

Fontenay-aux-Roses, le 2 février 2011

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis/IRSN N° 2011-51

Objet : EPR - FA3 - Instruction anticipée en vue de l'autorisation de mise en service
Définitions du terme source utilisé et méthodologie d'évaluation

- Réf.**
1. Lettre ASN Dép-DCN-0391-2008 du 30 juillet 2008 - Réacteurs nucléaires à eau sous pression - EPR - Définition des termes sources utilisés et méthodologie d'évaluation
 2. Avis et recommandations du groupe permanent « Equipements sous pression nucléaires » du 9 juin 2010
 3. Rapport IRSN/DSR n°286

Dans le cadre de l'instruction anticipée en vue de l'autorisation de mise en service du réacteur EPR de Flamanville, l'ASN [1] a demandé à l'IRSN de se prononcer sur la déclinaison du terme source proposé par EDF en trois spectres d'activité, utilisés respectivement pour :

- le classement des Equipements Sous Pression Nucléaire (ESPN) et l'évaluation prévisionnelle des doses du personnel (terme source « réaliste »),
- le dimensionnement des protections biologiques,
- le dimensionnement des systèmes de traitement d'effluents et l'évaluation des conséquences radiologiques des accidents sans dégradation du cœur¹.

Adresse courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

En particulier, l'ASN a souhaité recueillir l'avis de l'IRSN sur la pertinence de retenir ces trois spectres ainsi que sur la méthodologie retenue pour l'évaluation des activités retenues et sa conformité aux exigences réglementaires applicables notamment pour ce qui concerne le classement ESPN.

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

La méthode d'évaluation des rejets pour le dimensionnement des ESPN de l'EPR ayant été examinée dans le cadre de la réunion du groupe permanent d'experts sur les équipements sous pression nucléaires (GP ESPN) tenue le 9 juin 2010, dans le cadre de l'examen des principes de classement retenus par EDF en application de l'arrêté du 12 décembre 2005 [2], ce point n'est pas abordé dans le présent avis.

¹ Absence de dégradation du combustible et de son gainage

Le terme source correspond à l'activité de l'ensemble des produits radioactifs présents dans le réacteur, à l'exclusion de ceux contenus dans le combustible². Le terme source a pour origine :

- les produits de corrosion ou d'usure relâchés par les structures internes du circuit primaire puis activés lors de leurs passages dans le cœur du réacteur ;
- l'eau primaire et des composés chimiques dissous, autres que les produits de corrosion, puis activés lors de leurs passages dans le cœur du réacteur ;
- les produits de fission dégagés par de petits défauts dans le gainage des crayons de combustible pendant l'exploitation de la tranche.

La méthode utilisée par EDF pour l'élaboration des spectres d'activités en produits de fission dans le fluide primaire relatifs au dimensionnement des systèmes de traitement des effluents et aux évaluations des conséquences radiologiques des accidents de l'EPR a été instruite dans le cadre de la préparation de la réunion du Groupe Permanent chargé des Réacteurs nucléaires tenue le 25 juin 2009 [3].

Le présent avis porte donc uniquement sur le terme source dû aux produits de corrosion et d'activation ainsi que sur les méthodologies d'évaluation associées.

Le terme source dépend de l'état du réacteur qui peut être un état normal de fonctionnement en puissance, un état transitoire de puissance ou de conditionnement du milieu chimique du fluide primaire. En fonctionnement en puissance, EDF indique que la quasi-totalité de l'activité provient de l'activité des radionucléides ¹⁶N et ¹⁷N qui ont des périodes radioactives très courtes. En raison de ces périodes radioactives très courtes, l'activité des radionucléides ¹⁶N et ¹⁷N a quasiment disparu au moment de l'aération du fluide primaire qui est préalable à l'ouverture du Circuit Primaire Principal. Lors des arrêts des réacteurs, les produits de corrosion des matériaux de la chaudière qui ont été activés dans le cœur sont responsables de 90 % des doses intégrées lors des interventions.

Pertinence des spectres d'activités retenues

A l'origine, deux spectres d'activité étaient présentés dans le rapport préliminaire de sûreté de Flamanville 3 :

- le premier (TYPICAL) pour les études relatives au classement ESPN et pour les calculs de prévisionnel de dose ;

² Pour les réacteurs à eau sous pression, le vocable « terme source » peut faire référence à plusieurs définitions. Par exemple, sa définition la plus commune désigne l'inventaire des produits radioactifs contenus dans le réacteur qui sont les produits de fission et les actinides retenus dans les analyses relatives à la prévention et la gestion des accidents graves. Dans le cadre de cet avis, le terme source désigne l'ensemble des produits d'activation sous flux neutronique, issus des produits de corrosion et du fluide primaire ainsi que les produits de fission contenus dans le fluide primaire.

- le second (DESIGN) pour les études relatives au dimensionnement des protections biologiques et pour les calculs de conséquences radiologiques des accidents sans dégradation du cœur.

Dans le cadre de l'instruction menée en support de la réunion du Groupe Permanent chargé des Réacteurs nucléaires du 26 janvier 2006, l'IRSN a estimé que le spectre d'activité DESIGN n'était pas suffisant pour vérifier le choix et le dimensionnement des systèmes de traitement des effluents radioactifs. L'autorité de sûreté a demandé à EDF de réviser l'inventaire des radionucléides du circuit primaire en fonction des phases d'exploitation de l'EPR pour servir de référentiel commun à toutes les études de conception de l'EPR (dimensionnement des systèmes de traitement des effluents, radioprotection, études d'accident, classement ESPN...). En réponse à cette demande, EDF a notamment proposé de créer un troisième spectre d'activité pour réaliser les études de dimensionnement des systèmes d'effluents et les calculs de conséquences radiologiques des accidents sans dégradation du cœur prenant en compte le retour d'expérience du palier N4 et des tranches de 1300 MWe. L'IRSN considère satisfaisant qu'un spectre distinct ait été établi pour le dimensionnement des systèmes de traitement des fluides radioactifs, d'une part pour un fonctionnement stabilisé, d'autre part pour le(s) transitoire(s) de dimensionnement conduisant à un relâchement maximal d'activité dans le fluide primaire.

De plus, des valeurs d'activité sont proposées pour les activités déposées sur les parois des tuyauteries, ce qui est satisfaisant.

Spectre d'activités utilisé pour le classement des Equipements Sous Pression Nucléaire (ESPN) et l'évaluation prévisionnelle des doses du personnel (terme source "réaliste") et le dimensionnement des protections biologiques

L'IRSN note que le terme source "réaliste" couvre au moins 95 % des activités équivalentes mesurées sur le palier N4. L'IRSN considère que la définition des activités liées au terme source "réaliste" et au dimensionnement des protections biologiques ne revêt pas le caractère enveloppe qui convient. L'IRSN recommande qu'EDF retienne des valeurs d'activité qui soient au moins enveloppes de celles obtenues sur toutes les tranches du parc EDF, après changement de générateur de vapeur. De plus, l'IRSN estime qu'EDF devrait définir des marges sur cette valeur enveloppe, en raison de l'absence de compréhension fine des phénomènes physico-chimiques mis en œuvre après les changements de générateur de vapeur.

Evolutions liées à l'EPR

L'EPR bénéficie de choix de conception et d'exploitation qui visent à limiter l'activité des produits de corrosion relâchés par les structures internes du circuit primaire puis activés lors de leurs passages dans le cœur du réacteur. Les choix de conception portent sur la sélection des matériaux de la chaudière et leur mise en œuvre. Les choix d'exploitation portent sur la passivation des circuits avant démarrage, leurs conditionnements chimiques dans les divers états du réacteur ainsi que l'ajout de zinc qui a un effet bénéfique vis-à-vis de l'activité déposée sur les parois du circuit primaire. L'IRSN considère que l'ensemble de ces choix de conception et d'exploitation devrait concourir à limiter le

terme source corrosion de l'EPR et que si l'efficacité de ces choix est confirmée à l'issue de la mise en service, le terme source de l'EPR devrait être inférieur à celui des meilleures tranches du parc français. Toutefois, l'IRSN note que des voies d'amélioration existent encore. Celles-ci sont détaillées ci-après.

Une autre évolution importante de l'EPR réside dans la possibilité de réaliser de la maintenance dans le bâtiment réacteur lorsque le réacteur est à pleine puissance. Ce choix de conception impose que les valeurs d'activités retenues pour le terme source soient robustes afin de garantir que les objectifs de radioprotection seront respectés.

Activité due aux produits de corrosion

L'IRSN considère que l'électropolissage des boîtes à eau des générateurs de vapeur est une technique éprouvée, reconnue depuis le début des années 90 et efficace pour limiter de manière pérenne le débit de dose dans la boîte à eau des générateurs de vapeur. Compte tenu des gains potentiels de l'ordre de 40 % sur les débits de dose, l'IRSN considère qu'à ce stade du projet EPR, EDF aurait dû décider de réaliser l'électropolissage des boîtes à eau des générateurs de vapeur.

EDF a identifié, sur la base du retour d'expérience, les principaux radio-isotopes participant au terme source corrosion, ainsi que leur origine. Si les principaux éléments à l'origine du terme source dû aux produits de corrosion ont bien été identifiés, l'IRSN constate que certains éléments susceptibles d'avoir un impact sur la radioprotection et l'environnement (effluents et déchets) n'ont pas été pris en compte, comme notamment les éléments radioactifs émetteurs β à vie longue. L'IRSN estime qu'EDF devrait par conséquent compléter la liste des éléments pris en compte lors de la définition du terme source dû aux produits de corrosion.

Le nickel 63 est mesuré de manière non négligeable dans les effluents (environ 15 à 20 % de l'activité rejetée dans les effluents liquides). De par ses caractéristiques radioactives (émetteur β pur), il n'est pas mesurable en routine par les appareils de mesure des sites et des campagnes de mesure particulières doivent être mises en œuvre pour en déterminer l'activité dans le circuit primaire. L'IRSN constate également qu'à ce jour, EDF n'a réalisé que deux campagnes de mesure du ^{63}Ni sur le parc électronucléaire afin d'évaluer son comportement dans les installations. L'IRSN estime que ces campagnes de mesure ne permettent pas de conclure de manière définitive quant au comportement du ^{63}Ni dans les installations. L'IRSN considère qu'EDF devra compléter son travail de mesure du ^{63}Ni sur le parc en exploitation, afin de maîtriser correctement son comportement dans le réacteur EPR.

Pour ce qui concerne le terme source corrosion dû au radionucléide ^{60}Co , les données fournies par EDF montrent que l'EPR bénéficie d'améliorations technologiques par rapport au palier P'4 qui devraient permettre de réduire significativement ce terme source. Néanmoins, la surface d'alliages durs à base de cobalt sous flux neutroniques dans les internes de cuve reste importante sur l'EPR par rapport aux tranches allemandes de type Konvoi. L'IRSN considère qu'EDF devra poursuivre sa démarche visant

à éliminer totalement les alliages durs à base de cobalt des internes de cuves, des Groupes Moto-Pompes Primaires et des mécanismes de commande de grappe. EDF devra expliciter les choix qui en découlent.

Pour le terme source corrosion dû au radionucléide ^{110m}Ag , l'argent des grappes de contrôle et des joints de type Helicoflex utilisés pour le joint de la cuve, de l'échangeur RCV et sur les circuits RIS et RRA, en est la source. L'IRSN considère qu'EDF devra pour l'EPR établir un plan de contrôles et de maintenance des grappes de contrôle permettant d'exclure toute perte d'étanchéité, si celles-ci devaient contenir de l'argent. L'IRSN considère qu'EDF devra pour l'EPR limiter l'utilisation des joints de type Hélicoflex revêtus d'argent. Il appartient donc à EDF de fournir une liste exhaustive de ces joints et de justifier la nécessité de leur emploi.

Le terme source corrosion dû aux radionucléides ^{122}Sb et ^{124}Sb provient de l'antimoine des paliers et des butées en graphite imprégné d'antimoine des pompes, ainsi que des grappes sources secondaires. L'IRSN considère qu'EDF devra pour l'EPR limiter l'utilisation de graphite imprégné d'antimoine, fournir une liste exhaustive des pièces imprégnées d'antimoine et justifier la nécessité de leur emploi. L'IRSN considère qu'EDF devra définir les plans de contrôle et de maintenance des grappes sources, de manière à éviter toute défaillance en service ou lors d'un stockage en piscine.

L'IRSN considère que l'ensemble des améliorations présentées par EDF pour l'EPR devrait permettre de diminuer le terme source dû aux produits de corrosion. Néanmoins, les gains de ces améliorations sont difficilement quantifiables a priori et devront donc être confirmés a posteriori par la réalisation de mesures adéquates. En conséquence, pour l'EPR, l'IRSN considère qu'EDF devra proposer un programme de suivi en service du terme source corrosion.

Activité due aux produits d'activation

Pour la définition du terme source de produits d'activation, EDF a retenu :

- pour l'argon 41, trois spectres : une première valeur réaliste, une deuxième valeur pour les calculs des protections biologiques et une troisième valeur pour le dimensionnement des systèmes de traitement des effluents, toutes trois définies à partir du REX du palier N4 ;
- pour le carbone 14 : une valeur réaliste et une valeur enveloppe définies à partir du REX des tranches de 1300 MWe ;
- une activité spécifique pour l'azote 16 et l'azote 17 dans le circuit primaire pendant le fonctionnement stabilisé, calculée à partir d'une formule qui tient compte des cycles d'activation et des décroissances successives ;
- une valeur enveloppe unique définie pour le tritium à 37 GBq/t, justifiée par le REX du palier 1300 MWe.

L'IRSN note en particulier que le REX utilisé par EDF pour la définition des spectres d'activité dus aux produits d'activation n'est pas toujours enveloppe de l'ensemble des valeurs rencontrées sur le parc en exploitation (notamment pour l'argon 41).

L'argon 41 résulte de l'activation de l'argon 40 présent dans l'air dissous dans le fluide primaire au moment du démarrage du réacteur. L'IRSN estime à cet égard que la qualité du remplissage et de l'éventage est un élément déterminant. La méthodologie d'éventage du circuit primaire au démarrage prévue sur l'EPR devrait selon EDF être similaire à celle utilisée sur le N4. L'IRSN estime qu'EDF devra conforter l'utilisation du REX du palier N4 dans l'évaluation du terme source en argon 41 de l'EPR et transmettre les procédures d'éventage EPR et les critères associés.

Le carbone 14 est un radio-isotope à vie longue, émetteur β pur de faible énergie. D'après les informations fournies par EDF, la production de carbone 14, dans le cas des REP, est essentiellement due à l'irradiation sous flux de l'isotope 17 de l'oxygène de l'eau, et dans une moindre mesure, de l'azote contenu dans le fluide primaire. En raison de l'effet de taille de l'EPR (puissance et volume sous flux augmentés), de sa meilleure disponibilité, mais aussi de l'inertage du ciel des réservoirs par de l'azote, l'EPR devrait produire davantage de carbone 14 qu'un REP de 1300 MWe.

Les études menées par EDF sur les moyens possibles de réduire la production de ^{14}C n'ont pas permis de déboucher sur des propositions concrètes sur le parc en exploitation.

La valeur pénalisante retenue par EDF pour l'activité en carbone 14 dans le fluide primaire pour EPR est estimée à 13000 Bq/l et la valeur réaliste, déterminée à partir d'une activité moyenne mesurée sur le parc en exploitation, est estimée à 6000 Bq/l.

Au vu des problèmes rencontrés et énoncés par EDF au cours des études sur le comportement du carbone 14 dans le circuit primaire, l'IRSN considère que l'estimation des activités en carbone 14 pour l'EPR proposée par EDF ne peut pas être validée aujourd'hui. L'IRSN considère que les activités du terme source en carbone 14 du circuit primaire de l'EPR devront être réévaluées en tenant compte des résultats des campagnes de mesures engagées par EDF sur le parc en exploitation suite au groupe permanent relatif à la gestion des effluents des centrales nucléaires d'EDF en exploitation (notamment les campagnes de Cattenom de 2009).

Par ailleurs, EDF ne mentionne pas l'émission possible de carbone 14 suite au frottement accidentel des joints en graphite des pompes primaires. Il conviendra qu'EDF vérifie les quantités de carbone 14 susceptibles d'être produites dans le circuit primaire en cas de dégradation du joint en graphite des GMPP.

EDF a retenu une seule valeur forfaitaire pour l'activité spécifique en tritium égale à 37 GBq/t (correspondant historiquement à 1 Ci/t). EDF précise que cette valeur n'intervient pas dans les calculs d'activité γ totale et de dimensionnement des protections biologiques. L'IRSN considère par conséquent qu'il est pertinent de retenir une seule valeur pour les 3 spectres.

L'IRSN observe que la valeur de 37 GBq/t retenue par EDF pour l'activité volumique en tritium dans le circuit primaire couvre les valeurs d'activités maximales en tritium observées sur les sites des tranches de 1300 MWe et de 1450 MWe (à l'exception des sites soumis à des contraintes environnementales qui ne concernent pas Flamanville).

L'IRSN considère acceptable l'utilisation de cette valeur à ce stade compte tenu :

- de la gestion du tritium retenue par EDF. En effet, l'activité volumique en tritium du circuit primaire dépend non seulement de la production du tritium dans le circuit primaire mais aussi de la stratégie globale de gestion du tritium dans l'installation. La stratégie retenue par

EDF sur l'EPR qui va dans le sens de la réduction de l'activité en tritium dans le circuit primaire est similaire à celle établie pour le parc en exploitation. Cette stratégie analysée dans le cadre du GP Effluents est jugée satisfaisante par l'IRSN.

- des choix technologiques retenus par EDF : coordination bore-lithium, suppression des grappes sources secondaires et utilisation du gadolinium comme poison neutronique.

Pour le directeur général
et par délégation

P. QUENTIN

Recommandations

Recommandation n° 1 :

Pour l'EPR, l'IRSN recommande qu'EDF retienne des valeurs de terme source qui soient au moins enveloppes de celles obtenues sur toutes les tranches du parc EDF après changement des générateurs de vapeur, compte tenu des connaissances encore incomplètes sur les phénomènes physico-chimiques qui sont à l'origine des valeurs d'activités observées.

Recommandation n° 2 :

L'IRSN recommande qu'EDF réalise l'électropolissage des boîtes à eau des générateurs de vapeur de l'EPR.

Recommandation n° 3 :

L'IRSN recommande qu'EDF complète la définition du terme source de l'EPR dû aux produits de corrosion par l'ensemble des radioéléments susceptibles d'avoir un impact sur la radioprotection et l'environnement (rejets et déchets).

Recommandation n° 4 :

L'IRSN recommande qu'EDF complète son travail de mesure du ^{63}Ni sur le parc en exploitation, afin d'en avoir une maîtrise correcte sur l'EPR.

Recommandation n° 5 :

L'IRSN recommande qu'EDF complète sa démarche visant à éliminer totalement sur l'EPR les alliages durs à base de cobalt des internes de cuves, des Groupes Moto-Pompes Primaires et des mécanismes de commande de grappe. EDF devra expliciter les choix qui en découlent.

Recommandation n° 6 :

Afin de réduire l'importance de l'Argent dans le terme source de l'EPR, l'IRSN recommande qu'EDF établisse un plan de contrôles et de maintenance des grappes de contrôle permettant d'exclure toute perte d'étanchéité, si celles-ci devaient contenir de l'argent. L'IRSN recommande qu'EDF limite l'utilisation des joints de type Hélicoflex revêtus d'argent. A cet égard, EDF devra fournir une liste exhaustive de ces joints et justifier la nécessité de leur emploi.

Recommandation n° 7 :

Afin de réduire l'importance des antimoines dans le terme source de l'EPR, l'IRSN recommande qu'EDF limite l'utilisation de graphite imprégné d'antimoine, fournisse une liste exhaustive des pièces imprégnées d'antimoine et justifie la nécessité de leur emploi. L'IRSN recommande qu'EDF définisse les plans de contrôle et de maintenance des grappes sources, de manière à éviter toute défaillance en service ou lors d'un stockage en piscine.

Recommandation n° 8 :

L'IRSN recommande qu'EDF propose, pour l'EPR, un programme de suivi en service des différents produits de corrosion participant à la définition du terme source.

Recommandation n° 10 :

L'IRSN recommande qu'EDF conforte les données issues du retour d'expérience du palier N4 pour l'évaluation du terme source en argon 41 de l'EPR et transmette les procédures de remplissage et d'éventage de l'EPR et les critères associés.

Recommandation n° 11 :

Les activités en carbone 14 sont estimées sur la base des mesures réalisées sur le parc en exploitation. Ces mesures sont en cours d'analyse par EDF qui a engagé de nouvelles campagnes de mesure (campagnes de Cattenom en 2009). Concernant les hypothèses retenues par EDF pour l'estimation de l'activité en carbone 14 dans le circuit primaire (concentration en azote dissous, volume du circuit primaire, débit d'épuration du fluide primaire...), l'IRSN recommande qu'EDF s'assure qu'elles sont bien représentatives de l'EPR et suffisamment enveloppes pour le dimensionnement des systèmes.