

Fontenay-aux-Roses, le 19 juin 2019

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2019-00133

Objet : Réacteurs électronucléaires - EDF - Instruction de la prescription [ECS-ND9] du 21 janvier 2014 - Guides méthodologiques de capacité sismique.

Réf. [1] Saisine ASN CODEP-DCN-2015-023960 du 22 juin 2015
[2] Avis IRSN/2017-00118 du 31 mars 2017

À la suite de l'accident survenu en mars 2011 au Japon dans la centrale de Fukushima Dai-ichi, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé à Électricité de France (EDF) de réaliser des évaluations complémentaires de sûreté (ECS) de la robustesse de ses réacteurs nucléaires à l'égard d'évènements extrêmes de même nature que ceux ayant entraîné la catastrophe de Fukushima et non pris en compte dans le référentiel de sûreté.

À l'issue de ces évaluations, l'ASN a prescrit à EDF de mettre en œuvre des mesures de renforcement de la sûreté de ses sites électronucléaires, notamment par la mise en œuvre d'un « *noyau dur* » de dispositions matérielles et organisationnelles, afin de faire face à ces situations extrêmes. Le noyau dur est constitué pour partie d'un ensemble de structures, systèmes et composants (SSC) qui sont soit des SSC déjà existants sur les réacteurs nucléaires, soit des SSC nouveaux qu'EDF doit mettre en place sur ses sites.

Afin de préciser les hypothèses de conception et de vérification des SSC du noyau dur, l'ASN a édité un ensemble de prescriptions techniques complémentaires en date du 21 janvier 2014, en particulier la prescription technique [ECS-ND9] qui stipule notamment que :

« Pour les SSC existants dont la justification en situations noyau dur ne pourrait être acquise sur la base des règles de conception et de construction codifiées ou, à défaut, conformes à l'état de l'art, [l'exploitant] justifie ces SSC sur la base de méthodes déterministes réalistes ; il utilise en tout état de cause des critères garantissant la fonctionnalité des SSC vis-à-vis des missions qu'ils ont à accomplir en situations noyau dur. Dans les cas où la justification sur la base de ces méthodes n'est pas acquise, l'exploitant étudie le remplacement ou le renforcement de ces SSC. »

En réponse à cette prescription, EDF a transmis un ensemble de guides méthodologiques relatifs à la justification du comportement des SSC existants appartenant au noyau dur sous l'effet d'un

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

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre 8 440 546 018

séisme extrême, dit « *séisme noyau dur* » (SND). L'objectif de ces guides est de définir les méthodes d'analyse et les critères de vérification associés à la catégorie de SSC considérée, afin de définir leur capacité sismique, qui sera ensuite comparée à la sollicitation SND.

Par la lettre citée en référence [1], l'ASN sollicite l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) relatifs aux guides méthodologiques transmis par EDF pour la justification du comportement :

- des ancrages passifs existants ;
- des machines tournantes ;
- de la robinetterie ;
- des matériels électriques ;
- des lignes de tuyauteries ;
- des chemins de câbles ;
- des gaines de ventilation ;
- des matériels de manutention lourds.

Les autres guides méthodologiques (relatifs aux structures en béton armé ou en béton précontraint et aux charpentes métalliques, aux grands réservoirs verticaux à fond plat, et aux échangeurs et réservoirs à fonds bombés) ont fait l'objet d'un avis antérieur de l'IRSN cité en référence [2].

De l'examen des éléments transmis par EDF, il ressort les points exposés ci-après.

Guide relatif aux ancrages passifs existants

EDF présente un guide méthodologique pour analyser le comportement des ancrages des SSC existants du noyau dur, pour lesquels le séisme SND constitue généralement le chargement le plus significatif.

Tout d'abord, l'IRSN considère que la connaissance de l'état physique et la vérification de la conformité des ancrages des SSC existants du noyau dur sont un prérequis incontournable à l'évaluation de leur capacité résistante et souligne que le guide ancrages d'EDF ne traite pas la conformité des ancrages.

Néanmoins, EDF a indiqué à la fin de l'expertise que les dispositions d'implantation des ancrages des SSC du noyau dur et leur état physique feront l'objet de contrôles, et que le résultat de ces contrôles sera pris en compte dans l'évaluation de la capacité résistante des ancrages, les anomalies étant en outre corrigées lorsque cela est faisable.

Aussi, l'IRSN considère que les contrôles systématiques et exhaustifs réalisés in-situ sur les ancrages et leur support, ainsi que les remises en conformité réalisées suite à ces contrôles, sont de nature à garantir la fiabilité de l'évaluation de la capacité résistante des ancrages des SSC du noyau dur effectuée par ailleurs, ce qui est satisfaisant.

À cet égard, l'IRSN souligne l'intérêt de consigner à la fin de l'expertise l'état réel des ancrages, les résultats des contrôles et les éventuels renforcements réalisés, dans un document.

EDF présente dans le guide ancrages les méthodes permettant d'évaluer la capacité résistante sismique des ancrages passifs (chevilles métalliques, tiges scellées et rails inserts) de matériels existants présents sur le parc nucléaire en retenant la capacité résistante ultime établie à partir d'équations, de caractéristiques et de critères issus des codes de conception ou conformes à l'état de l'art, ou d'évaluations conservatives sur la base d'essais.

Pour les trois types d'ancrages visés par le guide ancrages, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF retienne de manière systématique l'hypothèse de fissuration du support en béton en l'absence de justification de la maîtrise de l'état de fissuration du béton pendant et après le séisme. **Ce point fait l'objet de la recommandation n°1 présentée en annexe.**

S'agissant de l'utilisation de **coefficients de comportement** appliqués aux matériels et aux éléments de structures, l'IRSN estime que les éléments présentés au cours de l'expertise et dans la mise à jour du guide ancrages sont acceptables.

S'agissant de l'utilisation de **coefficients de ductilité**, l'IRSN estime que l'occurrence des phénomènes d'adaptation ou d'endommagement n'est pas certaine a priori dans les éléments de structure ou dans les éléments constituant leur ancrage. En outre, la représentativité des essais de détermination des coefficients de ductilité de tiges d'ancrages présentés par EDF n'est pas acquise au regard des effets potentiels défavorables des endommagements et des jeux significatifs induits par les déformations locales. Ainsi, l'IRSN considère que les éléments présentés par EDF ne sont pas suffisants pour justifier l'application a priori de coefficients de ductilité pour le calcul des efforts aux ancrages des SSC du noyau dur, ou pour l'évaluation de la capacité de la résistance de ces ancrages. **Ce point fait l'objet de la recommandation n°2 présentée en annexe.**

S'agissant de la **répartition des efforts entre les éléments d'un ancrage**, l'IRSN estime que la mise à jour du guide ancrages permet de s'assurer que les calculs sont effectués selon des données conformes à l'état réel in situ des dispositifs d'ancrage vérifiés et aux principes généraux de calcul de la répartition des sollicitations dans les ancrages par le biais d'une plaque support considérée rigide. **L'IRSN considère que ces dispositions concourent à une évaluation conservatrice des efforts dans les ancrages, ce qui est satisfaisant.**

Concernant les chevilles d'ancrage, EDF présente deux méthodes de détermination de la capacité résistante des chevilles à l'égard d'un séisme de niveau SND : une première méthode dite simplifiée, qui s'appuie sur une transposition des bases de données américaines aux ancrages présents sur le parc nucléaire français (méthode GIP), et une méthode dite avancée qui correspond à un diagnostic plus détaillé nécessitant une connaissance précise des caractéristiques des chevilles en place.

Ces deux méthodes s'appuient sur des éléments méthodologiques similaires, mais se différencient toutefois par certains points, qui nécessitent de la part d'EDF des justifications complémentaires ; ceci concerne notamment la valorisation, avec la méthode simplifiée, d'une profondeur d'ancrage des chevilles plus importante que la valeur minimale préconisée par les fournisseurs, qui fait l'objet de la recommandation n°3 présentée en annexe.

L'IRSN estime que le rapport de synthèse, annoncé par EDF pour fin 2019, présentant la comparaison des deux méthodes de détermination de la capacité résistante des chevilles pour un panel de chevilles représentatif des chevilles présentes sur le parc nucléaire français, devrait permettre de démontrer que la méthode simplifiée GIP est transposable aux chevilles présentes sur le parc nucléaire français. Ceci permettra in fine de justifier le conservatisme des coefficients de pondération retenus et l'absence de prise en compte de coefficient de pondération lié à la nature des sollicitations sismiques, ce qui est satisfaisant.

S'agissant des **chevilles chimiques**, dont l'emploi a été déconseillé par la doctrine interne d'EDF, EDF précise dans la mise à jour du guide ancrages qu'il n'est pas applicable pour les chevilles chimiques, et que si une cheville de ce type est rencontrée, la justification sera faite au cas par cas.

En outre, en cas de réel problème d'identification des chevilles en place, EDF retient une approche dite « minimaliste » **pour les chevilles dites inconnues**, qui permet de déterminer la capacité résistante d'une cheville si seuls le diamètre et la longueur d'ancrage sont connus. L'IRSN souligne que les éléments présentés par EDF au cours de l'expertise ont été intégrés dans la révision F du guide ancrages.

Pour ce qui concerne **les ancrages avec des tiges scellées**, en l'absence de codification pour la justification de la résistance de ce type d'ancrages, EDF propose une démarche fondée sur les documents réglementaires en cours de validation, les ouvrages techniques et les règles de l'art actuellement applicables au génie civil, les documents appartenant au référentiel de conception des réacteurs et des résultats expérimentaux.

Pour les tiges crossées dont le rayon de courbure ne vérifie pas les dispositions constructives règlementaires du BAEL 91¹, l'IRSN estime nécessaire que la condition de non écrasement du béton soit vérifiée.

Par ailleurs, l'IRSN souligne que les valeurs des coefficients de rugosité retenues par EDF pour l'évaluation de la capacité résistante des tiges scellées sont supérieures aux valeurs réglementaires usuelles, ce qui revient à majorer la capacité résistante des tiges scellées et n'est pas conservatif, et que les résultats des essais dont fait mention EDF pour justifier ces valeurs ne sont pas valorisables en l'état, notamment en l'absence d'un rapport d'appropriation de ces essais précisant leur domaine de validité, les limites d'utilisation de ces essais et la représentativité des essais réalisés par rapport aux caractéristiques des tiges scellées présentes sur le parc.

Enfin, en ce qui concerne la vérification de la résistance des soudures entre les tiges scellées et les platines, ou entre les plaques d'about et les tiges, l'IRSN estime qu'en l'absence de bêche une vérification des soudures vis-à-vis des efforts de cisaillement doit également être réalisée.

L'IRSN formule ainsi la recommandation n° 4 présentée en annexe afin qu'EDF prenne en compte les trois points précités.

Pour ce qui concerne **les ancrages avec des rails inserts**, EDF propose deux méthodes de vérification : l'une s'appuie sur une analyse des configurations standards rencontrées sur le parc nucléaire français, l'autre correspond à un diagnostic plus détaillé et nécessite une connaissance précise des caractéristiques des rails inserts mis en place. L'IRSN formule la recommandation n° 5 présentée en annexe afin que la nature du chargement (dynamique pour le séisme), soit prise en compte dans la détermination des efforts limites admissibles.

En conclusion de son évaluation, l'IRSN considère que le conservatisme des méthodes d'évaluation de la résistance sismique des ancrages des SSC proposées par EDF dans le guide ancrages n'est pas entièrement démontré en l'état malgré les éléments transmis par EDF dans le cadre de l'expertise menée. L'IRSN estime nécessaire pour ce faire que le guide soit complété en tenant compte des recommandations présentées en annexe, et que le rapport de synthèse des études comparatives permettant de justifier que la méthode simplifiée « GIP » est transposable aux chevilles du parc nucléaire français soit référencée dans le guide.

Guides relatifs aux matériels

Les méthodes d'évaluation de la robustesse sismique des SSC existants du noyau dur prenant pour hypothèse que les SSC sont conformes à leur référentiel, l'IRSN considère que la vérification de la conformité des SSC est un prérequis majeur et incontournable au regard de la fiabilité attendue des évaluations du comportement des SSC du noyau dur.

Les éléments transmis par EDF en ce sens au cours de l'expertise sont satisfaisants.

¹ BAEL 91 : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages en béton armé suivant la méthode des états limites.

Afin de démontrer la robustesse des matériels sous séisme SND, EDF propose une **démarche progressive**, commune à l'ensemble des guides relatifs aux matériels, qui, à l'issue d'une analyse préliminaire visant à quantifier l'augmentation du chargement sismique, met en œuvre une analyse simplifiée, suivie si nécessaire d'une analyse détaillée. Des renforcements ou des modifications sont envisagés lorsque la robustesse du matériel ne peut pas être démontrée à l'issue des analyses simplifiée et détaillée. Les analyses mises en œuvre dans cette démarche concernent le matériel lui-même et ses ancrages.

La démarche en différentes étapes envisagée par EDF n'appelle pas de remarque particulière de la part de l'IRSN et répond à l'aspect gradué de la prescription [ECS-ND9] de l'ASN.

L'**exigence de comportement associée à la robustesse sous séisme SND** est, selon les matériels considérés, le maintien de leur opérabilité, de leur capacité fonctionnelle, de leur étanchéité ou de leur stabilité.

Pour les matériels initialement qualifiés au séisme par essais (certaines machines tournantes, les organes de robinetterie, les matériels électriques), le critère associé à la robustesse en cas de SND est le respect du spectre de qualification sismique du matériel, qui démontre son opérabilité.

Pour les machines tournantes initialement qualifiées par calcul dont l'opérabilité est requise en cas de SND, les contraintes admissibles sont définies par les critères de niveau B du code RCC-M² (cas des pompes) et par la limite d'élasticité du matériau (cas des ventilateurs, compresseurs...).

Pour les autres matériels dont l'intégrité (cas des chemins de câbles), la capacité fonctionnelle (cas des gaines de ventilation) ou la stabilité (cas des matériels de manutention lourds) est requise en cas de SND, les critères considérés par EDF sont fondés sur la limite d'élasticité du matériau.

Ces critères n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.

Cependant, pour certaines machines tournantes dont l'étanchéité est requise en cas de SND ou pour les lignes de tuyauteries dont l'étanchéité ou la capacité fonctionnelle est requise en cas de SND, EDF effectue ses analyses en utilisant des critères de dimensionnement correspondant à des situations accidentelles, moins sévères (critères de niveau D du code RCC-M), les situations extrêmes affectant les matériels existants du noyau dur étant, selon EDF, des situations « *au-delà du dimensionnement* ». Dans le cas particulier des lignes de tuyauteries, ce critère est retenu même lorsque le dimensionnement initial a été effectué selon un critère plus sévère.

L'IRSN rappelle que les matériels existants appartenant au noyau dur doivent assurer leur fonction après le séisme avec un haut niveau de fiabilité, y compris en cas de répliques sismiques. Ainsi, l'IRSN considère que les critères pris en compte dans l'analyse doivent être tels que le comportement des matériels existants du noyau dur demeure dans le domaine élastique, quelles que soient les exigences fonctionnelles requises. Ceci n'est pas le cas des critères proposés par EDF, qui autorisent des déformations plastiques dont le cumul pourrait in fine provoquer des inétanchéités dans les zones où elles apparaissent. A fortiori, l'étanchéité ne peut pas être garantie en cas de répliques sismiques intervenant sur un matériel présentant déjà des déformations plastiques générées par un séisme SND. Dans le cas particulier des lignes de tuyauteries, dont le retour d'expérience post-sismique et les essais ont montré la capacité d'adaptation aux sollicitations sismiques, l'IRSN considère qu'EDF doit conserver les critères utilisés lors du dimensionnement initial. **Ce point fait l'objet de la recommandation n°6 présentée en annexe.**

Pour effectuer l'**analyse simplifiée**, EDF envisage de justifier la robustesse des matériels pour le SND au moyen d'**inspections sismiques**, alternativement à l'exploitation des dossiers de dimensionnement des matériels. L'IRSN note qu'EDF prévoit d'utiliser cette méthode dans son intégralité, ce qui est satisfaisant.

² RCC-M : règles de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires REP.

Dans le cas des lignes de tuyauteries analysées par exploitation du dossier de dimensionnement, EDF envisage de valoriser un **facteur de ductilité pour l'analyse des contraintes dans les lignes de tuyauteries**. L'IRSN rappelle qu'un abattement des contraintes sismiques est proposé par le code RCC-M, qui pourrait permettre dans la plupart des cas de dégager une marge suffisante pour justifier la robustesse des lignes de tuyauteries sous SND. **L'IRSN estime que cette possibilité doit être valorisée préférentiellement à tout autre facteur de marge pour la justification de la robustesse des lignes de tuyauteries.**

EDF envisage également de valoriser un **facteur de ductilité pour l'analyse des contraintes dans les supports des lignes de tuyauteries**. Compte tenu de l'importance du comportement des supports à l'égard de la robustesse des lignes de tuyauteries, et conformément à la recommandation n°2 présentée en annexe, **l'IRSN estime que le recours éventuel à un coefficient de ductilité qui serait appliqué sur la structure de supportage du matériel doit rester limité et être justifié, le cas échéant, au cas par cas.**

Dans le cas où une **analyse détaillée** est nécessaire pour justifier le comportement d'un matériel, EDF fait appel à des sources de marge et à des méthodes diverses, qui sont liées aux éléments disponibles dans le dossier de dimensionnement du matériel considéré.

L'IRSN considère que certaines approches proposées par EDF entrent dans le cadre des « *méthodes déterministes réalistes* » conformes aux prescriptions de l'ASN. **En revanche, l'IRSN considère que les calculs introduisant une part de comportement non linéaire, comme la plasticité, devront être détaillés et justifiés, le cas échéant, notamment pour ce qui concerne les critères associés au respect de l'exigence de comportement attribuée au matériel considéré.**

Enfin, concernant le **guide relatif aux engins de manutention lourds**, l'IRSN note qu'il vise uniquement à démontrer l'absence de chute de l'engin à vide en cas de SND, et qu'il sera appliqué aux seuls engins traités au titre des effets induits.

En conclusion, l'IRSN considère que les éléments méthodologiques relatifs aux matériels présentés par EDF sont acceptables dans leur principe, sous réserve de la prise en compte des recommandations présentées en annexe, visant à obtenir une meilleure confiance dans la démonstration de la fonctionnalité des SSC en cas de SND.

Pour le Directeur général et par délégation,

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe à l'Avis IRSN/2019-00133 du 19 juin 2019
Recommandations

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande que, pour évaluer la résistance au SND des chevilles, des tiges d'ancrage et des rails inserts, EDF retienne l'hypothèse de fissuration du support en béton en l'absence de justification que les chevilles, tiges ou rails demeurent implantés dans un béton non fissuré pendant l'événement sismique.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF retienne, dans ses guides techniques, le principe de déterminer les efforts appliqués aux ancrages des éléments de structures et des matériels, et d'évaluer la capacité résistante des ancrages de ces matériels, sans utiliser de coefficients de ductilité.

En cas d'utilisation de coefficients de ductilité dans les dossiers de justification des SSC du noyau dur vis-à-vis du SND, EDF présentera, au cas par cas, les limites de l'endommagement pris en compte et justifiera que celui-ci n'est pas préjudiciable au bon comportement des structures.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande qu'EDF retienne une valeur égale à 1 pour le coefficient RL d'évaluation du comportement dans la méthode simplifiée, pour les chevilles du parc nucléaire français n'ayant pas fait l'objet d'essais de qualification sismique.

Recommandation n° 4

L'IRSN recommande que, pour justifier la résistance au SND des ancrages par tiges scellées, EDF :

- vérifie la condition de non écrasement du béton pour les tiges crossées ne vérifiant pas les dispositions constructives réglementaires du BAEL 91 sur la courbure des crochets ;
- retienne les valeurs réglementaires des coefficients de rugosité ;
- en l'absence de bêches, vérifie la résistance des soudures des tiges scellées vis-à-vis des efforts horizontaux de cisaillement.

Recommandation n° 5

L'IRSN recommande qu'EDF évalue les effets d'un chargement dynamique sur l'évaluation de la capacité résistante des rails inserts.

Recommandation n° 6

L'IRSN recommande qu'EDF privilégie l'utilisation de critères de dimensionnement garantissant le comportement élastique des structures pour la justification au SND des machines tournantes existantes appartenant au noyau dur et pour lesquelles l'exigence d'étanchéité ou de capacité fonctionnelle est requise. L'utilisation de critères autorisant des déformations irréversibles devra être réservée aux cas où le comportement élastique ne pourrait pas être garanti et où des renforcements ne seraient pas envisageables ; pour ces cas, EDF devra justifier que l'étendue et le cumul des déformations irréversibles sont tels que la fonctionnalité des matériels est respectée, y compris en cas de réplique sismique. Dans le cas des lignes de tuyauteries, l'IRSN recommande qu'EDF conserve les critères utilisés lors du dimensionnement initial.