

Fontenay-aux-Roses, le 26 juin 2014

Monsieur le président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis/IRSN N° 2014-00249

Objet : Méthodologie de calcul des doses intégrées par les équipements lors d'un accident avec ou sans fusion du cœur pour tous les REP en exploitation et l'EPR FA3

Réf. Lettre ASN CODEP-DCN-2013-063652 du 6 décembre 2013

Dans le cadre du troisième réexamen de sûreté des réacteurs du palier 1300 MWe (VD3 1300), l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) demande, par la lettre citée en référence, l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur l'applicabilité vis-à-vis des exigences de qualification :

- de la méthodologie de calcul des doses intégrées par les équipements des réacteurs du parc en exploitation et de l'EPR de Flamanville 3 lors d'un accident avec ou sans fusion du cœur ;
- des hypothèses associées à cette méthodologie pour le palier 1300 MWe.

La méthodologie de calcul des doses intégrées par les équipements repose sur trois grandes étapes de calcul :

- étape 1 : le bilan de la matière dans le cœur ;
- étape 2 : le transport de la matière (depuis le combustible vers les sources radioactives volumiques et surfaciques) ;
- étape 3 : le transport du rayonnement (des sources radioactives vers les parties sensibles à l'irradiation des équipements). Cette étape est composée de deux sous-étapes : l'étape 3.1 (recherche de maxima de doses) et l'étape 3.2 (calcul au cas par cas plus réaliste des doses).

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

Dans le cas où l'équipement est qualifié par un essai à l'irradiation, une quatrième étape, appelée « calcul inverse » par EDF, peut être nécessaire pour assurer une adéquation entre la dose calculée en accident et celle qui va être intégrée par l'équipement lors de l'essai.

I. Application et limites de la méthodologie de calcul des doses intégrées par les équipements

La méthodologie développée par EDF vise à déterminer les doses susceptibles d'être intégrées par les équipements qui font l'objet d'un essai d'irradiation ou d'une qualification par analogie, qu'ils soient situés à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte de confinement. EDF a précisé que cette méthodologie concerne la qualification aux conditions accidentelles de dimensionnement et du

domaine complémentaire pour les REP en exploitation (respectivement de référence et de prévention de la fusion du cœur pour l'EPR) et la vérification (respectivement la qualification pour l'EPR) aux conditions d'accident grave. EDF va étendre aux systèmes pris en compte dans les études des conséquences radiologiques la démarche d'analyse des exigences fonctionnelles de sûreté, qui consiste à définir des exigences pour chaque système élémentaire requis dans la démonstration de sûreté à partir de l'identification de leurs rôles durant les différentes conditions de fonctionnement. Ceci pourrait mettre en évidence la nécessité de qualifier à une ambiance irradiante des équipements pour lesquels les transitoires accidentels de dimensionnement actuellement retenus ne seraient pas conservatifs ; EDF retiendra alors un transitoire majorant pour ces équipements et modifiera la note de méthodologie en conséquence. Pour la qualification aux conditions d'accidents graves, une première irradiation avant l'entrée en accident grave est prise en compte (dose pré-AG).

EDF considère uniquement les rayonnements gamma et bêta. L'absence de prise en compte des rayonnements neutrons et des produits d'activation du fait de leur contribution négligeable à la dose intégrée par les équipements n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN. En revanche, l'IRSN estime que le caractère négligeable de l'impact des rayonnements alpha sur les équipements dont la partie sensible à l'irradiation (dite partie radiosensible) n'est pas protégée, n'est pas suffisamment démontré. En effet, l'IRSN s'interroge sur une possible dégradation de la partie radiosensible, due à l'irradiation, entraînant par conséquent une migration au cours du temps des émetteurs alpha au sein de la matière (ceci fait l'objet de la recommandation n°1 explicitée en annexe).

II. Généralités sur les hypothèses associées à la méthodologie de calcul des doses intégrées par les équipements du palier 1300 MWe

En marge de la présente analyse, l'IRSN attire l'attention sur le fait qu'à l'issue du bilan du réexamen de sûreté VD3 1300, la justification de la tenue des équipements situés dans le bâtiment combustible (BK) et ayant des requis de qualification n'aura pas été apportée par EDF. L'IRSN rappelle avoir déjà formulé la même remarque pour les équipements du palier 1300 MWe nécessaires en accident grave. Le recueil d'hypothèses pour le palier 1300 MWe, associé à la méthodologie, ne traitant pas des équipements situés à l'extérieur de l'enclaustrage de confinement, l'IRSN considère qu'EDF devrait au moins expliciter les hypothèses génériques retenues pour ces équipements pour les conditions de fonctionnement de dimensionnement, du domaine complémentaire et les accidents graves (ceci fait l'objet de l'observation n°1 explicitée en annexe).

III. Étapes de calcul

III.1. Étape 1 - Bilan matière

Le bilan matière vise à établir l'inventaire des radionucléides présents dans le cœur du réacteur au moment de l'accident. Les activités des radionucléides présents dans le cœur avant l'arrêt du réacteur sont calculées grâce à un schéma de calcul mettant en œuvre notamment le logiciel DARWIN, dans sa version 2.2. La base expérimentale du dossier de qualification du logiciel DARWIN2.2 pour le calcul du bilan matière comporte 41 échantillons provenant de crayons REP-UOX et REP-MOX irradiés dans sept réacteurs. L'IRSN estime que cette base expérimentale est globalement représentative des gestions de combustible mises en œuvre sur le parc en exploitation et envisagées sur l'EPR de Flamanville 3, à l'exception de la gestion Parité MOX et de la future gestion PMOX52NT

(ceci fait l'objet de la recommandation n°2 explicitée en annexe). Bien que le programme de travail engagé par EDF de propagation des incertitudes sur les données nucléaires de base dans les calculs de puissance résiduelle soit de nature à mieux apprécier la précision de ces calculs, l'IRSN note cependant que ce programme n'est pas prévu pour les calculs de bilan matière. L'IRSN estime nécessaire qu'EDF étende cette démarche de propagation d'incertitudes aux calculs de bilan matière (ceci fait l'objet de la recommandation n°3 explicitée en annexe). L'IRSN estime par ailleurs que les listes des isotopes retenus par EDF pour l'évaluation des doses intégrées par les équipements pour l'ensemble des situations accidentelles considérées sont insuffisamment justifiées (ceci fait l'objet de la recommandation n°4 explicitée en annexe).

III.2. Étape 2 - Transport matière

Le transport matière consiste à estimer la migration des radionucléides depuis le cœur du réacteur vers les sources radioactives d'intérêt. La méthode de calcul du transport matière n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

Les hypothèses associées à cette méthode pour les accidents de dimensionnement dans l'enceinte de confinement n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN. Par ailleurs, l'IRSN estime que la non-prise en compte de l'iode sous forme organique pour le calcul des doses intégrées par les équipements lors d'un accident de manutention de combustible dans le bâtiment combustible est insuffisamment justifiée (ceci fait l'objet de la recommandation n°5 explicitée en annexe). De plus, l'IRSN considère que le caractère négligeable de la contamination surfacique du hall du bâtiment combustible est à justifier (ceci fait l'objet de l'observation n°2 explicitée en annexe). Pour les accidents graves, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF examine l'impact de taux de relâchement d'iode gazeux à la brèche supérieurs à 5 % sur la tenue des peintures ou des revêtements du bâtiment réacteur et des équipements présentant des cavités non étanches (5 % étant l'hypothèse retenue par EDF sur la fraction d'iode émise sous forme gazeuse dans l'enceinte depuis le circuit primaire). Ceci fait l'objet de la recommandation n°6 explicitée en annexe.

III.3. Étape 3 - Transport rayonnement

L'objectif de l'étape « transport rayonnement » est d'estimer, pour chaque radionucléide et pour chaque source radioactive, la dose qui va affecter les parties radiosensibles de l'équipement. Concernant les données préalables à cette étape de calcul et relatives aux matériaux, les coefficients de conversion du flux en dose utilisés par EDF pour les matériaux épais de type polymères ou céramique (formulation proche du SiO_2) n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN. Cependant, pour les autres matériaux couverts par la méthodologie, l'IRSN considère que le caractère majorant des coefficients de conversion utilisés devrait être justifié (ceci fait l'objet de l'observation n°3 explicitée en annexe). Pour le cas des matériaux minces, les hypothèses retenues par EDF concernant la dose absorbée n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.

Concernant la méthode de calcul pour le transport rayonnement, l'IRSN considère que l'emploi de la méthode d'intégration par trapèze demeure majorant pour les principaux produits de fission contributeurs à la dose intégrée. Les calculs de doses intégrées par les équipements, tant pour les rayonnements gamma que pour les rayonnements bêta, sont réalisés soit à l'aide de codes de calculs (de type Monte Carlo ou de codes de calculs simplifiés), soit de façon analytique. L'approche par code

de calcul pour les deux types de rayonnements n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN. L'approche analytique pour le rayonnement bêta s'avère majorante et n'appelle donc pas non plus de remarque de la part de l'IRSN. Concernant l'approche analytique pour le rayonnement gamma, l'IRSN souligne que les expressions analytiques présentées dans la méthodologie ne servent, a priori, qu'à valider l'utilisation du code de calcul PANTHERE pour un calcul de dose au contact. De plus, pour le rayonnement gamma, l'IRSN considère que les éléments présentés par EDF dans la comparaison des résultats des débits de doses au contact, entre ceux calculés de façon analytique et ceux calculés à l'aide du code de calcul PANTHERE (isotopes considérés, résultats en fonction du temps, méthode de regroupement des énergies), sont insuffisants pour conclure au caractère enveloppe des calculs réalisés par PANTHERE (ceci fait l'objet de l'observation n°4 explicitée en annexe).

III.4. Étape 4 - Calcul inverse

Un calcul inverse est effectué au cas par cas pour des conditions particulières (par exemple, l'utilisation d'une maquette à échelle réduite). L'objectif de ce calcul est de déterminer une dose d'ambiance dans le dispositif d'irradiation de telle sorte que la dose absorbée par les parties radiosensibles de l'équipement lors de l'essai soit supérieure ou égale à la dose théorique calculée à l'échelle du réacteur aux endroits correspondant à l'emplacement des parties radiosensibles de l'équipement. Pour ce faire, il est nécessaire de modéliser le dispositif d'essai ainsi que l'équipement et ses protections. L'IRSN considère qu'EDF devrait, pour justifier de l'absence de réalisation de calcul inverse, formaliser chaque démonstration du caractère transposable des calculs de doses dans l'enceinte aux essais dans le dispositif d'irradiation en s'assurant du caractère majorant pour les doses intégrées par l'équipement (ceci fait l'objet de l'observation n°5 explicitée en annexe).

IV. Mises à jour de la note de méthodologie de calcul des doses et du recueil d'hypothèses associé

L'IRSN considère que la note de méthodologie de calcul des doses intégrées par les équipements lors d'un accident avec ou sans fusion du cœur pour tous les réacteurs du parc en exploitation et pour l'EPR de Flamanville 3 et le recueil d'hypothèses associé pour les équipements du palier 1300 MWe méritent d'être révisés afin de clarifier leur contenu en mettant notamment à jour les hypothèses retenues à l'issue de l'instruction et ce y compris dans les différents documents appelés en références (ceci fait l'objet de l'observation n°6 explicitée en annexe).

En conclusion, l'IRSN estime globalement satisfaisants la méthodologie de calcul des doses intégrées par les équipements lors d'un accident avec ou sans fusion du cœur pour tous les réacteurs du parc en exploitation et pour l'EPR de Flamanville 3 et le recueil d'hypothèses associé pour les équipements du palier 1300 MWe.

Toutefois, au terme de son examen, l'IRSN a formulé quelques recommandations (demandes prioritaires) qui sont présentées en annexe de ce présent courrier. Des observations, présentant la position de l'IRSN sur un certain nombre de points sont également mentionnées en annexe.

Pour le Directeur général, par ordre,

Frédéric MÉNAGE

Adjoint au directeur de l'expertise de sûreté

Recommandations

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF démontre, de manière quantitative, le caractère négligeable de l'impact des rayonnements alpha sur les équipements dont la partie radiosensible n'est pas protégée.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF complète la base expérimentale d'échantillons irradiés et analysés par des échantillons de combustible MOX à teneur en Pu supérieure ou égale à la teneur enveloppe de la gestion actuelle parité MOX et de la future gestion PMOX52NT.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande qu'EDF étende la démarche de propagation d'incertitudes utilisée dans les calculs de puissance résiduelle aux calculs de bilan matière.

Recommandation n° 4

L'IRSN recommande qu'EDF justifie les listes des isotopes retenus pour l'évaluation des doses intégrées par les équipements pour chacune des situations accidentelles considérées.

Recommandation n° 5

L'IRSN recommande qu'EDF justifie, de manière quantitative, que la non-prise en compte de l'iode sous forme organique (ICH₃) est majorante vis-à-vis des doses intégrées par les équipements lors d'un accident de manutention de combustible dans le BK.

Recommandation n° 6

L'IRSN recommande qu'EDF examine l'impact de fractions d'iode relâché sous forme gazeuse depuis le circuit primaire supérieures à 5 % sur la tenue des peintures ou des revêtements du bâtiment réacteur et des équipements présentant des cavités non étanches.

Observations

Observation n° 1

L'IRSN considère qu'EDF devrait expliciter, lors de la prochaine mise à jour du recueil d'hypothèses, les hypothèses génériques retenues pour les équipements du palier 1300 MWe situés hors de l'enceinte de confinement pour les conditions de fonctionnement de dimensionnement (y compris pour l'accident de manutention de combustible dans le bâtiment combustible), du domaine complémentaire et les accidents graves.

Observation n° 2

L'IRSN considère qu'EDF devrait justifier le caractère négligeable de la contamination surfacique du hall du bâtiment combustible en cas d'accident de manutention de combustible.

Observation n° 3

L'IRSN considère qu'EDF devrait justifier le caractère majorant de l'utilisation de coefficients de conversion $H^*(10)/\text{flux } \gamma$ plutôt que KERMA/flux γ pour les matériaux autres que les polymères et que le SiO_2 .

Observation n° 4

Concernant les rayonnements gamma, l'IRSN considère qu'EDF devrait :

- préciser si une approche analytique peut être retenue ou si elle ne sert qu'à valider les utilisations des codes de calcul sur certains domaines ;
- présenter les écarts sur les débits de dose au contact entre ceux calculés de façon analytique et ceux calculés à l'aide du code de calcul PANTHERE en fonction de l'énergie pour différents radionucléides ;
- justifier que la méthode de regroupement des énergies utilisée pour les calculs analytiques conduit à surestimer les résultats de doses au contact.

Observation n° 5

L'IRSN considère qu'EDF devrait formaliser chaque démonstration du caractère transposable des calculs de dose dans l'enceinte aux essais d'irradiation en s'assurant du caractère majorant pour les doses intégrées par l'équipement, afin de justifier la non-réalisation de l'étape de calcul inverse.

Observation n° 6

L'IRSN considère qu'EDF devrait mettre à jour la note de méthodologie de calcul des doses intégrées par les équipements du parc en exploitation et de l'EPR de Flamanville 3 et le recueil d'hypothèses associé pour les équipements du palier 1300 MWe en prenant en compte l'ensemble des éléments de l'instruction. Lors de ces mises à jour, l'IRSN considère qu'EDF devrait assurer une cohérence d'ensemble de ces deux documents (y compris ceux appelés en références) pour ce qui concerne les hypothèses retenues pour les calculs de doses intégrées par les équipements des réacteurs du palier

1300 MWe lors des conditions de fonctionnement de dimensionnement, du domaine complémentaire et des accidents graves.