telles études du fait d'une bonne séparation géographique, d'un nombre plus faible de composants à fort potentiel énergétique ainsi que de cibles potentielles et d'un degré de qualité jugé suffisant pour considérer que la défaillance d'un composant à haute énergie de niveau de qualité Q avec émission de missile est extrêmement faible. L'IRSN estime que l'attribution d'un niveau de qualité Q aux équipements ne dispense pas EDF d'examiner les conséquences de leur défaillance dans le cadre des études d'agression « missiles internes » au titre de la défense en profondeur, d'autant que le retour d'expérience de la construction de l'EPR FA3 a montré des problèmes de qualité de réalisation pour certains équipements Q3. La connaissance des conséquences permettra ainsi de définir les dispositions de protection et d'attribuer les exigences nécessaires. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 2 en annexe.**

Prise en compte des agressions externes

La liste des agressions externes de référence prise en compte à la conception et l'objectif de sûreté associé (« *absence de fusion du cœur et un impact radiologique nul ou mineur* ») sont satisfaisants. De même, les règles de cumuls relatifs aux agressions externes n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN à ce stade.

Agressions externes de référence d'origine naturelle

EDF distingue, d'une part les niveaux de référence DBH (Design Basis external Hazards), représentatifs d'un événement dont la fréquence cible de dépassement serait inférieure à 10^{-4} /an environ, d'autre part des niveaux de conception découplés, qui constituent des valeurs de découplage utilisées pour la

phase de conception initiale (Basic Design), en l'attente du choix d'un site d'implantation. Dans le cas où l'aléa dont la fréquence cible de dépassement de 10^{-4} /an ne pourrait pas être défini ou lorsque les incertitudes sur le niveau d'agression ainsi évalué sont trop élevées, l'IRSN estime acceptable de retenir, comme niveau DBH, un niveau d'agression « équivalent » par ajout d'une marge suffisante au niveau d'agression estimé pour une fréquence plus élevée, sous réserve que cette marge soit justifiée.

Agressions externes de référence d'origine anthropique

L'agression de référence retenue pour le risque d'explosion externe n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN. De même, moyennant la prise en compte des valeurs limites d'exposition professionnelle, les principes d'analyse des risques liés aux rejets toxiques n'appellent pas de remarque.

Concernant la chute accidentelle d'aéronef, EDF retient, sur la base des recommandations de la RFS 1.2.a utilisée lors de la conception des REP en fonctionnement, la chute d'un aéronef de l'aviation générale, alors que la chute accidentelle d'un avion militaire a également été prise en compte pour l'EPR FA3. De plus, l'accident de la centrale de Fukushima Dai-ichi en 2011 conduit à s'interroger davantage sur les événements rares, plus sévères que ceux pris en compte dans le dimensionnement de référence de l'installation et dont les conséquences pourraient être très importantes. Pour le risque de chute d'aéronef, un tel événement pourrait être la chute accidentelle d'un avion commercial. Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 3 en annexe.

Agressions externes extrêmes

L'IRSN estime que la liste des agressions externes extrêmes naturelles retenue par EDF est satisfaisante. Une fois le site d'implantation connu, les valeurs des niveaux d'agressions externes extrêmes retenues pour l'EPR NM et les fréquences associées, devront être justifiées par EDF.

Pour démontrer la capacité des SSC à assurer leur fonction suite à un séisme extrême, EDF propose une nouvelle démarche probabiliste dénommée Design Extension Seismic Capacity (DESC). Sur la base des éléments présentés par EDF au cours de l'instruction, l'IRSN considère que cette méthode n'est pas satisfaisante dans la mesure où elle ne permet pas d'apporter la démonstration de l'intégrité et de la fonctionnalité des SSC requis en cas de séisme extrême, avec le niveau de confiance nécessaire. Elle présente plusieurs caractéristiques qui l'éloignent des méthodes, à la fois robustes et fiables, requises pour justifier le bon comportement des ouvrages et des équipements en cas de séisme extrême.

L'IRSN considère que les méthodes du domaine de conception étendu doivent être fondées sur une analyse déterministe du comportement des structures, systèmes et composants, analyse qui doit en outre présenter des garanties de conservatisme quant aux paramètres qu'elle permet d'évaluer.

PRINCIPALES OPTIONS DE CONCEPTION

Le cœur, les assemblages combustibles et l'instrumentation du cœur

Comme pour le réacteur EPR FA3, le cœur est constitué de 241 assemblages combustibles et est entouré d'un réflecteur lourd. La puissance thermique nominale du cœur visée est de 4850 MW_{th} (environ 1750 MWe).

De manière générale, l'IRSN considère que l'augmentation de la puissance thermique du cœur va à l'encontre de l'augmentation des marges de sûreté que l'on pourrait attendre d'un nouveau modèle de réacteur. Certaines adaptations ont dû être apportées à la conception afin d'accommoder cette augmentation de puissance : l'augmentation du nombre de tubes des générateurs de vapeur pour augmenter le transfert de chaleur vers le secondaire, l'ajout d'une quatrième pompe d'alimentation de secours des générateurs de vapeur (ASG) pour évacuer la puissance résiduelle, l'augmentation de l'efficacité de l'arrêt automatique du réacteur (AAR), l'ajout d'un système d'aspersion de l'enceinte (EAS) pour garantir une marge au vu du profil de qualification des équipements aux conditions d'ambiance dégradées dans l'enceinte... L'IRSN considère que certaines de ces adaptations ne sont pas favorables pour la sûreté. Par exemple, le fait de remplacer les grappes de commande « grises » par des grappes de commande « noires » pour augmenter l'efficacité de l'AAR conduit, en contrepartie, à augmenter la réactivité introduite lors d'un accident d'éjection de grappe, à niveau d'insertion initiale de la grappe identique, et ainsi à réduire le conservatisme de la démonstration de sûreté de cet accident de référence. L'augmentation de la taille des GV va également augmenter le volume du bouchon d'eau claire formé par condensation de vapeur dans les tubes GV en cas de transitoire d'APRP, dont l'introduction dans le cœur, au moment de la reprise de la circulation naturelle, peut conduire à un retour en criticité (risque de dilution hétérogène inhérent à l'APRP).

Compte tenu de ces éléments, non exhaustifs, l'IRSN estime que l'augmentation du niveau de puissance thermique du cœur est de nature à réduire les marges de sûreté et n'y est donc pas favorable.

La conception des assemblages combustibles de l'EPR NM est modifiée par rapport à celle des assemblages combustibles de l'EPR FA3 afin d'en augmenter les performances pour le risque de crise d'ébullition dans le cœur. L'IRSN ne peut pas se positionner sur ces évolutions à ce stade, en l'absence d'éléments suffisants. La corrélation de flux critique devra notamment être revue, de nouveaux essais réalisés pour leur définition et leur validation...

L'instrumentation du cœur, qu'elle soit interne (dite in-core) ou externe (dite ex-core), a pour vocation de mesurer les niveaux et distribution de la puissance nucléaire dans le cœur, ainsi que les températures et niveaux d'eau dans la cuve. Ces mesures permettent d'assurer certaines fonctions de protection, surveillance ou régulation du cœur. Plusieurs évolutions sont à noter par rapport à l'EPR FA3 :

- le système « Aeroball » est remplacé par des collectrons à émetteurs rhodium pour la mesure de la distribution de puissance de référence (carte de flux) ;
- les collectrons à émetteurs Cobalt (in-core) sont supprimés et leurs fonctions reprises par d'autres chaînes d'instrumentation ;

- les fonctions de protection générique du cœur (assurées par les collectrons à émetteurs Cobalt sur l'EPR FA3) sont transférées aux chaînes ex-core et les fonctions de surveillance sont transférées aux collectrons à émetteurs rhodium ;
- un système de mesure des positions de chaque grappe du cœur (« Rod Position Indicator » - système RPI) est introduit ; les signaux délivrés par ce système sont utilisés pour des fonctions de protection et de surveillance du réacteur.

Globalement, l'IRSN estime que l'instrumentation neutronique de référence du cœur prévue pour l'EPR NM, avec un taux de scrutation radial limité par rapport aux réacteurs du parc en fonctionnement (25 % contre environ 30 % pour le parc) et un nombre de points de mesure axiale très réduit (huit valeurs représentant une moyenne sur 40 cm contre 36 valeurs pour l'EPR FA3 et des mesures quasi-continues pour le parc), sachant de plus que certains capteurs sont situés au droit des grilles des assemblages combustibles, n'est pas satisfaisante. Il formule à cet égard la **recommandation n° 4 en annexe**.

L'IRSN souligne en revanche que le système RPI constitue une avancée notable en termes de sûreté puisqu'il permet *a priori* de détecter et de protéger le cœur lors de certains transitoires dissymétriques de réactivité faisant intervenir des mouvements de grappes, avec un déclenchement automatique de l'AAR dès leur détection. **Dans la mesure où, contrairement au réacteur EPR FA3, les collectrons implantés dans le cœur de l'EPR NM ne peuvent pas contribuer à la protection du cœur contre les accidents de réactivité dissymétriques dus à un mouvement intempestif de grappes (retrait d'une grappe en puissance, chute de grappes), l'IRSN estime que ce système est indispensable.**

Le circuit primaire principal et le circuit secondaire principal

Le circuit primaire principal comporte quatre boucles. Sa conception devrait reprendre les choix technologiques de l'EPR FA3 avec quelques modifications (ajout de piquages du système de borication de sécurité - RBS - par exemple). La conception générale de la cuve est inchangée, bien que la puissance du réacteur EPR NM ait été augmentée, l'augmentation de puissance étant obtenue par l'accroissement de la puissance linéique du cœur.

EDF a indiqué que le retour d'expérience de fabrication de la cuve de l'EPR FA3 (gamme de forgeage des calottes de cuve, problèmes de réalisation et de contrôle des soudures des adaptateurs sur le couvercle de cuve) serait pris en compte ; il a toutefois précisé que les choix technologiques pour la fabrication des grosses pièces de forge ne sont pas encore définis.

L'augmentation de puissance du réacteur conduit à une augmentation des dimensions des générateurs de vapeur et du pressuriseur. L'IRSN souligne à cet égard que l'encombrement et le poids de ces gros composants sont susceptibles de complexifier leur fabrication, installation, supportage et remplacement.

Pour ce qui concerne les groupes motopompes primaires, EDF compte utiliser des joints d'étanchéité hydrodynamiques ce qui constitue, sur le principe, une amélioration notable de la sûreté du réacteur EPR NM par rapport aux autres réacteurs français. En effet, grâce à cette solution, l'étanchéité d'une

pompe primaire pourrait être assurée dans les situations de perte totale de la source froide et de manque de tension généralisé (manque de tension externe et perte des groupes électrogènes de secours principaux). EDF s'est engagé à démontrer la fonctionnalité des joints hydrodynamiques des groupes motopompes primaires pour l'ensemble des conditions de fonctionnement dans lesquelles ces joints sont sollicités en s'appuyant sur des essais de qualification, ce qui est satisfaisant.

EDF n'a en revanche donné aucune information sur la conception des soupapes de sûreté pilotées du pressuriseur de l'EPR NM, dans l'attente des conclusions de l'analyse en cours pour l'EPR FA3. Pour l'IRSN, si la conception de la soupape du pressuriseur de l'EPR FA3 présente l'avantage de permettre une baisse rapide de la pression du circuit primaire, elle présente des inconvénients, en particulier le non-respect du critère de défaillance unique à la refermeture. Ceci augmente, par rapport aux réacteurs du parc en fonctionnement, le risque de brèche primaire non isolable en cas de défaillance à la refermeture de la soupape. **L'IRSN estime nécessaire qu'EDF retienne pour les soupapes de sûreté du pressuriseur, une technologie éprouvée qui respecte le critère de défaillance unique.**

Enfin, la conception des circuits secondaires n'appelle pas de remarque particulière de la part de l'IRSN.

Le génie civil et l'enceinte de confinement

La conception de l'îlot nucléaire est monolithique : ses cinq bâtiments (BR, bâtiment du combustible (BK) et bâtiments des auxiliaires de sauvegarde (BAS) 1 à 3) sont fondés sur un radier commun et des joints de structure sont prévus entre le BR et les bâtiments périphériques (BK et BAS1 à 3). Ces joints répondent à des exigences de confinement ou de sectorisation contre l'incendie. En outre, le joint placé entre l'enceinte du BR et les toitures adjacentes répond à des exigences à l'égard des agressions externes, notamment la chute d'aéronef. Ceci constitue une nouveauté par rapport au réacteur EPR FA3. L'IRSN estime que la conception proposée des bâtiments de l'îlot nucléaire est de nature à permettre un comportement mécanique favorable de leurs structures de génie civil, notamment en cas de séisme.

L'enceinte de confinement de l'EPR NM est une enceinte simple épaisse en béton précontraint, encastrée dans le radier en béton armé. Le choix d'une enceinte simple est motivé par le souhait de simplifier la réalisation du génie civil et justifié par le fait que la construction et l'exploitation de ce type d'enceinte présentent un retour d'expérience favorable.

L'étanchéité de l'enceinte repose, en particulier, sur la qualité de réalisation du liner métallique interne. A cet égard, EDF s'est engagé à réaliser des contrôles de l'ensemble des soudures du liner métallique et à démontrer les performances de ces contrôles.

L'IRSN estime que le principe d'une enceinte à simple paroi épaisse est acceptable.

Architecture des principaux systèmes participant à la réalisation des fonctions de sûreté

Systemes de sûreté

Les systèmes de sauvegarde de l'EPR NM requis pour la gestion des conditions de fonctionnement de référence, et par cohérence leurs systèmes supports, sont généralement organisés en trois trains de sûreté (ASG, RIS-RA, groupes électrogènes de secours principaux...). Ceci constitue une évolution majeure par rapport à la conception initiale du modèle EPR retenant pour ces systèmes une architecture à quatre trains. EDF justifie ce choix par l'abandon, pour l'EPR NM, de l'exigence de maintenance préventive des systèmes de sauvegarde lorsque le réacteur est en puissance. A l'issue de son analyse, l'IRSN n'a pas d'objection sur le principe d'une architecture à trois trains des principaux systèmes de sûreté de l'EPR NM. Les études de sûreté détaillées devront consolider le bien-fondé de cette option de conception et permettre d'identifier les ajustements éventuellement nécessaires.

L'IRSN note par ailleurs l'introduction d'un certain nombre d'améliorations dans la conception des systèmes de sauvegarde, notamment l'utilisation d'une eau désaérée pour le système ASG ou l'ajout d'un troisième train du système RBS visant à améliorer la maîtrise de la réactivité dans les situations accidentelles. **En revanche, l'IRSN a constaté qu'EDF n'avait pas recherché de solutions techniques alternatives à celles retenues lors de la conception de l'EPR FA3, pour prendre en compte les risques identifiés lors de l'analyse détaillée de la conception de systèmes tels que le RIS-RA ou l'EVU.**

En cas d'APRP, les systèmes RIS-RA et EAS fonctionnent en « recirculation » en aspirant l'eau dans le réservoir IRWST (In-vessel retention water storage tank) situé au fond du BR pour la réinjecter respectivement dans le circuit primaire ou dans l'enceinte. C'est également le cas du système d'évacuation ultime de la puissance de l'enceinte (EVU) utilisé en situation d'accident grave. Le réservoir IRWST récupère l'eau provenant des niveaux supérieurs du BR (eau perdue par la brèche du circuit primaire ou provenant des buses d'aspersion). Des débris peuvent se retrouver dans l'eau de l'IRWST (débris de calorifuge, de peintures...). Ces débris peuvent perturber le fonctionnement des systèmes RIS-RA, EAS et EVU et nuire au refroidissement du cœur ou à l'évacuation de la puissance de l'enceinte. Des dispositifs de filtration sont donc installés. L'efficacité de la filtration est très dépendante de la caractérisation précise des débris susceptibles d'être présents en fond de puisards et de leurs effets, notamment en termes de réactions chimiques (formation de gel, d'agrégats...) dans l'eau des puisards. Ces réactions chimiques sont fonctions des espèces en présence, du pH et de la température de l'eau.

Le dimensionnement des filtres doit permettre d'éviter la perte des pompes de recirculation qui résulterait d'un colmatage des filtres tout en garantissant le fonctionnement des composants situés en aval des filtres. L'IRSN estime que des efforts de conception sont nécessaires, notamment au niveau des calorifuges et du dimensionnement des dispositifs de filtration et qu'EDF devra fournir, dans le RPrS, une démonstration robuste de la fiabilité de la fonction « recirculation » dans les situations de perte de réfrigérant primaire et d'accident grave, ce qu'il s'est engagé à faire. L'IRSN estime en particulier que cette démonstration devra s'appuyer sur un nombre suffisant d'essais représentatifs des différents scénarios accidentels, y compris d'accident grave.

La conception du système EVU du réacteur EPR NM est similaire à celle retenue pour l'EPR FA3 ; si l'ajout de ce système pour l'EPR FA3 constitue une amélioration significative de la sûreté au regard des réacteurs du parc en fonctionnement, l'instruction de la conception détaillée de ce système a mis en évidence certains inconvénients qui, du point de vue de l'IRSN, auraient dû conduire EDF à s'interroger sur les améliorations possibles, voire à proposer un système de conception différente. En particulier, l'IRSN a incité EDF à étudier des solutions de conception qui permettraient, autant que raisonnablement possible, de limiter le recours à des moyens actifs, de réduire la recirculation de fluide fortement radioactif à l'extérieur de l'enceinte de confinement en accident grave, afin de limiter les risques de bipasse du confinement, et de pallier les risques induits par l'indisponibilité éventuelle du système EVU à court ou à long terme sur le confinement en accident grave. Les éléments fournis pendant l'instruction en réponse à cette demande, peu détaillés, seront complétés par EDF sans attendre la transmission du RPrS. Pour ce qui concerne le risque de fuite du système EVU, à court, moyen ou long terme, l'IRSN note que, contrairement au réacteur EPR FA3, EDF prévoit d'installer un système de réinjection de ces fuites dans le BR, ce qui est satisfaisant. EDF a par ailleurs défini une exigence d'étanchéité de ce circuit en situation d'accident grave, exigence qui devra pouvoir être vérifiée en exploitation. Ce point fait l'objet de la **recommandation n° 5 en annexe**.

En outre, EDF ne prévoit pas la possibilité d'intervenir sur un équipement de l'EVU avant un an suivant sa mise en service en situation d'accident grave. Pour l'IRSN, il apparaît difficile, dans ces conditions, de garantir la fiabilité et le bon fonctionnement de ce système sur le long terme. Pour pallier une défaillance du système EVU lors d'un accident avec fusion du cœur, EDF a indiqué qu'il étudiera des dispositions de résilience basées sur la valorisation de dispositions existantes sur l'installation ou sur des moyens externes au site et qu'il précisera, dans le RPrS, les points de connexion prévus à la conception pouvant être utilisés par les moyens externes au site. Il ne précise toutefois pas la nature de ces dispositions, ni les fonctions qui leur sont associées. Ce point fait l'objet de la **recommandation n° 6 en annexe**.

L'IRSN note enfin la mise en place, pour l'EPR NM, d'un nouveau système d'appoint en eau de secours (SEM) qui assure les fonctions d'appoint à la piscine d'entreposage du BK, aux bâches du système ASG et au système de protection contre l'incendie. Ce système est dimensionné pour faire face aux situations d'agression de référence ainsi qu'aux agressions externes extrêmes naturelles. L'IRSN estime que l'ajout de ce système constitue une amélioration de sûreté par rapport à l'EPR FA3.

L'IRSN souligne enfin les efforts importants d'EDF pour améliorer la conception des systèmes supports aux systèmes de sauvegarde :

- le réacteur EPR NM dispose de deux sources froides de sûreté : la source principale de sûreté ayant une prise directe sur le milieu naturel (mer ou rivière en fonction du site choisi), qui alimente la chaîne de refroidissement principale, et la source froide diversifiée, refroidie par air, qui alimente la chaîne de refroidissement diversifiée valorisée dans des conditions DEC-A ainsi que la chaîne de refroidissement ultime (DEC-B). Cette évolution de conception permet d'écartier les risques de perte des deux sources froides par mode commun, ce qui est satisfaisant ;

- les options de conception des groupes électrogènes de secours sont également de nature à améliorer la sûreté de ce nouveau réacteur ; en particulier, l'utilisation d'une technologie de type multi-groupe² devrait diminuer significativement le risque de fusion du cœur en cas de perte de sources électriques. L'IRSN note également l'existence d'un groupe électrogène dédié à la gestion des situations d'accident grave ;
- l'indépendance des systèmes de conditionnement thermique des locaux pour les différents niveaux de la défense en profondeur est désormais assurée.

Le bien-fondé des options retenues devra, de façon générale, être conforté lors de la demande d'autorisation de création du premier réacteur EPR NM ; l'IRSN a demandé un certain nombre de compléments, tenant compte en particulier du retour d'expérience de l'instruction de l'EPR FA3. L'IRSN n'a pas toujours pu se positionner sur les gains escomptés.

Confinement

La fonction de sûreté confinement est assurée, dans l'EPR NM, par l'enceinte de confinement du BR, les traversées de l'enceinte, les bâtiments périphériques (BP) et également par différents systèmes tels que le système d'étanchéité et de contrôle des fuites aux traversées (EPP), les systèmes de confinement dynamique des bâtiments périphériques et du bâtiment de traitement des effluents (BTE), les systèmes constituant une extension de la troisième barrière de confinement (RIS-RA, EAS et EVU) ainsi que les systèmes assurant l'isolement de l'enceinte en situation accidentelle. La majorité des améliorations apportées à la fonction de sûreté confinement, dans l'EPR FA3, sont reconduites pour l'EPR NM. L'exigence de taux de fuite globale de l'enceinte de l'EPR NM est, de plus, inférieure à celle de l'EPR FA3 (0,2 %/j), ce qui est satisfaisant.

A ce stade du projet, l'IRSN n'a pas de remarque particulière sur les dispositions retenues par EDF pour assurer la fonction de confinement de l'EPR NM. Notamment, pour l'IRSN, la limitation des risques de bipasse du confinement doit être un objectif prioritaire pour un nouveau réacteur. A cet égard, afin d'anticiper au mieux l'introduction d'évolutions de conception éventuellement nécessaires, l'IRSN a estimé qu'EDF devait transmettre au plus tôt les études (déterministes et probabilistes) relatives aux risques de bipasse du confinement, ce que EDF s'est engagé à faire.

Eu égard au retour d'expérience de l'accident de Fukushima Dai-ichi, l'IRSN s'est également interrogé sur les dispositions de conception prises par EDF pour éviter la pollution des sols et des nappes phréatiques à proximité du site. EDF a rappelé l'ensemble des dispositions existantes qui contribuent à la réduction du risque de fuite de liquide radioactif vers les eaux souterraines, dont la mise en place d'un revêtement étanche sur la face supérieure du plancher le plus bas des bâtiments, la mise en œuvre de dispositions de collecte et de réinjection des potentielles fuites liquides radioactives affectant les circuits cheminant à l'extérieur de l'enceinte et les dispositions de réduction du risque de perte d'intégrité du radier par explosion de vapeur, combustion d'hydrogène ou interaction corium-béton. Pour EDF, cette stratégie est renforcée par la prise en compte dès la conception des agressions externes extrêmes naturelles.

² Cette technologie consiste à assurer le niveau de puissance requis en connectant entre eux des groupes électrogènes de plus petite puissance et qui constituent un unique ensemble fonctionnel.

Bien qu'EDF juge extrêmement improbable le risque de dissémination d'éléments radioactifs par le sol et les nappes phréatiques, en cas d'incident ou d'accident conduisant à des fuites liquides dans les bâtiments, l'IRSN estime nécessaire qu'il définisse un objectif de limitation de cette dissémination et examine, selon le site choisi, l'intérêt de la mise en place d'une barrière géotechnique et de moyens de pompage associés à la périphérie des îlots nucléaires. Ce point fait l'objet de la **recommandation n°7 en annexe**.

Piscine d'entreposage et de manutention du combustible

L'exploitation d'un réacteur électronucléaire conduit à remplacer périodiquement une partie des assemblages combustibles usés par des assemblages combustibles neufs. Les interventions de maintenance réalisées lors d'un arrêt fortuit ou programmé du réacteur peuvent par ailleurs nécessiter de décharger l'ensemble des assemblages combustibles présents dans la cuve du réacteur. En conséquence, un réacteur électronucléaire doit être pourvu d'une capacité suffisante d'entreposage d'assemblages combustibles neufs et irradiés. L'entreposage et la manutention du combustible irradié faiblement désactivé se fait nécessairement sous eau, dans des piscines prévues à cet effet (piscine BK). Après une période de décroissance de leur activité, les assemblages combustibles usés peuvent être évacués vers des installations d'entreposage de plus longue durée ou de traitement de combustibles irradiés.

La puissance résiduelle du combustible irradié ou usé de l'EPR NM rend envisageable sa fusion lors de son entreposage ou de sa manutention, puis la dispersion d'une quantité importante de radionucléides. Dès lors, deux types d'options de conception peuvent être retenus :

- des options postulant une fusion de combustible au cours de son entreposage ou de sa manutention dans l'installation, qui permettraient de limiter efficacement les rejets induits ;
- des options permettant de considérer la situation de fusion de combustible entreposé ou en cours de manutention comme « pratiquement éliminée ».

EDF a retenu la seconde option de conception qui vise à rendre extrêmement improbable, avec un haut niveau de confiance, les situations de fusion de combustible entreposé ou en cours de manutention dans la piscine du bâtiment du combustible. Il a justifié son choix par un bilan des avantages et inconvénients de solutions alternatives envisageables permettant de limiter les conséquences d'une fusion de combustible dans la piscine du BK (confinement du bâtiment d'entreposage du combustible, entreposage du combustible à l'intérieur du bâtiment du réacteur, entreposage intermédiaire dans le bâtiment du réacteur avant transfert, après quelques jours, dans la piscine du bâtiment du combustible). Sur la base de ces éléments et de l'état actuel des connaissances sur les phénomènes consécutifs au dénoyage d'un ou de plusieurs assemblages combustibles usés, l'IRSN estime que le choix retenu par EDF, qui consiste à « éliminer pratiquement » les situations de fusion de combustible dans la piscine d'entreposage, est acceptable.

Différentes solutions visant à renforcer la prévention des situations de fusion de combustible dans la piscine d'entreposage ont été examinées par EDF. Ces solutions présentent, selon le cas, un intérêt limité en termes de sûreté, des inconvénients ou une complexification du projet. Pour sa part, l'IRSN estime qu'EDF doit justifier, sur la base d'un bilan des avantages et des inconvénients de deux options

de conception des lignes d'aspiration du système de refroidissement et de traitement de l'eau des piscines (PTR), la conception retenue pour assurer indifféremment le démarrage et le fonctionnement de l'un des trois trains de ce système en situation d'ébullition de l'eau dans la piscine BK ; la première option consiste à connecter les tuyauteries d'aspiration au compartiment d'entreposage par une tuyauterie traversant un voile de la piscine et équipée d'un dispositif casse-siphon, la seconde option consiste à connecter une ou plusieurs de ces tuyauteries au compartiment d'entreposage par l'intermédiaire d'une « cellule d'aspiration », c'est-à-dire un compartiment de la piscine dédié. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 8 en annexe.**

En complément, l'IRSN considère qu'EDF devrait prendre des dispositions permettant d'exclure tout risque de vidange importante de la piscine BK, conduisant à un niveau d'eau inférieur au sommet d'un assemblage manutentionné. Les options de conception actuellement retenues par EDF ou à l'étude devraient permettre d'atteindre cet objectif. En outre, l'IRSN considère qu'EDF doit examiner l'ensemble des agressions susceptibles d'affecter l'intégrité ou la stabilité du compartiment d'entreposage et retenir préférentiellement les choix de conception permettant de soustraire l'ouvrage aux effets d'une agression ou de limiter les pertes éventuelles d'inventaire en eau. Ce point fait l'objet de la recommandation n° 9 en annexe.

Par ailleurs, EDF s'est engagé à détailler, dans le RPrS, la démarche permettant de caractériser les séquences menant à la fusion de combustible en BK, et d'identifier les dispositions visant à éliminer pratiquement les situations en résultant et les exigences associées. Les résultats de l'application de cette démarche seront présentés dans le RPrS.

Conclusion

L'EPR NM est un nouveau modèle de réacteur nucléaire de troisième génération, qui se place dans la continuité des réacteurs EPR en cours de construction. Bien qu'EDF n'ait pas fourni une analyse détaillée du retour d'expérience, tant des réacteurs EPR FA3, Olkiluoto 3, Taishan 1-2 et Hinkley Point C que de l'exploitation des réacteurs existants, l'IRSN constate que la majeure partie des évolutions de conception présentées par EDF tiennent compte des enseignements tirés du retour d'expérience de l'EPR FA3 et du parc en exploitation ainsi que des enseignements tirés de l'accident de Fukushima Dai-ichi.

Au final, les options de conception retenues par EDF, même si les objectifs de sûreté et de conception du réacteur n'apparaissent pas toujours explicitement dans le dossier d'options de sûreté, sont de nature à garantir un niveau de sûreté pour l'EPR NM au moins équivalent à celui de l'EPR FA3.

En termes d'approche générale de sûreté, EDF a reconduit en grande partie l'approche définie pour l'EPR FA3. L'approche retenue tient compte des recommandations du guide n°22 et d'un certain nombre de demandes émises par l'ASN pour l'EPR FA3. Toutefois, la prise en compte du démantèlement à la conception n'étant pas abordée dans le DOS, le démantèlement ainsi que la remise en état du site devront être traités dans le rapport préliminaire de sûreté.

Pour ce qui concerne les options de conception du réacteur, l'IRSN n'est pas favorable à une augmentation de la puissance dans la mesure où elle conduit inévitablement à une diminution des marges de sûreté. Corrélat à la volonté d'EDF d'utiliser, pour l'EPR NM, des équipements qui ont pu

être qualifiés pour l'EPR FA3, ce choix est susceptible d'affecter, ponctuellement, la robustesse de la conception.

Au-delà de la simplification de conception recherchée par EDF, l'IRSN regrette qu'une réflexion plus approfondie n'ait pas été menée sur de possibles ruptures technologiques tenant compte du retour d'expérience des réacteurs EPR, par exemple pour la conception de certains systèmes de sauvegarde de l'installation (par exemple l'évacuation ultime de la puissance de l'enceinte ou le système de refroidissement et de traitement des piscines). Il souligne en revanche l'effort engagé par EDF pour renforcer la robustesse des systèmes supports par l'introduction de dispositions mieux diversifiées et la recherche d'une meilleure indépendance entre les différents niveaux de la défense en profondeur. En particulier, l'objectif d'indépendance des systèmes relevant du niveau 4 de la défense en profondeur à l'égard des autres niveaux constitue une avancée notable en termes de sûreté.

Pour le Directeur général et par délégation,

Thierry PAYEN

Adjoint à la Directrice des systèmes, des
nouveaux réacteurs et des démarches de sûreté

Recommandations

Recommandation n° 1 :

L'IRSN recommande qu'EDF retienne, pour les vannes de dépressurisation du circuit primaire de l'EPR NM, une conception permettant d'assurer l'indépendance entre les niveaux 3 et 4 de la défense en profondeur tout en vérifiant que le délai de grâce disponible pour les opérateurs est suffisant pour limiter le risque de non-ouverture de ces vannes depuis la salle de commande.

Recommandation n° 2 :

L'IRSN recommande qu'EDF étudie les conséquences de missiles générés par les composants à haute énergie indépendamment de leur niveau de qualité. Dans le cas où EDF limiterait ces études à un échantillon représentatif de missiles et de locaux, il devra en justifier le caractère suffisant.

Recommandation n° 3 :

L'IRSN recommande qu'EDF retienne la chute accidentelle d'un avion militaire pour le dimensionnement de référence de l'installation et complète ce dimensionnement, dans le cadre du domaine de conception étendu, par une vérification de l'absence de conséquences inacceptables pour des chargements plus sévères.

Recommandation n° 4 :

L'IRSN recommande que le réacteur EPR NM dispose d'une instrumentation neutronique de référence du cœur dont la résolution spatiale, axiale et radiale permette :

- de détecter toute anomalie locale du flux neutronique ;
- d'établir avec précision l'irradiation des assemblages jusqu'en fin de cycle ;
- de calibrer les chambres ex-core ;
- de détecter autant que possible les erreurs de chargement.

Recommandation n° 5 :

L'IRSN recommande qu'EDF justifie que l'exigence d'étanchéité du circuit d'évacuation ultime de la puissance de l'enceinte, retenue à la conception, pourra être vérifiée en exploitation.

Recommandation n° 6 :

L'IRSN recommande qu'EDF présente, dans le RPrS, les dispositions « de résilience » permettant de garantir le confinement des substances radioactives en cas de défaillance du système d'évacuation ultime de la puissance de l'enceinte en accident grave.

Recommandation n° 7 :

L'IRSN recommande qu'EDF retienne un objectif de limitation des rejets d'éléments radioactifs vers le sol et les nappes phréatiques en cas d'incident ou d'accident conduisant à des fuites liquides dans les bâtiments de l'îlot nucléaire.

Selon le site d'implantation (nature des sols, proximité de nappes phréatiques), l'IRSN recommande qu'EDF évalue l'intérêt de la mise en place d'une barrière géotechnique et de moyens de pompage associés à la périphérie des îlots nucléaires.

Recommandation n° 8 :

L'IRSN recommande qu'EDF justifie, sur la base d'un bilan des avantages et inconvénients de différentes options techniques envisageables, la conception retenue pour assurer indifféremment le démarrage et le fonctionnement de l'un des trois trains de refroidissement de la piscine BK en situation d'ébullition.

Recommandation n° 9 :

L'IRSN recommande qu'EDF présente et justifie les options de conception, de fabrication et de suivi en service retenues pour assurer l'intégrité du compartiment d'entreposage de la piscine BK, notamment en situation accidentelle ou d'agression.