



DIRECTION DES CENTRALES NUCLEAIRES

Montrouge, le 19 juillet 2017

Réf. : CODEP-DCN-2017-014451**Monsieur le Directeur
Division Production Nucléaire
EDF
Site Cap Ampère – 1 place Pleyel
93 282 SAINT-DENIS CEDEX**

**Objet : Réacteurs électronucléaires - EDF
Maîtrise des accidents graves : « noyau dur » post-Fukushima et durée de fonctionnement des réacteurs**

Réf. : Voir annexe 3

Monsieur le Directeur,

À la suite de l'accident de Fukushima, l'ASN vous a prescrit, par décision [1], de réaliser des évaluations complémentaires de sûreté afin d'étudier le comportement des installations nucléaires pour des situations allant au-delà de celles mentionnées au I de l'article L. 593-7 du code de l'environnement, pour prévenir ou limiter de manière suffisante les risques ou inconvénients que l'installation présente pour les intérêts mentionnés à l'article L. 593-1.

À l'issue de ces évaluations complémentaires de sûreté, l'ASN vous a demandé, par un ensemble de décisions en date du 26 juin 2012 [2], de lui proposer la mise en place de dispositions matérielles et organisationnelles (« noyau dur ») visant, pour les situations extrêmes étudiées, à :

- a) prévenir un accident avec fusion du combustible ou en limiter la progression,
- b) limiter les rejets radioactifs massifs,
- c) permettre à l'exploitant d'assurer les missions qui lui incombent dans la gestion d'une crise.

Elle vous demandait, dans le même temps, de définir les caractéristiques des situations que cet ensemble de dispositions, ou « noyau dur », devait être en mesure de gérer.

De plus, concernant la gestion des situations avec fusion du combustible, l'ASN vous demandait :

- de mettre en place des moyens redondants permettant de détecter le percement de la cuve et des moyens redondants permettant de détecter la présence d'hydrogène dans l'enceinte (prescription ECS-19) ;
- de mettre en place des dispositions devant être maintenues fonctionnelles en cas de perte totale prolongée des alimentations électriques et permettant, en cas de perte de la source froide, d'évacuer durablement la puissance résiduelle du réacteur (prescription ECS-16).

- de réaliser une étude de faisabilité en vue de la mise place de dispositifs techniques, de type enceinte géotechnique ou d'effet équivalent, visant à protéger les eaux souterraines et superficielles en cas d'accident grave (prescription ECS-27) ;
- de proposer d'une étude du renforcement du dispositif d'éventage-filtration de l'enceinte de confinement des réacteurs afin d'améliorer sa robustesse et son efficacité (prescription ECS-29).

Vos propositions, relatives au noyau dur et aux situations qu'il devait être en mesure de gérer, ont été examinées dans le cadre de la réunion du Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires des 13 et 20 décembre 2012. À la suite de cette réunion, l'ASN a précisé, par un ensemble de décisions en date du 21 janvier 2014 [3], ses demandes relatives à la conception du noyau dur. Celles-ci concernent notamment :

- la capacité du noyau dur à évacuer la puissance résiduelle hors de l'enceinte de confinement et à préserver l'intégrité de cette barrière sans ouverture du dispositif d'éventage-filtration de l'enceinte de confinement (prescription ECS-ND1) ;
- la mise en œuvre d'une instrumentation dans le cadre du noyau dur pour permettre en particulier de diagnostiquer l'état des barrières de confinement, y compris des circuits d'extension de la troisième barrière de confinement dont la surveillance est nécessaire, de connaître la disponibilité des fonctions nécessaires à la gestion du noyau dur et de caractériser les rejets radioactifs et les conséquences pour l'environnement (prescription ECS-ND3) ;
- une étude de faisabilité des dispositions visant à éviter le percement du radier en cas d'accident grave (prescription ECS-ND16).

Vous avez transmis à l'ASN les éléments correspondants, d'une part aux engagements que vous aviez pris à l'issue des instructions précédentes [4], d'autre part aux prescriptions rappelées ci-dessus.

Ainsi, vous envisagez la mise en place de nouveaux dispositifs permettant, en cas d'accident grave en situation « noyau dur », l'étalement à sec du corium dans le fond du puits de cuve (voire également dans le local adjacent), puis son refroidissement par l'eau des puisards grâce à un nouveau circuit, dit « circuit EASu ». Ces dispositions visent, d'une part, à maintenir une pression suffisamment faible dans le bâtiment « réacteur » pour éviter d'éventer l'enceinte (en ouvrant le filtre dit « U5 »), d'autre part, à limiter l'érosion du radier par le corium et éviter ainsi la contamination des nappes phréatiques.

À la demande de l'ASN [5], les éléments que vous avez transmis ont fait l'objet d'un examen par le Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires le 7 juillet 2016, en s'appuyant sur l'analyse effectuée par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Le Groupe permanent d'experts a diffusé son avis et ses recommandations par la lettre citée en référence [6]. À l'issue de cet examen, vous avez transmis à l'ASN [7] vos positions ainsi que les actions que vous envisagez de prendre ; celles-ci complètent les éléments techniques que vous aviez transmis en réponse aux prescriptions techniques de l'ASN.

L'ensemble des éléments transmis ne permet pas, à ce stade, de statuer sur la capacité des dispositions envisagées à gérer un accident grave en situation noyau dur. De plus, les spécificités des différents réacteurs n'ont pas été prises en compte dans les éléments que vous avez fournis.

Sur la base de l'ensemble des éléments disponibles à ce jour, l'ASN formule ci-après ses positions et ses demandes sur les dispositions prévues pour gérer un accident grave. Celles-ci doivent permettre de maîtriser les fonctions de sûreté dans ces situations. Les demandes de l'ASN abordent donc successivement les sujets relatifs à :

- 1) la maîtrise de la réactivité du corium,
- 2) l'évacuation de la puissance résiduelle de l'enceinte de confinement, sans éventage,
- 3) la limitation du risque de percement du radier,
- 4) les améliorations possibles du dispositif d'éventage et filtration de l'enceinte dit « U5 ».

1) Maîtrise de la réactivité du corium

Les dispositions de limitation des conséquences d'un accident grave ont été définies, pour les réacteurs en fonctionnement, en faisant l'hypothèse que la puissance dégagée par le combustible après l'arrêt automatique du réacteur (AAR) provient uniquement de la puissance résiduelle. Or, si un retour en criticité survenait au cours de l'accident, une puissance neutronique s'ajouterait à la puissance résiduelle et serait alors susceptible de modifier le déroulement de l'accident.

Concernant les risques de criticité en configuration dégradée du cœur dans la cuve du réacteur, les études les plus récentes que vous avez réalisées concernent le réacteur EPR et vous vous êtes engagé à transmettre au premier semestre 2017 votre programme de travail sur les autres réacteurs.

Concernant les risques de criticité du corium se trouvant hors de la cuve, des études sont en cours. Les éléments attendus devront pouvoir être analysés dans le cadre de la réunion du Groupe permanent d'experts consacrée à la gestion des accidents graves prévue en 2018.

Vous trouverez, en annexe 2, une demande de l'ASN relative aux éléments devant être pris en compte dans ces études.

2) Évacuation de la puissance résiduelle de l'enceinte de confinement sans évitage

Pour répondre à l'objectif défini dans la prescription ECS-ND1 [3], d'évacuer la puissance résiduelle hors de l'enceinte de confinement en cas d'accident de fusion du cœur du réacteur, sans recourir à un évitage de celle-ci, vous prévoyez l'installation d'une nouvelle disposition dite « EAS ultime », comportant un circuit fixe et un circuit mobile qui serait mis en place par la Force d'action rapide nucléaire (FARN) en cas d'accident.

L'ASN estime que la disposition « EAS ultime » que vous avez prévue, qui fait partie du noyau dur, est intéressante dans son principe. Elle permettrait d'évacuer la puissance résiduelle de l'enceinte. La conception de cette disposition et les délais d'intervention prévus de la FARN sont tels que la pression dans l'enceinte de confinement resterait alors inférieure au critère retenu.

Toutefois, de nombreux éléments n'ont pas été précisés, à ce stade, par EDF et devront être transmis (il s'agit par exemple des profils de qualification des matériels, de l'implantation des équipements et des risques associés, des risques de signaux intempestifs...). Vous veillerez à ce que l'architecture générale de ce système, ses dispositions de conception et de fabrication, n'introduisent pas de nouveau risque.

J'attache à cet égard une attention particulière aux éléments de qualification des équipements du système EASu dans des conditions représentatives que vous transmettez et aux moyens qui vous permettront d'assurer qu'ils fonctionneront bien dans leur domaine de qualification.

J'ai bien noté que vous avez prévu de transmettre des éléments complémentaires permettant de justifier de l'absence de colmatage des filtres de puisards du bâtiment réacteur et justifier les caractéristiques des débris à considérer pour la qualification du système EASu.

Concernant les équipements nécessaires à la gestion d'un accident grave en situation « noyau dur », vous prévoyez d'utiliser certains équipements à la fois pour la prévention de l'accident grave et pour la limitation des conséquences d'un accident grave (groupe électrogène diesel DUS, circuit ASGu, pompe ND...). J'estime que ces équipements devront faire l'objet d'exigences de conception, de réalisation et de suivi en exploitation renforcées. De la même façon, les équipements nécessaires à la gestion à moyen et long terme d'un accident grave qui ne peuvent pas être remplacés en cas de défaillance mais qui sont nécessaires à la réalisation de fonctions importantes pour la sûreté devront faire l'objet d'une attention particulière.

Vous avez également indiqué que vous pourriez être amené à déplacer ou supprimer certaines dispositions existantes sur les réacteurs afin de pouvoir mettre en place les dispositions EASu ; vous devrez justifier l'acceptabilité de ces modifications.

L'ASN souligne que, compte tenu de la conception retenue, les fuites qui surviendraient sur le circuit EASu (fuites d'eau très fortement contaminée) seraient susceptibles de conduire à des bipses du confinement. Vous devrez apporter des compléments afin de montrer que le risque associé est suffisamment faible.

Enfin, le bon fonctionnement des dispositions que vous avez prévues est tributaire des critères que vous retiendrez pour l'activation de la FARN et de la stratégie de conduite du noyau dur. En tout état de cause, la stratégie de gestion des appoints en eau finalement retenue ne devra en aucun cas réduire l'efficacité de la stabilisation du corium hors de la cuve ou conduire à des risques de dépassement des pressions et températures admissibles par les circuits de la disposition EASu.

Vous trouverez, en annexe 2, l'ensemble des demandes de l'ASN relatives à ces sujets.

3) Limitation du risque de percement du radier

Pour répondre à l'objectif défini dans la prescription ECS-ND16 d'éviter le percement du radier en cas de fusion partielle ou totale du cœur du réacteur, vous envisagez de modifier la zone du puits de cuve pour permettre une arrivée d'eau maîtrisée sur le corium après son étalement, à sec, dans cette zone, voire également dans un local adjacent.

L'ASN considère que, dans l'état actuel des connaissances et compte tenu des contraintes d'installation, l'orientation que vous avez choisie apparaît, dans son principe, intéressante pour réduire le risque de percement du radier. Elle permet également de réduire les risques de défaillance du confinement associés à l'explosion de vapeur dans le puits de cuve qui pourrait résulter de l'écoulement de corium dans l'eau, lors du percement de la cuve.

Vous avez ainsi écarté la solution consistant à noyer le puits de cuve qui, si elle permet de stabiliser la totalité ou une partie du corium en cuve dans de nombreuses séquences, comporte un risque d'explosion de vapeur en cas de rupture de la cuve. Je note que vous avez par contre retenu le noyage du puits de cuve en cas d'accident grave dans le cadre des troisièmes réexamens périodiques associés aux réacteurs de 1300 MWe et des deuxièmes réexamens périodiques associés aux réacteurs de 1450 MWe. J'estime nécessaire que les dispositions prises en cas d'accident grave intègrent, sur l'ensemble de vos réacteurs, vos dernières réflexions sur le sujet.

Vous vous êtes également engagé à fournir des compléments pour garantir le bon étalement du corium et l'absence d'eau dans le puits de cuve lorsque survient le percement de la cuve, ainsi que des compléments relatifs aux éventuelles coulées secondaires de corium.

Concernant le refroidissement du corium sous eau, vous vous êtes engagé à fournir, pour les réacteurs de 900 MWe, des éléments complémentaires pour justifier la présence d'un niveau d'eau suffisant au fond du bâtiment. J'estime que des éléments similaires devront être apportés pour les réacteurs de 1300 et 1450 MWe. De plus, j'estime nécessaire que vous disposiez d'une instrumentation permettant d'apprécier le niveau d'eau dans le fond de l'enceinte, afin d'être en mesure de prévoir, si nécessaire, des interventions.

Les phénomènes de refroidissement du corium sont complexes et font encore l'objet d'études et d'expériences. Les résultats des simulations concluent à des variations notables sur les épaisseurs de béton érodé, en fonction des paramètres ou modèles retenus. Vous vous êtes engagé à fournir des éléments complémentaires afin de mieux évaluer les variations possibles, en particulier concernant :

- l'absence d'ancrage de la croûte supérieure du corium sur les murs latéraux ;

- l'étude d'un ensemble plus large de scénarios d'accident ainsi que de compositions et de propriétés initiales du corium (température, viscosité, quantité de métal non oxydé...);
- le traitement plus réaliste de la répartition du corium entre la zone du puits de cuve et le local adjacent ;
- la sensibilité aux paramètres des modèles de refroidissement du corium ;
- la prise en compte de certains choix techniques à préciser (position des trappes...).

Compte tenu de l'ensemble des interrogations qui subsistent sur les scénarios envisagés et sur les mécanismes de refroidissement, j'estime nécessaire que vous mettiez en œuvre une modification permettant l'étalement du corium dans le local adjacent au puits de cuve, pour l'ensemble des réacteurs, quelle que soit la nature du béton. Vous transmettez d'ici septembre 2017 le calendrier prévu de déploiement de ces dispositions.

Par ailleurs, les taux de fuite qui seraient observés lorsqu'une épaisseur de béton importante est érodée ou lorsque, sur les réacteurs de 900 MWe, la fonction d'étanchéité du revêtement métallique (liner) est perdue pourraient être sensiblement différents de ceux observés lors des épreuves décennales. J'estime nécessaire que vous proposiez dans vos études des critères adaptés permettant d'écarter tout effet falaise sur les rejets.

Vous trouverez, en annexe 2, l'ensemble des demandes formulées par l'ASN sur ces sujets.

4) Dispositif U5 d'éventage et de filtration de l'enceinte et réduction des rejets d'iode

Concernant les dispositifs d'éventage et de filtration de l'atmosphère de l'enceinte de confinement et la réduction des rejets d'iodes radioactifs, je vous demande d'évaluer les possibilités de renforcement des dispositifs existants à un niveau de séisme supérieur.

Concernant la réduction des rejets d'iode, l'ASN estime que la mise en place de paniers contenant des substances alcalinisantes dans les puisards des bâtiments des réacteurs de 1300 et 1450 MWe devrait permettre de piéger une partie de l'iode présent dans ces puisards. La démonstration de l'efficacité de ce dispositif nécessite toutefois des compléments que vous avez prévu d'apporter.

Vous devrez également fournir des éléments justifiant que les critères d'activation de la FARN permettent une durée suffisante de préchauffage du dispositif d'éventage et de filtration avant son ouverture, afin d'éviter tout risque d'explosion hydrogène.

Par ailleurs, j'estime que vous devrez préciser les conditions d'emploi du dispositif d'éventage et de filtration des enceintes de confinement et évaluer les rejets associés. Vous proposerez également, en fonction des technologies disponibles, des dispositions pour améliorer la filtration des espèces gazeuses d'iode.

Vous trouverez, en annexe 2, les demandes de l'ASN relatives à ces sujets.

*
* *

À l'issue de l'instruction menée par l'IRSN et par le Groupe permanent d'experts, l'ASN constate que vous n'avez pas à ce jour apporté l'ensemble des éléments permettant de statuer sur la capacité des dispositions envisagées à gérer un accident grave en situation « noyau dur ». À cet égard, compte tenu des nombreuses incertitudes qui subsistent sur les phénomènes mis en jeu, j'estime nécessaire que les dispositions que vous retiendrez s'appuient sur une démarche prudente prenant en compte, autant que possible, la connaissance limitée de certains phénomènes et la variabilité des situations pouvant être observées.

À ce stade, je note toutefois que les principes des nouvelles dispositions que vous envisagez pour répondre aux objectifs de sûreté fixés pour la maîtrise des accidents graves dans le cadre des situations « noyau dur » et en vue de la poursuite de fonctionnement des réacteurs sont de nature à améliorer la sûreté.

Dans le cadre de cette instruction, vous avez transmis des éléments de conception pour les réacteurs du palier 900 MWe. Toutefois, de nombreux éléments doivent encore être précisés et vous devrez également transmettre des éléments détaillés pour l'ensemble des autres paliers.

Ces éléments complémentaires devront être apportés afin que l'ASN soit en mesure de se positionner sur la conception de ces dispositions, les risques de percement du radier, ainsi que les risques de bipasse de l'enceinte par les tuyauteries du circuit de recirculation. Vous devrez, dans ce cadre, préciser les stratégies que vous reprenez sur le long terme, en situation d'accident grave.

Je vous rappelle que les éléments attendus devront tenir compte des risques spécifiques associés à certains réacteurs, compte tenu de leur conception ou des réparations auxquelles leurs enceintes ont été soumises.

Enfin, je souhaite que ces éléments puissent être instruits en amont du premier déploiement de ces dispositions, que vous avez prévu à échéance de 2019 sur le site du Tricastin. Je vous demande donc d'apporter une attention particulière au respect des délais précisés en annexe pour les différents compléments attendus.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de ma considération distinguée.

Le directeur général adjoint

Julien COLLET

A) Prescriptions de l'ASN issues des décisions du 26 juin 2012 [2]**[ECS – 1]**

I. Avant le 30 juin 2012, l'exploitant proposera à l'ASN un noyau dur de dispositions matérielles et organisationnelles robustes visant, pour les situations extrêmes étudiées dans le cadre des ECS, à :

- a) prévenir un accident avec fusion du combustible ou en limiter la progression,
- b) limiter les rejets radioactifs massifs,
- c) permettre à l'exploitant d'assurer les missions qui lui incombent dans la gestion d'une crise.

II. Dans le même délai, l'exploitant soumettra à l'ASN les exigences applicables à ce noyau dur. Afin de définir ces exigences, l'exploitant retient des marges significatives forfaitaires par rapport aux exigences applicables au 1er janvier 2012. Les systèmes, structures et composants (SSC) faisant partie de ces dispositions doivent être maintenus fonctionnels, en particulier pour les situations extrêmes étudiées dans le cadre des ECS. Ces SSC sont protégés des agressions internes et externes induites par ces situations extrêmes, par exemple : chutes de charges, chocs provenant d'autres composants et structures, incendies, explosions.

III. Pour ce noyau dur, l'exploitant met en place des SSC indépendants et diversifiés par rapport aux SSC existants afin de limiter les risques de mode commun. L'exploitant justifie le cas échéant le recours à des SSC non diversifiés ou existants.

IV. L'exploitant prend toutes les dispositions nécessaires pour assurer le caractère opérationnel de l'organisation et des moyens de crise en cas d'accident affectant tout ou partie des installations d'un même site.

A cet effet, l'exploitant inclut ces dispositions dans le noyau dur défini au I. de la présente prescription, et fixe en particulier, conformément au II de la présente prescription, des exigences relatives :

- aux locaux de gestion des situations d'urgence, pour qu'ils offrent une grande résistance aux agressions et qu'ils restent accessibles et habitables en permanence et pendant des crises de longue durée, y compris en cas de rejets radioactifs. Ces locaux devront permettre aux équipes de crise d'assurer le diagnostic de l'état des installations et le pilotage des moyens du noyau dur ;
- à la disponibilité et à l'opérabilité des moyens mobiles indispensables à la gestion de crise ;
- aux moyens de communication indispensables à la gestion de crise, comprenant notamment les moyens d'alerte et d'information des équipiers de crise et des pouvoirs publics et, s'ils s'avéraient nécessaires, les dispositifs d'alerte des populations en cas de déclenchement du plan particulier d'intervention en phase réflexe sur délégation du préfet ; à la disponibilité des paramètres permettant de diagnostiquer l'état de l'installation, ainsi que des mesures météorologiques et environnementales (radiologique et chimique, à l'intérieur et à l'extérieur des locaux de gestion des situations d'urgence) permettant d'évaluer et de prévoir l'impact radiologique sur les travailleurs et les populations ;
- aux moyens de dosimétrie opérationnelle, aux instruments de mesure pour la radioprotection et aux moyens de protection individuelle et collective. Ces moyens seront disponibles en quantité suffisante avant le 31 décembre 2012.

[ECS-16]

I. Avant le 31 décembre 2012, l'exploitant présentera à l'ASN les modifications en vue d'installer des dispositifs techniques de secours permettant d'évacuer durablement la puissance résiduelle du réacteur et de la piscine d'entreposage des combustibles en cas de perte de la source froide. Ces dispositifs doivent répondre aux exigences relatives au noyau dur objet de la prescription [ECS-1] ci-dessus. Dans l'attente de la mise en service des moyens d'alimentation électrique d'ultime secours mentionnés à l'alinéa II de la prescription [ECS-18], ces dispositifs devront être maintenus fonctionnels en cas de perte totale prolongée des alimentations électriques en recourant, au besoin, à des moyens électriques temporaires.

II. Avant le 31 décembre 2012, l'exploitant présentera à l'ASN les modifications qu'il envisage en vue de l'installation, avant le 30 juin 2013 sauf justification particulière, de dispositifs assurant l'injection d'eau borée dans le cœur du réacteur en cas de perte totale d'alimentation électrique du site lorsque le circuit primaire est ouvert.

Avant le 30 juin 2013, l'exploitant proposera à l'ASN les exigences définitives pour ces dispositions et leur appartenance éventuelle au noyau dur.

[ECS-19]

I. Au plus tôt compte tenu des contraintes de déploiement sur le parc et, en tout état de cause, avant le 31 décembre 2017, l'exploitant met en place dans le puits de cuve des moyens redondants permettant de détecter le percement de la cuve et dans l'enceinte des moyens redondants permettant de détecter la présence d'hydrogène.

Une instrumentation permet de signaler en salle de commande le percement de la cuve par le corium.

II. Avant le 31 décembre 2013, l'exploitant proposera à l'ASN les exigences définitives pour ces dispositions et leur appartenance éventuelle au noyau dur.

[ECS-27]

I. Avant le 31 décembre 2012, l'exploitant transmettra à l'ASN une étude de faisabilité en vue de la mise en place, ou de la rénovation, de dispositifs techniques, de type enceinte géotechnique ou d'effet équivalent, visant à s'opposer au transfert de contamination radioactive vers les eaux souterraines et superficielles en cas d'accident grave ayant conduit à la percée de la cuve par le corium.

II. Avant le 30 juin 2013, l'exploitant remettra à l'ASN une mise à jour de la fiche hydrogéologique du site, regroupant les données géologiques et hydrogéologiques actuelles.

[ECS-29]

Avant le 31 décembre 2013, l'exploitant remettra à l'ASN une étude détaillée sur les possibilités d'amélioration du dispositif d'éventage filtration U5, en prenant en compte les points suivants :

- résistance aux agressions,
- limitation des risques de combustion d'hydrogène,
- amélioration de la filtration des produits de fissions, en particulier des iodes,
- conséquences radiologiques de l'ouverture du dispositif, notamment sur l'accessibilité du site, et l'ambiance radiologique des locaux de crise et de la salle de commande.

B) Prescriptions de l'ASN issues des décisions du 21 janvier 2014 [3]

[ECS-ND1]

I. Le noyau dur vise à prévenir la fusion du cœur lors de situations noyau dur. Pour le refroidissement du cœur et l'évacuation de la puissance résiduelle hors de l'enceinte de confinement du bâtiment réacteur lorsque le circuit primaire est pressurisable, le noyau dur permet des stratégies de conduite privilégiant le refroidissement par les circuits secondaires en conservant l'intégrité du circuit primaire principal.

II. Pour limiter les rejets radioactifs massifs en situations noyau dur, le noyau dur permet l'isolement de l'enceinte de confinement et la prévention des situations de bipasse de la troisième barrière. Le noyau dur vise à préserver l'intégrité de cette barrière sans ouverture du dispositif d'éventage de l'enceinte de confinement.

Les dispositions du noyau dur retenues par l'exploitant pour limiter les rejets radioactifs prennent en compte les cas de fusion totale du cœur et de percement de la cuve à la suite de situations noyau dur.

III. L'exploitant réalise et transmet à l'Autorité de sûreté nucléaire :

- avant le 31 janvier 2014, l'étude des dispositions permettant, lorsque le circuit primaire est pressurisable, le refroidissement du cœur par les circuits secondaires en conservant l'intégrité du circuit primaire principal lors des situations noyau dur ;

- *avant le 31 décembre 2014, l'étude des dispositions permettant l'évacuation de la puissance résiduelle hors de l'enceinte sans ouverture du dispositif d'éventage de l'enceinte de confinement lors des situations noyau dur.*

[ECS-ND3]

Les dispositions matérielles et organisationnelles, dont l'instrumentation mise en œuvre dans le cadre du noyau dur, permettent d'activer la mise en œuvre du noyau dur et de conduire l'installation dans les situations noyau dur, en particulier :

- *de mesurer les paramètres d'état de la chaudière et des piscines nécessaires à la gestion des situations noyau dur en diagnostiquant l'état des barrières de confinement, y compris les circuits d'extension de la troisième barrière de confinement dont la surveillance est nécessaire ;*
- *de connaître la disponibilité des fonctions nécessaires à la gestion du noyau dur ;*
- *de déterminer les conditions d'intervention des travailleurs dans l'installation.*

Ces dispositions doivent également permettre de disposer, dans des délais compatibles avec les besoins de la gestion de crise, de données permettant de caractériser les rejets radioactifs et les conséquences dans l'environnement.

[ECS-ND16]

Avant le 31 décembre 2014, l'exploitant transmet à l'Autorité de sûreté nucléaire l'étude de faisabilité des dispositions visant à éviter le percement du radier en cas de fusion partielle ou totale du cœur en situations noyau dur, ainsi qu'une évaluation des échéances industrielles de mise en œuvre le cas échéant.

A) Demandes de l'ASN relatives à la maîtrise de la réactivité du corium

Les dispositions de limitation des conséquences d'un accident grave ont été définies, pour les réacteurs en exploitation, en faisant l'hypothèse que la puissance dégagée par le combustible après l'arrêt automatique du réacteur (AAR) provient uniquement de la puissance résiduelle. Or, si un retour en criticité survenait au cours de l'accident, une puissance neutronique s'ajouterait à la puissance résiduelle et serait alors susceptible de modifier le déroulement de l'accident.

Concernant les risques de criticité en configuration dégradée du cœur dans la cuve du réacteur, les études les plus récentes que vous avez réalisées concernent le réacteur EPR de Flamanville. L'ASN estime que de telles études doivent également être réalisées pour les réacteurs en exploitation en tenant compte des spécificités des stratégies de conduite retenues en cas d'accident grave (notamment l'injections d'eau en cuve). À cet égard, vous vous êtes engagé [8] (complément n° 20) à transmettre « *[votre] programme de travail sur le risque de retour en criticité en configurations de cœur dégradé et de corium en cuve pour les réacteurs du parc en exploitation. Echéance : 1^{er} semestre 2017* ».

Concernant les risques de criticité du corium se trouvant hors de la cuve, des études sont en cours. Les éléments attendus devront pouvoir être analysés dans le cadre de la réunion du Groupe permanent d'experts prévue en 2018 sur la gestion des accidents graves.

Demande n° A-1 : L'ASN vous demande de tenir compte des différentes stratégies de conduite envisagées en cas d'accident grave, notamment les possibilités d'injection d'eau dans la cuve, dans les études que vous prévoyez sur le risque de criticité dans les situations de cœur dégradé et de corium en cuve.

L'ASN vous demande également de transmettre, d'ici fin octobre 2017, vos études relatives au risque de criticité du corium hors de la cuve. Ces études devront intégrer les configurations en fin de cycle, les températures de corium correspondant à la stabilisation à long terme du corium, les éventuelles évolutions de la concentration en bore, y compris en phase de recirculation, de l'eau présente au fond du bâtiment réacteur et les compositions de béton pénalisantes en termes d'anti-réactivité apportée. Elles devront en outre couvrir l'ensemble des plans de chargement des réacteurs en fonctionnement, en démontrant, si elles s'appuient sur les variations de réactivité constatées des cœurs des réacteurs en exploitation (toutes grappes extraites), le caractère transposable de ces variations aux configurations de corium hors de la cuve.

B) Demandes de l'ASN relatives à l'évacuation de la puissance résiduelle sans éventage

Pour répondre à l'objectif, en cas de fusion du cœur du réacteur, d'évacuer la puissance résiduelle hors de l'enceinte sans recourir au dispositif U5 d'éventage et de filtration, vous prévoyez l'installation d'une disposition, dite EAS ultime (ou « EASu »), composée :

- d'un circuit fixe installé pour les réacteurs de 900 MWe dans le bâtiment du combustible (BK) ou une casemate attenante, comprenant :
 - une « pompe ND » qualifiée aux conditions « noyau dur » et d'accident grave,
 - une ligne d'injection vers les branches froides du circuit primaire et une ligne d'injection vers un des puisards de l'enceinte,

- une ligne d'aspiration dans le réservoir PTR¹ (fonction d'injection directe) et une ligne d'aspiration EAS² dans l'un des puisards de l'enceinte (fonction de recirculation),
 - un échangeur (EASu),
 - des actionneurs permettant la mise en service de la disposition depuis la salle de commande ;
- d'un circuit mobile de refroidissement (SFu), qui comporte (au stade actuel de conception) une pompe mobile et des tuyauteries flexibles aspirant directement dans la source froide, connecté sur l'échangeur EASu par la FARN.

B.1. Généralités

Compte tenu du dossier que vous avez transmis, certains sujets n'ont pas pu faire l'objet d'une analyse, ou n'ont pu faire l'objet que d'une analyse partielle. Il s'agit de la prise en compte des agressions retenues pour le dimensionnement des équipements, du classement des composants du système, des alimentations électriques, du contrôle commande, de la qualification, de l'installation générale du système (séparation géographique, physique...), du caractère suffisant des dispositions de protection (par exemple contre les effets induits d'une inondation interne ou d'un incendie), des choix technologiques (notamment pour les pompes), des choix de matériaux, de la qualité de réalisation, du détail des modalités de démarrage du système EASu, des risques d'actionnements intempestifs, des exigences d'exploitation (essais de démarrage, essais périodiques, maintenance, tests, spécifications techniques d'exploitation...).

Compte tenu de leur importance pour statuer sur l'efficacité des dispositions prévues, vous devrez préciser l'ensemble de ces éléments afin qu'ils puissent être analysés dans le cadre de la réunion du groupe permanent d'experts prévue en 2018, en préalable à leur déploiement prévu sur le réacteur n° 1 de Tricastin en 2019.

Demande n° B-1 : L'ASN vous demande de lui adresser, avant fin octobre 2017, une description détaillée, pour le système EASu, des éléments suivants :

- l'installation générale du système,
- le classement des composants du système,
- les choix technologiques et les choix de matériaux,
- les exigences en termes de qualité de réalisation,
- les spécifications de qualification des équipements,
- les alimentations électriques et le contrôle commande,
- les modalités de démarrage du système EASu et les risques d'actionnement intempestif,
- les agressions retenues pour le dimensionnement des équipements,
- la démonstration du caractère suffisant des dispositions de protection,
- les exigences d'exploitation.

De plus, vous transmettez, pour octobre 2018, les résultats de la qualification des équipements.

B.2. Dispositions participant à la fois à la prévention et à la limitation des conséquences des accidents graves

Pour la conception des dispositions de maîtrise des accidents, votre stratégie actuelle de conduite en situation « noyau dur » s'appuie sur **plusieurs équipements qui sont utilisés à la fois pour la prévention des accidents graves et pour la limitation des conséquences d'un accident grave** s'il survenait néanmoins (diesel DUS, circuit ASGu, pompe ND...).

¹ Réservoir d'eau borée

² Circuit d'aspersion de secours dans l'enceinte du bâtiment réacteur

Ainsi, l'absence de fonctionnement de ces équipements en situation « noyau dur » pourrait conduire à des situations particulièrement graves. Aussi, **les exigences de conception, de réalisation et de suivi en exploitation de ces équipements devront être particulièrement élevées.** L'ensemble de ces exigences doit être défini en réponse à la prescription [ND-10] des décisions [3].

Par ailleurs, compte tenu de l'encombrement des locaux et de la place nécessaire pour les nouveaux équipements de l'EASu, vous avez évoqué la possibilité de déplacer, voire de supprimer les liaisons dites H4/U3 qui permettent, en cas d'accident de perte de réfrigérant primaire, le secours mutuel des circuits EAS et RIS³ ou un appoint ultime à ces circuits. Dans l'hypothèse où vous décideriez de retirer certains matériels, vous devrez démontrer, d'une part, qu'il existe d'autres moyens capables de gérer les situations concernées (en vérifiant l'adéquation des exigences associées à ces moyens), d'autre part, que ces choix permettent de garantir que les moyens prévus pour prévenir et gérer les accidents graves sont, autant que possible, indépendants entre eux.

Demande n° B-2 : L'ASN vous demande de préciser, pour janvier 2018, les matériels utilisés pour la gestion de certaines situations accidentelles que vous envisagez de déplacer ou de supprimer dans le cadre de la mise en place du système EASu. Vous apporterez dans ce cadre la justification que ces déplacements ou suppressions n'entraînent pas de régression pour la sûreté. En tout état de cause, vous garantirez, autant que possible, une indépendance entre les moyens de prévention et de limitation des conséquences d'un accident grave.

B.3. Equipements non substituables

La pompe dite « pompe ND » est utilisée à la fois pour prévenir les accidents graves et pour limiter les conséquences d'un tel accident. Or, contrairement au DUS ou à l'ASGu, vous indiquez que cette pompe est considérée comme « non substituable » (c'est-à-dire ne pouvant être remplacée par un autre matériel en cas de défaillance), notamment en raison de l'impossibilité d'accéder à son local d'implantation en situation d'accident grave. Pour cette raison, vous indiquez qu'elle fera l'objet d'exigences de conception renforcées, conformément aux prescriptions [ECS-ND9] et [ECS-ND10] des décisions [3], permettant de garantir une durée de fonctionnement d'un an. De plus, vous vous êtes engagé [7] (action A9) à examiner « *À titre de robustesse, [...] à l'échéance de 2018, les possibilités de faire face à une défaillance de la pompe ND à long terme* ».

L'ASN estime que, compte tenu de l'importance des fonctions réalisées par cet équipement, des précisions devront être apportées concernant les possibilités de réalisation des fonctions attendues en cas d'indisponibilité de la pompe ND (par exemple par un secours par la FARN). De manière plus générale, vous identifierez l'ensemble des équipements non substituables nécessaires pour gérer une situation d'accident grave « noyau dur » et définirez les exigences spécifiques associées à ces équipements.

Demande n° B-3 : L'ASN vous demande d'identifier, pour fin octobre 2017, les matériels nouveaux et existants du noyau dur, non substituables, nécessaires à la gestion à moyen et long terme d'un accident grave en « situation noyau dur », y compris l'instrumentation. Pour ces matériels, vous présenterez les exigences de conception et d'exploitation retenues, les moyens permettant de détecter leur défaillance et étudierez les possibilités de faire face à leur défaillance à long terme, en tenant compte des délais éventuellement disponibles pour intervenir.

Pour les matériels passifs et les matériels ayant été placés dans une position sûre dans les 15 premiers jours après l'accident, vous justifierez qu'ils conservent leur aptitude à assurer leur fonction sur une longue durée au-delà de 15 jours.

Certains éléments attendus concernant l'échangeur EASu, sont précisés au paragraphe B.6, ci-après.

³ Circuit d'injection de sécurité

B.4. Qualification des équipements

L'ASN souligne l'importance de la qualification de l'ensemble des équipements du système EASu aux conditions accidentelles (situations extrêmes, accidents graves). Pour les équipements installés dans le bâtiment du combustible, vous indiquez dans le courrier en référence [7] qu'« *une ébullition de la piscine BK pendant 15 jours est prise en compte dans le dimensionnement des matériels EASu. Les équipements de la disposition EASu seront qualifiés aux conditions d'ambiance dans le BK enveloppes (inondation interne et dose intégrée). La vérification de la suffisance des critères de conception de la disposition EASu vis-à-vis du risque d'inondation interne dans le BK sera apportée dans le cadre de l'instruction du GP « maîtrise des accidents ».* Dans ce cadre, vous avez prévu de transmettre, au deuxième semestre 2017 « *des éléments de justification de la robustesse de la pompe noyau dur à l'inondation interne du bâtiment combustible* » [9].

De façon générale, l'ASN considère que, dans le cadre de la demande n° B-1, les éléments de spécification de la qualification des équipements (conditions et chargements pris en compte, spécifications de qualification ...) devront être transmis en octobre 2017 à l'ASN et les résultats de la qualification des équipements en octobre 2018. **Vous devrez à cet égard intégrer les éventuelles évolutions de conditions d'ambiance associées à la stratégie retenue, susceptible de conduire à des doses reçues par les équipements et les structures plus importantes. De même, l'effet d'un éventuel maintien en pression de l'enceinte de confinement devra être considéré.**

Pour la conception du système EASu, vous retenez une température maximale de l'eau des puisards de 140 °C pour les réacteurs des paliers 900 MWe CPY, 1300 MWe et 1450 MWe, et de 120 °C pour les réacteurs CP0 du palier 900 MWe. Ces températures maximales tiennent compte de vos études de vérification de la tenue ultime des circuits et composants des systèmes RIS et EAS existants. Par conséquent, l'atteinte d'une température supérieure pourrait conduire à la défaillance de composants ou tuyauteries du circuit EASu, voire à une fuite d'eau contaminée hors du bâtiment réacteur et à une diminution du niveau d'eau dans ce bâtiment. Cette situation, si la fuite était non isolable, rendrait inopérants la quasi-totalité des moyens mis en œuvre pour limiter les conséquences de l'accident.

L'ASN estime donc nécessaire, en l'état actuel des circuits RIS et EAS, que les opérateurs de conduite et les équipes de crise puissent, en toutes circonstances, être en mesure de suivre la température de l'eau des puisards lors d'un accident grave.

Demande n° B-4 : L'ASN vous demande de proposer d'ici mars 2018 un moyen de suivi de la température de l'eau à l'aspiration des puisards en situation noyau dur et d'accident grave.

B.5. Activation de la FARN et des dispositions du noyau dur

Vous prévoyez une orientation des opérateurs de la centrale vers la conduite « noyau dur » fondée, par exemple, sur des critères correspondant à une situation du type « séisme cumulé à une situation de perte totale de la source froide » ou « séisme cumulé à une situation de perte totale des alimentations électriques ». Toutefois, ces critères font encore l'objet d'études de votre part ; **ils devront être précisés dans le cadre de la note attendue en octobre 2017** (cf. demande n° B-1).

De même, les critères de mobilisation de la FARN ne sont à ce jour pas définis de manière précise. À ce stade, l'ASN considère que vous devrez veiller à prendre en compte l'ensemble des situations accidentelles à couvrir par le système EASu, notamment en cas d'absence de fonctionnement du système de refroidissement des générateurs de vapeur (ASGu), et les délais disponibles correspondants pour la mise en service de la source froide SFu. Ces délais étant parfois courts, des critères de mobilisation précoce de la FARN (avant dégradation de la situation) pourraient s'avérer nécessaires.

L'utilisation de la disposition « EAS ultime » nécessite la mise en place d'un circuit mobile par la FARN avant atteinte des critères de pression dans l'enceinte et de température de l'eau des puisards qui pourraient conduire à la défaillance de cette disposition. L'ASN considère que **le critère de pression retenu ne devra pas être supérieur à la pression de l'épreuve décennale de l'enceinte.**

Par ailleurs, l'efficacité du dispositif dépend de la capacité de la FARN à déployer la source froide ultime dans des délais relativement courts (dans certains cas environ 13 heures dans le cas où l'ASGu ne fonctionnerait pas pour la prévention de l'accident grave). Vous vous êtes engagé [7] (Action A1) à fournir « *d'ici à fin 2016 pour chaque site du palier 900 MWe un document détaillant les délais de mise en œuvre des moyens FARN, prenant en compte les différentes phases de prise de décision, de mobilisation, de transit et d'installation du matériel. Un document analogue sera fourni pour les autres paliers d'ici fin 2017* ».

Depuis vous avez transmis en janvier 2017, un premier courrier [10] qui détaille les délais de mise en œuvre des moyens de la FARN dans le scénario d'un accident de perte de réfrigérant primaire. Afin de compléter cette démonstration, il paraît indispensable que les critères d'activation de la FARN soient précisés et que des vérifications *in situ* soient effectuées sur les délais d'intervention.

Demande B-5 : L'ASN vous demande de dimensionner vos matériels et votre organisation de telle sorte que, en cas de situation « noyau dur » ou d'accident grave, la pression maximale dans l'enceinte ne dépasse pas la pression d'épreuve de chaque enceinte. L'ASN vous demande également de transmettre, pour fin octobre 2017, les critères d'activation de la FARN pour la mise en œuvre des dispositions permettant de gérer les situations d'accident grave et de vérifier, par des mises en situation, la faisabilité des actions prévues compte tenu des délais disponibles.

Par ailleurs, vous avez indiqué au cours de l'instruction qu'une mise en service tardive de la pompe ND augmenterait le risque de percement de la cuve du réacteur et [7] « *que les actions de conduite confirmeront la mise en service de la pompe ND au plus tôt et a minima au début de l'accident grave. Ces actions réduiront de manière significative les risques de percée de la cuve* ». Toutefois, l'injection d'eau dans le circuit primaire après le début de l'accident grave peut conduire à une pressurisation de ce dernier ou à un accroissement de la cinétique de production d'hydrogène. En outre l'injection d'eau dans le circuit primaire peut rendre plus délicat l'étalement du corium « à sec » prévu après le percement de la cuve. Par ailleurs, jusqu'à sa version 4B, votre guide d'intervention en accident grave (GIAG) préconisait, pour les états du réacteur « primaire fermé », des restrictions, vis-à-vis du risque hydrogène, sur le débit et le délai de mise en service d'une injection d'eau en cuve. Vous avez levé ces restrictions à partir de la version 5 du GIAG des réacteurs du palier CPY. Pour l'EPR, la stratégie de conduite en cas d'accident grave préconise de ne pas injecter d'eau en cuve.

Enfin, une mise en service précoce de la pompe ND augmente le risque d'atteinte d'une température de l'eau de recirculation trop élevée pour le système EASu avant mise en service par la FARN de la source froide ultime (SFu). Vous vous êtes engagé [7] (Action A10) à étudier « *pour juin 2017, [...] sur la base d'un bilan avantages/inconvénients d'une injection permanente en cuve avec la pompe ND, l'opportunité d'optimiser la conduite de celle-ci vis-à-vis de la pression enceinte et de la température puisards, en tenant compte également de l'impact sur la stabilisation du corium, le risque hydrogène et le risque DCH⁴* ».

Demande n° B-6 : L'ASN vous demande de clarifier et justifier, pour début 2018, les stratégies d'injection d'eau en cuve pour les différents types de réacteurs et de mettre en cohérence vos guides d'intervention en accident grave avec ces stratégies.

En tout état de cause, la stratégie de gestion des appoints en eau finalement retenue ne devra en aucun cas réduire l'efficacité de la stabilisation du corium hors cuve ou conduire à des risques de dépassement des pressions et température admissibles pour le système EASu. De plus, elle devra tenir compte des résultats des études de criticité faisant l'objet de la demande n° A-1 ci-dessus.

⁴ Phénomène d'échauffement direct de l'enceinte (*direct containment heating*)

B.6. Gestion des fuites

L'ASN souligne que, compte tenu de la conception retenue, les fuites qui surviendraient sur le circuit EASu (fuites d'eau très fortement contaminée) seraient susceptibles de conduire à des bipasses du confinement des substances radioactives.

L'ASN estime que la gestion (détection, collecte, réinjection dans le bâtiment réacteur) des fuites externes susceptibles de survenir en situation accidentelle sur les composants (existants et nouveaux) du système EASu doit faire partie de la démonstration du caractère acceptable de la mise en œuvre de cette disposition, au regard des risques de bipasse du confinement en situation accidentelle (y compris d'accident grave). Vous vous êtes engagé [7] à étudier (Action A2) : « *la faisabilité de mise en œuvre de moyens de gestion des fuites externes (fluide en recirculation sur les puisards de l'enceinte) susceptibles de survenir sur les composants du système EASu. Les conclusions seront transmises, pour le palier 900MWe, à l'échéance de mi-2017* ».

Fuite sur l'échangeur EASu

Vous prévoyez que l'échangeur EASu soit, du côté de la calandre, alimenté par la source froide ultime (sur les sites de bord de mer, il sera alimenté par de l'eau de mer et soumis aux risques de corrosion associés). Or, dans la conception que vous prévoyez, l'échangeur EASu sera un équipement non substituable qui véhiculera du fluide hautement radioactif pour une durée de mission d'un an. En cas de fuite sur un tube de l'échangeur EASu en situation d'accident grave, l'activité issue de l'eau du bâtiment réacteur pourrait être directement rejetée dans la source froide. Par conséquent, il convient que vous mettiez en œuvre des moyens de détection en continu des fuites de fluide contaminé vers la source froide lors du fonctionnement du système EASu dans ces situations et que la conception du système EASu permette la mise en place de moyens pour faire face à une fuite de l'échangeur. Vous avez indiqué [7] que vous étudierez (Action A3) « *à l'échéance du 2^{ème} semestre 2017 pour le palier CPY et du 1^{er} semestre 2018 pour Bugey, la faisabilité, au titre de la gestion des situations d'urgence et pour l'information de la population, d'un moyen de surveillance de l'absence de contamination de la source froide en situation d'accident grave lors de l'utilisation de la disposition EASu* » et que vous examinerez (Action A4) « *à titre de robustesse, [...] à l'échéance de 2018, les possibilités de faire face à une fuite de l'échangeur EASu à long terme* ». **Des éléments devront être présentés sur ces sujets dans le cadre de votre réponse à la demande n° B.3 précédente. Vous veillerez notamment à étudier l'ensemble des solutions, notamment en termes d'architecture du système EASu, permettant d'isoler de manière fiable l'échangeur EASu en cas de défaillance.**

Fuite dans le bâtiment combustible (BK)

L'évacuation de la puissance résiduelle du combustible présent en piscine de désactivation (piscine BK) est assurée, dans les situations « noyau dur », par l'ébullition et l'appoint en eau en piscine. Cette évacuation nécessite, d'une part, l'ouverture d'un exutoire de pression (porte) au niveau du bâtiment du combustible (BK), d'autre part, l'accès aux vannes d'appoint en eau à la piscine. Or vous prévoyez d'installer, pour le palier 900 MWe, une partie des équipements du système EASu dans le BK. Il convient donc d'étudier, pour les situations qui affecteraient conjointement le cœur et la piscine de désactivation, les risques de rejets directs de substances radioactives dans l'environnement alors que l'exutoire du BK est ouvert pour évacuer la puissance résiduelle de la piscine de désactivation.

Sur ce point, vous vous êtes engagé [7] (action A5) à analyser, à l'échéance de fin 2017, l'impact de l'ouverture de l'exutoire de la piscine du BK sur les conséquences radiologiques d'un accident grave survenant dans le bâtiment réacteur (BR). Par ailleurs, les conditions d'ambiance associées à une fuite externe du système EASu devront être intégrées à la note faisant l'objet de la **demande n° B-1 dans l'estimation des conditions d'ambiance radiologique enveloppes à retenir pour la qualification** des composants de cette disposition présents dans le BK. **Cette note intégrera également les risques de débordement et de fuite de la piscine de désactivation, ainsi que sur le système PTR, et les questions liées à l'accessibilité des équipements.**

Nouveaux organes d'isolement – qualification des organes

Le déploiement du système EASu entraîne l'implantation de nouveaux organes d'isolement des traversées de l'enceinte (robinets motorisés à l'extérieur de l'enceinte au niveau du raccordement sur la traversée existante du système RIS et sur la nouvelle traversée permettant l'injection d'eau dans les puisards). Vous indiquez [7] que ces matériels seront conçus selon le RCCM (niveau 2) et qualifiés aux conditions d'accident grave. Par ailleurs, vous avez indiqué que la qualification des organes d'isolement aux conditions d'accident grave permettra de garantir leur opérabilité et leur étanchéité. **L'ASN sera particulièrement attentive aux résultats de ces essais, notamment pour la vanne EAS 14 VB.**

Sur ce sujet, vous vous êtes également engagé [7] (actions A6) à transmettre « les critères d'étanchéité interne vérifiés en essai périodique et relatifs aux nouveaux organes d'isolement des traversées de l'enceinte introduits par la disposition EASu à l'échéance du 2^{ème} semestre 2017 pour le palier CPY et du 1^{er} semestre 2018 pour Bugey ».

B.7. Risque de colmatage des filtres

Plusieurs éléments complémentaires de démonstration sont attendus de la part d'EDF concernant notamment la caractérisation des débris arrivant sur les filtres des puisards du système RIS/EAS (« terme source débris (TSD) amont »), ainsi qu'en aval de ces filtres (« terme source débris aval »). Ces éléments devront intégrer les questions relatives au transfert dans l'eau des puisards de débris produits par l'interaction entre le corium et le béton, qui est susceptible de remettre en cause les caractéristiques des « termes sources débris » considérés pour la qualification de la fonction EASu, ainsi qu'aux réactions chimiques susceptibles de se produire au niveau ou en aval des filtres.

Sur ce sujet de la prise en compte des effets physiques et chimiques pour l'évaluation du risque de colmatage des filtres, vous vous êtes engagé [7] (action A7) à transmettre un dossier de synthèse en soulignant que :

« Les effets physiques et chimiques relatifs au risque de colmatage des puisards ont déjà fait l'objet d'essais. En particulier, des essais de colmatage de longue durée avec un TSD AG, réalisés dans le cadre du projet EPR, ont montré l'absence d'effets chimiques entre les composants du TSD en amont du filtre.

EDF transmettra, à l'échéance de fin 2016, un dossier de synthèse justifiant les TSD amont et aval considérés en AG. Ce dossier sera constitué en particulier des éléments suivants :

- *les hypothèses retenues pour la détermination du TSD amont et du TSD aval,*
- *la description du processus de vérification des filtres par essais,*
- *les résultats de ces essais. »*

De plus, sur la base des caractéristiques des débris susceptibles d'être présents, vous avez prévu de transmettre des éléments permettant de justifier le bon fonctionnement des équipements (qualification des équipements avec les termes source débris précédents, NPSH⁵ disponible...).

Sur le sujet des marges disponibles vis-à-vis du risque de cavitation de la pompe noyau dur, vous avez pris l'engagement suivant [7] (action A8) : « À l'échéance de la déclaration réglementaire de la modification matérielle EASu, prévue au 2nd semestre 2017 pour le palier CPY et au 1^{er} semestre 2018 pour Bugey, EDF transmettra le détail du calcul du NPSH disponible de la pompe ND ainsi que la marge par rapport au NPSH requis ».

Par ailleurs, vous n'envisagez pas d'étudier, à ce stade, de moyen d'aspiration sur un autre puisard en cas de colmatage du puisard relié à la disposition EASu.

⁵ NPSH : net positive suction head. La valeur NPSH mesure la différence entre la pression du liquide en un point et sa pression de vapeur saturante.

B.8. Gestion sur le long terme d'un accident grave

L'objectif de la gestion d'un accident grave est d'aboutir à une situation stabilisée acceptable, ce qui nécessite à terme un retour à la pression atmosphérique de l'enceinte de confinement.

Dans le dossier transmis, vous n'avez pas précisé les actions prévues pour gérer, notamment, la pression présente à l'intérieur de l'enceinte de confinement sur le long terme, une fois le corium stabilisé, ainsi que les rejets associés (fuites naturelles du bâtiment, ouverture éventuelle du filtre U5...).

Demande n° B-7 : L'ASN vous demande de préciser et justifier, pour octobre 2017, les stratégies retenues en termes de gestion des conditions présentes dans l'enceinte de confinement sur le long terme, après un accident grave.

C) Demandes de l'ASN relatives à la limitation du risque de percement du radier

Lors d'un accident avec fusion du combustible du cœur conduisant au percement de la cuve, le corium s'accumule, en partie ou en totalité, dans le fond du puits de cuve. L'interaction entre le corium et le béton se traduit par une érosion progressive des parois en béton du puits de cuve et du radier de l'enceinte de confinement. Cette érosion du radier pourrait aller jusqu'à son percement. L'eau qui serait présente au fond de l'enceinte, et qui contiendrait l'essentiel des radioéléments émis pendant la dégradation du combustible, serait alors susceptible de se déverser dans le sol et de conduire à une contamination massive et durable des sols, des eaux souterraines et des rivières (rejets par la « voie eau »). Les gaz présents dans l'enceinte de confinement pourraient également s'échapper et provoquer un rejet atmosphérique radioactif non contrôlé.

Dans vos études, vous n'avez pas présenté d'élément relatif au risque d'érosion latéral des parois du puits de cuve.

Demande n° C1 : l'ASN vous demande d'estimer, pour janvier 2018, les risques d'érosion latérale des parois, susceptible d'entraîner l'effondrement du puits de cuve.

Afin de réduire le risque de percement du radier en cas d'accident grave conduisant à une défaillance de la cuve, vous envisagez de modifier la zone du puits de cuve pour permettre une arrivée d'eau maîtrisée sur le corium après l'étalement de celui-ci à sec dans cette zone. En fonction de la composition du béton du radier, vous prévoyez d'agrandir la surface d'étalement du corium au-delà du puits de cuve, voire de mettre en place une couche de béton supplémentaire afin de démontrer que le corium peut être stabilisé avant le percement du radier.

C.1. Absence d'eau dans le puits de cuve et maîtrise de l'étalement du corium à sec

Vous avez étudié différentes solutions pour réduire le risque de percement du radier : le noyage complet du puits de cuve, l'injection d'eau sous le corium (cette solution a été écartée car jugée peu réalisable sur les réacteurs existants) et l'injection d'eau en surface du corium en début d'interaction entre le corium et le béton.

Vous avez écarté, dans le cadre des nouvelles dispositions, le noyage du puits de cuve qui, s'il peut permettre de stabiliser la totalité ou une partie du corium en cuve dans certains accidents, comporte un risque d'explosion de vapeur en cas de rupture de la cuve.

Vous avez toutefois maintenu la possibilité d'un noyage complet du puits de cuve en cas d'accident grave dans le cadre des troisièmes réexamens périodiques associés aux réacteurs de 1300 MWe et des deuxièmes

réexamens périodiques associés aux réacteurs de 1450 MWe. **J'estime nécessaire que les dispositions prises en cas d'accident grave intègrent, sur l'ensemble de vos réacteurs, vos dernières réflexions sur le sujet.**

Demande n° C2 : l'ASN vous demande de proposer, pour début 2018, une approche claire et justifiée concernant le noyage des puits de cuve en cas d'accident grave survenant sur un réacteur. Les guides d'intervention en accident grave applicables sur les sites devront intégrer les approches finalement retenues.

Afin de favoriser l'étalement du corium dans les zones d'étalement prévues et de réduire le risque d'explosion de vapeur (hors cuve) lors de la rupture de la cuve, vous prévoyez un étalement du corium « à sec ». Dans ce cadre, vous prévoyez d'améliorer l'étanchéité des parties haute et basse du puits de cuve. À cet égard, vous vous êtes notamment engagé [8] à étudier (complément n° 11) « *le risque d'entrée d'eau dans les locaux d'étalement du corium via les lignes RPE (vanne non isolée ou non parfaitement étanche) et [à en tenir] compte dans la conception des dispositions. Echéance : juin 2016* », à étudier (complément n° 12) « *pour les REP 900 MWe l'étanchéité de la porte d'accès au puits de cuve, en tenant compte de la hauteur d'eau dans le fond de l'enceinte et [à en tenir] compte dans la conception des dispositions. Echéance : 2nd semestre 2017 pour le palier CPY, et 1^{er} semestre 2018 pour Bugey* », à étudier (complément n° 13) « *pour les REP 1300 MWe et N4 l'étanchéité des portes d'accès au puits de cuve et au local RIC, en tenant compte de la hauteur d'eau dans le fond de l'enceinte et [à en tenir] compte dans la conception des dispositions. Echéance : à l'issue des études de conception 1300 et N4* » et à transmettre (complément n° 7) « *pour tous les paliers du parc en exploitation, une étude du risque de colmatage de l'excutoire présent en fond de piscine BR. Echéance : déclaration des modifications matérielles visant à limiter le risque de percement du radier, prévue au 2nd semestre 2017 pour le palier CPY, et au 1^{er} semestre 2018 pour Bugey* ».

Pour permettre l'étalement du corium vers les locaux adjacents, vous prévoyez à ce stade différents cheminements possibles dans les parois du puits de cuve. L'ASN relève que certains tracés envisagés présentent des coudes et nécessiteront des démonstrations complémentaires. Vous avez indiqué que les tracés n'étaient pas arrêtés à ce jour et que, le cas échéant, des analyses complémentaires seraient effectuées [7].

Le noyage du corium dans la zone d'étalement serait assuré par l'ouverture de trappes déclenchée par la fusion de câbles de manœuvre au contact du corium, après ablation d'une protection en béton. Ces câbles seraient situés dans le puits de cuve et, le cas échéant, dans le local d'étalement adjacent. Le délai avant ouverture de ces trappes constitue une « fonction retard » qui doit permettre la collecte du corium dans la zone du puits de cuve et, le cas échéant, son étalement « à sec » dans le local adjacent après érosion d'un bouchon fusible aménagé entre le puits de cuve et ce local.

Concernant la conception de cette « fonction retard », l'ASN estime que vous devez apporter des éléments qui permettent d'exclure un blocage ou une ouverture trop précoce des trappes. Vous vous êtes engagé [8] (complément n° 14) à préciser « *les conditions de dimensionnement de la trappe permettant l'arrivée d'eau dans le puits de cuve (pour exclure un risque de blocage ou d'ouverture trop précoce de la trappe). Echéance : juin 2016* ».

En cas d'ouverture trop précoce des trappes, une partie importante du corium pourrait ne pas se trouver étalée dans le puits de cuve, voire être encore dans la cuve. Dans une telle situation, la répartition du corium pourrait présenter de fortes hétérogénéités dans le puits de cuve et des coulées secondaires pourraient se produire, après le noyage de la zone d'étalement. Vous vous êtes engagé [8] (complément n° 6) à étudier « *l'impact des coulées secondaires sur le risque d'explosion vapeur et sur la stabilisation du corium. Echéance : 1^{er} semestre 2017* ».

Enfin, les dispositions prévues font l'hypothèse d'un puits de cuve sec. Or l'absence de restriction sur les appoints d'eau en cuve peut conduire à la présence d'eau en fond de cuve et dans le puits de cuve avant étalement du corium. **L'ASN estime que vous devrez vérifier que les dispositions prévues pour la gestion des appoints d'eau dans la cuve alors que le cœur est dégradé ne sont pas de nature à entraver le bon fonctionnement des dispositions de stabilisation du corium hors de la cuve.** Ces éléments devront être intégrés à votre étude [7] (Action A10), mentionnée au paragraphe B.5.

C.2. Refroidissement du corium sous eau

La stabilisation du corium nécessite un noyage continu et suffisant, une baisse de niveau d'eau pouvant entraîner l'arrêt du refroidissement du corium. Or des questions subsistent sur le niveau d'eau réel dans les puisards, compte tenu notamment **des volumes d'eau présents dans les circuits, de la rétention d'eau dans l'enceinte de confinement, notamment en cas d'accident avec démarrage du système EAS.**

À cet égard, vous vous êtes engagé [7] (action A11) à fournir « *la consolidation des évaluations des hauteurs d'eau intégrant les nouveaux volumes de transits et rétentions suites aux modifications AG au premier trimestre 2017 pour le palier 900MWe. À la même échéance, EDF fournira :*

- *La vérification de l'absence de risque de cavitation de la pompe ND ;*
- *La démonstration de la suffisance du niveau d'eau pour le renoyage passif du corium ».*

Demande n° C-3 : L'ASN vous demande de transmettre, pour mi-2018, les éléments de justification des évaluations des hauteurs d'eau intégrant les nouveaux volumes de transits et rétentions à la suite des modifications réalisées sur les réacteurs de 1300 et 1450 MWe pour améliorer la gestion des accidents graves. Vous transmettez également la vérification de l'absence de risque de cavitation de la pompe ND, ainsi que la démonstration que le niveau d'eau est suffisant pour le noyage passif du corium. L'ensemble de ces éléments devra intégrer les cas d'accidents avec fonctionnement de l'EAS.

Enfin, un suivi du niveau d'eau dans le fond du BR, par une instrumentation « noyau dur », qualifiée aux conditions rencontrées en situations d'accident grave, permettrait de prévoir une intervention pour compléter, si besoin, ce niveau avant l'ouverture des trappes de renoyage passif, puis ensuite au cours de la phase d'interaction sous eau entre le corium et le béton. Par conséquent l'ASN estime nécessaire que vous mettiez en place une instrumentation permettant de garantir que le corium, une fois étalé, demeure sous une hauteur d'eau suffisante.

Demande n° C-4 : L'ASN vous demande de prévoir une instrumentation « noyau dur » qualifiée aux accidents graves, permettant d'apprécier le niveau d'eau dans le fond de l'enceinte et son évolution et de transmettre, pour janvier 2018, une description de cette instrumentation.

C.3. Stabilisation du corium avant le percement du radier

Les phénomènes de refroidissement du corium sont complexes. Ils font l'objet d'études et, compte tenu des difficultés d'essais, d'un nombre restreint d'expériences. Les programmes expérimentaux relatifs à l'interaction entre corium et béton, sous eau, ont montré que deux mécanismes particuliers pouvaient contribuer significativement à la stabilisation du corium :

- la transformation d'une partie du corium liquide en un lit de débris suffisamment poreux pour être refroidi ;
- des échanges thermiques à travers une croûte supérieure dont l'épaisseur est accrue par un mécanisme de fissuration et d'infiltration d'eau.

Toutefois, les résultats des simulations (en termes d'épaisseur de béton érodé) peuvent varier de quelques dizaines de centimètres à quelques mètres en fonction des modèles utilisés.

Vous vous êtes engagé à compléter vos études afin de mieux appréhender les effets possibles des paramètres ou modèles retenus, en particulier sur :

- le traitement plus réaliste de la répartition du corium entre la zone du puits de cuve et le local adjacent ;
- la sensibilité aux paramètres des modèles de refroidissement du corium ;
- la prise en compte de certains choix techniques à préciser (position des trappes...).

Ces études complétées devront traiter également :

- le risque d'ancrage de la croûte supérieure du corium sur les murs latéraux ;
- l'étude d'un ensemble plus large de scénarios d'accident ainsi que de compositions et de propriétés initiales du corium (température, viscosité, quantité de métal non oxydé...).

Pour évaluer les rejets, il est nécessaire de disposer des taux de fuite des enceintes. Ceux-ci sont vérifiés lors des essais décennaux, avec une enceinte intègre. Dans l'hypothèse où une portion du radier serait érodée, il est vraisemblable que les taux de fuites observés soient différents. En particulier, pour les réacteurs de 900 MWe, l'endommagement du liner métallique pourrait conduire à un effet falaise en termes de fuites observées. Pour les réacteurs de 1300 et 1450 MWe et du palier N4, l'état du béton du radier pourrait également avoir des effets importants en termes de rejets, selon l'épaisseur de béton érodée lors de l'interaction corium-béton. Par conséquent, je vous demande de proposer dans vos études, pour l'ensemble de vos réacteurs, un critère d'épaisseur érodée ne devant pas être dépassé afin d'éviter tout effet falaise sur les rejets.

Demande n° C-5 : L'ASN vous demande de proposer, pour janvier 2018, des critères ne devant pas être dépassés (épaisseur érodée, atteinte du liner...) afin d'éviter tout effet falaise sur les rejets observés. Ces critères devront tenir compte, si nécessaire, des spécificités observées sur les différents réacteurs (conception de l'enceinte de confinement ou du radier, réparations, état du béton du radier, présence ou non de liner...).

Les essais d'interaction entre le corium et le béton ont montré que l'efficacité du refroidissement était étroitement liée à la présence d'éléments dans le béton favorisant la production de CO₂. Vous avez donc proposé trois approches différentes en fonction la composition du béton du radier :

- béton silico-calcaire (famille 1), avec une stabilisation du corium prévue dans le puits de cuve ;
- béton siliceux (famille 2), avec une stabilisation du corium prévue dans le puits de cuve et le local RIC (ou le local R147 pour Fessenheim) ;
- béton très siliceux (famille 3), avec une stabilisation du corium prévue dans le puits de cuve et le local RIC, et, si nécessaire, un épaissement des radiers du puits de cuve et du local RIC par une dalle en béton très riche en CO₂.

Compte tenu de l'incertitude sur la connaissance précise des scénarios d'accidents graves et de leur phénoménologie, l'ASN relève que la diminution de l'épaisseur du bain de corium est un paramètre prépondérant pour la stabilisation rapide du corium. L'étalement du bain de corium sur une grande surface permettrait, quelle que soit la famille de réacteur considérée, de démontrer avec une confiance plus grande l'absence d'érosion significative du radier.

Demande n° C-6 : L'ASN vous demande de mettre en place les dispositions permettant l'étalement du corium dans le local adjacent du puits de cuve sur l'ensemble des réacteurs, quelle que soit la nature du béton. Vous transmettez pour septembre 2017 le calendrier prévu de déploiement de ces dispositions.

Pour l'ensemble des risques de percement du radier évoqués précédemment, vous tiendrez compte des spécificités de certains réacteurs.

Demande n° C-7 : L'ASN vous demande de tenir compte des spécificités des réacteurs (conception du radier, composition du béton...) pour évaluer l'ensemble des risques associés au percement du radier.

Enfin, pour les situations « noyau dur » ou d'accident grave, votre proposition de gestion de l'accident grave consiste à évacuer la puissance résiduelle de l'enceinte par l'EASu. Cette stratégie comporte l'avantage de conserver la majeure partie du terme source radiologique dans l'enceinte de confinement. Toutefois, en cas de risque de percement ou de fuite à travers le radier, il conviendrait d'étudier les risques particuliers associés à une pression élevée dans l'enceinte de confinement, dans ces situations, et d'adapter si nécessaire la stratégie que vous envisagez.

Demande n° C-8 : L'ASN vous demande de préciser votre stratégie de gestion de la pression dans l'enceinte pour fin octobre 2017, pour les situations d'accident grave comportant un risque de rejet à travers le radier.

D) Demandes de l'ASN relatives au dispositif U5 d'éventage et de filtration de l'enceinte et réduction des rejets d'iode

Le dispositif U5 d'éventage et de filtration de l'enceinte fait partie des équipements nécessaires à la gestion d'un accident grave sur les réacteurs d'EDF actuellement en service.

Concernant la réduction des rejets d'iode en cas d'utilisation de ce dispositif, vous vous êtes engagé [8] (« complément » n° 18) à transmettre, au premier trimestre 2017, « *les études associées au maintien de la capacité fonctionnelle et de l'opérabilité du dispositif d'éventage-filtration de l'enceinte de confinement après un séisme de niveau SMHV⁶* ».

Compte tenu de la différence de sismicité des différents sites et des possibilités de renforcement sismiques de chacun des filtres U5, les niveaux sismiques auxquels les filtres sont susceptibles de résister peut varier et, en tout état de cause, être supérieurs au SMHV.

Demande n° D-1 : L'ASN vous demande de vous prononcer pour janvier 2018, pour chacun des sites, sur la capacité des dispositifs d'éventage et de filtration de l'atmosphère de l'enceinte de confinement à fonctionner en cas de séisme majoré de sécurité (SMS), voire de séisme « noyau dur » (SND). Vous indiquerez, le cas échéant, pour chaque site, les renforcements qui seraient nécessaires pour garantir la tenue de ces dispositifs, d'une part sous SMS, d'autre part sous SND. Vous démontrerez, en tout état de cause, qu'ils ne constituent pas un agresseur, en cas de SMS, pour les équipements importants pour la sûreté et, en cas de SND, pour les équipements du noyau dur.

Vous indiquez que, pour réduire les risques de combustion d'hydrogène dans la ligne d'éventage et dans le filtre du dispositif « U5 », ceux-ci doivent être préchauffés pendant 20 heures. Le système de préchauffage installé nécessite une alimentation électrique. Sachant que le dispositif « U5 » est susceptible d'être utilisé 24 heures après le début de la fusion du cœur, le système de préchauffage devra être rapidement secouru en cas de perte totale des alimentations électriques.

Demande n° D-2 : L'ASN vous demande de définir, avant mi 2018, des critères d'activation pertinents de la FARN de manière à garantir une durée de préchauffage suffisante avant ouverture du dispositif d'éventage et de filtration, étant donné que le préchauffage de ce dispositif peut nécessiter l'acheminement et la mise en place de moyens de réalimentation électrique par la FARN.

⁶ Séisme maximal historiquement vraisemblable

Concernant la réduction des rejets d'iode dans l'atmosphère de l'enceinte au cours d'un accident grave, l'ASN estime que la mise en place de paniers contenant des substances alcalinisantes dans les puisards des bâtiments des réacteurs de 1300 et 1450 MWe devrait permettre de piéger en partie l'iode présent dans ces puisards. Ainsi, dans leur principe, les paniers de tétraborate de soude se substituent à la quantité importante d'argent présente dans les barres de contrôle des réacteurs du palier 900 MWe. L'ASN souligne toutefois que la démonstration de l'efficacité de ce dispositif nécessite des compléments que vous avez prévu d'apporter. Vous avez pris les engagements suivants [7] :

« Action A15 » : « À l'échéance de fin 2017, EDF analysera les phénomènes susceptibles de former des produits acidifiants (dégradation des câbles électriques, radiolyse de l'air, relâchement de CO₂ par interaction corium/béton). »

« Action A 16 » : « À l'échéance de fin 2017, EDF estimera l'impact de ces phénomènes sur le pH de l'eau des puisards. Une analyse de sensibilité à l'injection dans le bâtiment réacteur d'un volume d'eau borée équivalent à une bêche PTR supplémentaire sera réalisée. »

« Action A 17 » : « À l'échéance de fin 2017, EDF évaluera la production d'iode volatil en tenant compte des surfaces et volumes d'eau piégés en partie supérieure de l'enceinte. »

Les conséquences radiologiques à court terme associées à l'utilisation du dispositif d'éventage et de filtration U5 sont, en grande partie, liées aux rejets d'espèces gazeuses contenant de l'iode radioactif. Le filtre à sable actuel du dispositif U5 n'étant pas un piège sélectif pour ces espèces, l'ASN considère que, compte tenu notamment du calendrier de déploiement du système EASu sur les différents réacteurs, et de l'existence de dispositifs de filtration sélectifs pour les espèces gazeuses d'iode déjà installés sur plusieurs réacteurs de puissance dans le monde, les possibilités d'amélioration de la filtration des espèces gazeuses d'iode doivent être réexaminées en vue de réduire les conséquences radiologiques d'un accident avec fusion du cœur.

Demande n° D-3 : l'ASN vous demande de préciser, à l'échéance de janvier 2018, les conditions d'emploi du dispositif d'éventage et de filtration des enceintes de confinement et d'évaluer les rejets associés. Vous quantifierez d'ici janvier 2018 les différences de conséquences radiologiques en fonction des filtres disponibles en France ou à l'étranger et indiquerez les pistes d'améliorations que vous étudierez pour vos filtres.

En complément, l'ASN vous demande d'étudier les avantages et les inconvénients, pour la limitation des rejets, notamment d'iode, de ne procéder qu'à des décompressions partielles de l'enceinte de confinement sur la base de l'utilisation d'une commande d'ouverture et de fermeture du filtre U5.

Références

- [1] Décision ASN n° 2011-DC-0213 du 5 mai 2011
- [2] Décisions ASN n° 2012-DC-0274 à n° 2012-DC-0292 du 26 juin 2012
- [3] Décisions ASN n° 2014-DC-0394 à n° 2014-DC-0412 du 21 janvier 2014
- [4] Lettre EDF DPI/DIN/EM/MRC/PC-13/002 du 28 février 2013 : « Post-Fukushima - Groupe Permanent d'Experts pour les réacteurs des 13 et 20 décembre 2012 - Positions et Actions EDF »
- [5] Lettre CODEP-DCN-2015-014018 du 8 avril 2015
- [6] Lettre CODEP-MEA-030665 du 27 juillet 2016 : avis et recommandations du Groupe Permanent « Réacteurs » du 7 juillet 2016 : maîtrise des accidents graves sur les réacteurs du parc en exploitation en lien avec le noyau dur post-Fukushima et le projet d'extension de la durée de fonctionnement
- [7] Lettre EDF D305916013385 du 16 septembre 2016 : GP AG ECS/DDF - Positions et Actions EDF
- [8] Lettre EDF D455616028597 du 1^{er} juin 2016 : GP ECS/DDF - maîtrise des accidents graves - Compléments EDF suite à l'instruction
- [9] Lettre EDF D455617016737 du 7 mars 2017 GP FKS N° 2 - maîtrise des accidents - Conduite du Noyau Dur – Positions et Actions EDF 16081230 du 13 décembre 2016 GP FKS N° 2 Projets de positions et actions EDF
- [10] Lettre EDF D4008.10.11.16.0560 du 3 janvier 2017 : GP AG ECS/DDF - délais mise en œuvre EASu palier 900 MWe - Recommandation EASu10 – Action EDF A1