

Fontenay-aux-Roses, le 28 mai 2014

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN N° 2014-00209

**Objet :** Réacteurs électronucléaires - EDF

Instruction des études associées au réexamen de sûreté des réacteurs de 1300 MWe après 30 années de fonctionnement (VD3 1300)

Suffisance des études de sûreté et des modifications relatives au thème CFT 7 : « Vérification de la conception des ouvrages de génie civil »

**Réf. :**

1. Lettre ASN CODEP-DCN-2013-058497 du 22 octobre 2013
2. Avis IRSN/2013-00377 du 1<sup>er</sup> octobre 2013

Par lettre citée en référence 1, vous demandez l'avis et les observations de l'IRSN sur :

- la pertinence de la liste des ouvrages de génie civil sélectionnés pour l'examen de leur conformité ;
- l'acceptabilité des résultats des études de vérifications des ouvrages ;
- les exigences de sûreté vis-à-vis desquelles EDF vérifiera la conformité des bâtiments sélectionnés et la pertinence des contrôles envisagés par EDF ; en particulier, concernant le BAC<sup>1</sup> et le BTE<sup>2</sup>, EDF a seulement prévu des vérifications de type « inspection PBMP<sup>3</sup> » mais n'a pas prévu de vérifier le dimensionnement de ces bâtiments.

**Adresse courrier**

BP 17  
92262 Fontenay-aux-Roses  
Cedex France

**Dossier d'EDF**

**Présentation de la démarche d'EDF**

Dans le cadre du thème « Conformité des installations au référentiel » du réexamen de sûreté VD3 1300, EDF a présenté sa démarche de vérification de la conception des ouvrages de génie civil du palier 1300 MWe. Cette démarche comporte deux étapes.

La première étape de cette démarche consiste à sélectionner les éléments à vérifier selon une méthode de filtrage basée sur les exigences de sûreté attribuées aux ouvrages. Cette sélection s'opère à travers trois filtres :

<sup>1</sup> BAC : bâtiment annexe de conditionnement

<sup>2</sup> BTE : bâtiment de traitement des effluents

<sup>3</sup> PBMP : plan de base de maintenance préventive

**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

- un filtre « sûreté », qui sélectionne les ouvrages IPS<sup>4</sup> strictement nécessaires au repli et au maintien en état sûr de la tranche pour deux chemins de repli (petite brèche du CPP<sup>5</sup> et perte d'alimentation électrique externe MDTE<sup>6</sup>) ;
- un filtre « REX<sup>7</sup> », qui a pour objectif de faire un inventaire des études de vérification ou de réévaluation des ouvrages sélectionnés et d'identifier les problématiques récurrentes mises en évidence par des études réalisées sur les autres paliers. L'analyse du REX de la conception des ouvrages permet d'identifier ceux qui ont fait l'objet d'une réévaluation ou d'analyses complémentaires depuis la conception et qui, en conséquence ne sont pas retenus dans le cadre du thème CFT7 ;
- un filtre « chargements », qui consiste à retenir uniquement les ouvrages pour lesquels les chargements dimensionnants sont associés au domaine de fonctionnement accidentel et aux agressions externes ou internes.

La seconde étape de la démarche d'EDF consiste à s'assurer de la cohérence de l'ensemble des hypothèses, critères et des méthodes de dimensionnement et à vérifier, pour les éléments retenus à l'issue de la première étape, la pertinence de la méthode de dimensionnement eu égard au REX, à la conception et aux pratiques actuelles.

#### Conformité des ouvrages de l'îlot nucléaire

Le filtre « sûreté » conduit EDF à retenir tous les bâtiments de l'îlot nucléaire à l'exception du BW<sup>8</sup> pour le palier P4 (cf. Tableau 1 en annexe). Les ouvrages exclus pour le filtre REX sont le bâtiment réacteur avec ses structures internes, le bâtiment des auxiliaires de sauvegardes et des locaux électriques, les deux bâtiments « diesel » et le bâtiment combustible. Le filtre chargement ne permet pas de dédouaner d'ouvrages. Les ouvrages de l'îlot nucléaire finalement sélectionnés sont présentés ci-après.

##### ➤ *Pinces vapeur du palier P4*

La stabilité des pinces vapeur du palier P4 doit être garantie en cas d'explosion d'origine externe et sous séisme, notamment. Concernant l'explosion, EDF précise que les structures des pinces vapeur n'ont pas été dimensionnées pour ce cas de charge mais considère que, compte tenu du REX, leur conception est suffisamment robuste pour résister à une surpression de 50 mbar pendant 300 ms. Concernant le séisme, EDF indique que, pour les sites de Paluel et de Flamanville, la stabilité est démontrée pour le SMHV<sup>9</sup> uniquement, ce qui a conduit EDF à déclarer un écart de conformité et à envisager des travaux pour résorber l'écart. Les travaux de remise en conformité sont en cours.

##### ➤ *Radier du BAN<sup>10</sup> C de Flamanville*

EDF indique que l'analyse des documents de conception permet de valider l'applicabilité du calcul réalisé sur le palier 1300 MWe au radier du BAN C du site de Flamanville.

---

<sup>4</sup> IPS : important pour la sûreté

<sup>5</sup> CPP : circuit primaire principal

<sup>6</sup> MDTE : Manque de tension externe

<sup>7</sup> REX : retour d'expérience

<sup>8</sup> BW : bâtiment d'exploitation

<sup>9</sup> SMHV : séisme maximal historiquement vraisemblable

<sup>10</sup> BAN : bâtiment des auxiliaires nucléaires

➤ *Comportement sismique du BAN de Golfech*

A la conception, le BAN du site de Golfech n'a pas fait l'objet d'une analyse dynamique spécifique. Son dimensionnement tient compte :

- des efforts statiques enveloppes des sites de Cattenom, Belleville et Nogent ;
- de l'enveloppe des efforts sismiques sur les superstructures de l'étude « palier » ;
- des réactions de sol et coefficients de ballast statique et dynamique du site de Belleville, jugés représentatifs du site de Golfech ;
- des moments de renversement sismiques évalués à partir des études « palier » et « site » existantes pour évaluer le taux de décollement du radier.

EDF précise que ces différentes hypothèses présentent un caractère enveloppe, notamment le SDD<sup>11</sup> palier calé à 0,15 g et le module de cisaillement dynamique du sol, dont la valeur comprise entre 700 MPa et 1 700 MPa pour le site de Golfech, est couverte par la plage de l'étude palier comprise entre 500 MPa et 1000 MPa. EDF conclut que l'analyse de ces différentes hypothèses valide le dimensionnement du BAN de Golfech.

➤ *Rétentions PTR<sup>12</sup> des paliers P4 et P'4*

Concernant le palier P4, EDF indique que la chute d'avion a été prise en compte pour le dimensionnement des rétentions PTR. Cependant, la note de calcul étant absente du dossier d'origine, EDF a présenté les vérifications de résistance à la chute et conclut à la suffisance du ferrailage des rétentions PTR du palier P4.

Concernant le palier P'4, EDF précise que la chute d'avion n'est pas prise en compte pour le dimensionnement des rétentions PTR, en cohérence avec le RDS<sup>13</sup> du palier 1300 MWe (version VD2). Le radier est dimensionné par le SDD calé à 0,15 g et les voiles, par les cas de charges d'explosion et de rétention. EDF a présenté les vérifications de résistance à la chute d'avion des voiles des rétentions PTR du palier P'4 et conclut que le ferrailage vertical à la base des voiles est insuffisant. EDF précise que ceci n'est toutefois pas de nature à modifier l'analyse de sûreté dans la mesure où la robustesse des rétentions PTR à la chute d'avion n'est pas utilisée dans la démonstration de sûreté.

➤ *Bâtiment BW du palier P4*

Le bâtiment BW du palier P4, classé IPS, est dimensionné au séisme de niveau SDD et à l'explosion d'origine externe. EDF a reconstitué les données manquantes du dossier d'origine : la suffisance du ferrailage des voiles du bâtiment principal, ainsi que des voiles et des planchers de la tour d'accès a été vérifiée. EDF conclut à la stabilité du bâtiment BW du palier P4 en cas de séisme.

*Conformité des ouvrages de site hors îlot nucléaire*

Pour les ouvrages de site, hors îlot nucléaire, sélectionnés (cf. Tableau 2 en annexe), EDF a présenté les conclusions des vérifications de conformité. Dans l'ensemble, la conception et le dimensionnement de ces ouvrages sont conformes au référentiel de sûreté.

<sup>11</sup> SDD : séisme de dimensionnement

<sup>12</sup> PTR : système de traitement et de refroidissement de l'eau des piscines

<sup>13</sup> RDS : rapport de sûreté

### Démarche « séisme évènement » appliquée aux bâtiments

Dans le cadre du thème « Conformité des installations au référentiel » du réexamen de sûreté « VD3 1300 », EDF a présenté également la déclinaison pratique de la démarche « séisme évènement » aux bâtiments. Cette démarche a été élaborée suite à un évènement significatif pour la sûreté à caractère générique : « non tenue sismique au SMS<sup>14</sup> de la tour d'accès aux locaux électriques (LE) ». Pour les huit sites des paliers P4 et P'4, EDF sélectionne les ouvrages potentiellement agresseurs des bâtiments IPS à partir de l'analyse des plans de masse, des visites in situ et de la géométrie des ouvrages. Pour les premières tranches, EDF a sélectionné les ouvrages suivants, considérés potentiellement agresseurs :

- palier P'4 : bâtiment BW ;
- site de Paluel : passerelle du canal d'amenée, bâtiments H, H2, H3 et bâtiment entreprises ;
- site de Saint-Alban : passerelle inter-tranches ;
- site de Cattenom : aucun ouvrage de site agresseur potentiel.

EDF indique que le BTE n'étant pas nécessaire au repli en état sûr, il n'est pas considéré comme « cible ».

EDF précise que les vérifications de stabilité des ouvrages agresseurs seront effectuées sur plusieurs années en amont des VD3 de chacun des sites concernés. Les premières conclusions d'EDF sont présentées ci-après.

#### ➤ *Bâtiment BW du palier P'4*

Concernant le palier P'4, EDF indique que le bâtiment BW n'est pas classé IPS et n'a donc pas fait l'objet d'un dimensionnement au séisme. Les études de vérification du comportement sismique de ces bâtiments, entrepris par EDF dans le cadre de la revue de conception de la VD3, concluent à la stabilité d'ensemble des BW et à l'absence d'agression des bâtiments IPS voisins pour les séismes de site correspondant à l'enveloppe du SMF<sup>15</sup> et des SMS VD3 réévalués.

#### ➤ *Passerelle du canal d'amenée de Paluel*

EDF indique que les études sismiques de glissement d'ensemble et de résistance des éléments structuraux, complétées par des inspections du tablier, des piles et des culées, permettent de conclure à la stabilité de la passerelle sous SMS.

#### ➤ *Bâtiment H de Paluel*

L'analyse élastique linéaire du comportement sismique de la structure du bâtiment H, constituée d'une ossature poteaux-poutres, ne permet pas à EDF de conclure à sa stabilité. Toutefois, pour un état limite qualifié de « quasi-effondrement », EDF effectue une analyse non-linéaire basée sur les coefficients de ductilité locale des poteaux de la structure. EDF retient des coefficients de ductilité compris entre 3,52 et 12,14, sans dévoiler les détails de son analyse. En dépit de ces coefficients de ductilité, deux poteaux présentent un coefficient de sécurité inférieur à 1. En outre, EDF précise que le bâtiment H est constitué de plusieurs blocs séparés par des joints de dilatation. Son analyse ne concerne que les deux blocs identifiés comme agresseur des galeries SEC, le risque d'interaction entre

<sup>14</sup> SMS : séisme majoré de sécurité

<sup>15</sup> SMF : Séisme minimal forfaitaire

les blocs sous séisme étant pris en compte sous forme d'une force statique équivalente. Sur cette base, EDF conclut que la ruine du bâtiment H sous SMS est exclue.

➤ *Bâtiments H2 et H3 et bâtiment entreprises de Paluel*

EDF indique que les vérifications du comportement sous séisme des bâtiments H2, H3 et du bâtiment entreprises de Paluel permettent de conclure à leur stabilité sous SMS.

Analyse de l'IRSN

Exigences de sûreté

EDF retient, pour les vérifications de conformité, les exigences de sûreté du référentiel VD2, ce qui n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

L'IRSN note que le BTE est exclu par le filtre « sûreté » des vérifications de conformité. Le BAC, exclu également de la démarche vérification de conformité, n'est pas classé IPS et ne constitue pas un agresseur d'un ouvrage IPS. L'IRSN rappelle que les bâtiments BAC et BTE font par ailleurs l'objet d'une réévaluation de leurs exigences dans le cadre du réexamen VD3 1300.

**Ceci n'appelle pas de commentaire de la part de l'IRSN.**

Conformité des ouvrages de l'îlot nucléaire et des ouvrages de site

L'IRSN considère pertinente la liste des ouvrages sélectionnés par EDF dans le cadre de la vérification de leur conformité aux exigences applicables.

Par ailleurs, les études de vérification présentées par EDF n'appellent pas de remarques à l'exception des deux cas développés ci-après.

➤ *Pinces vapeur du palier P4*

Concernant les pincés vapeur, EDF ne présente qu'un diagnostic qualitatif du comportement mécanique des structures des pincés vapeur en cas d'explosion d'origine externe et n'apporte pas d'éléments de démonstration probants. A cet égard, l'IRSN estime que l'approche retenue par EDF, fondée sur l'analyse du REX constitué sur d'autres types d'installations et sur des essais, n'est pas démonstrative notamment pour les raisons suivantes :

- la nature des dégâts potentiels peut être différente car directement dépendante des caractéristiques des structures soumises à l'explosion (géométrie et matériaux), pour les structures en béton comme pour les structures métalliques ;
- la plupart des niveaux de surpression présentés dans le REX n'ont pas été mesurés, il ne s'agit que d'interprétations post-accidentelles réalisées sur la base de jugement d'expert.

**En conséquence, l'IRSN estime que, conformément à la position exprimée dans son avis en référence 2, la démarche retenue par EDF pour justifier la conformité des pincés vapeur vis-à-vis du risque d'explosion n'est pas recevable, la justification de seuils de découplage<sup>16</sup> devant se baser sur une analyse rigoureuse du comportement mécanique des structures des bâtiments « cibles » soumis aux chargements en pression, ce qui fait l'objet de la recommandation n°1 en annexe.**

<sup>16</sup> Un seuil de découplage constitue le chargement limite en dessous duquel l'endommagement de la structure est jugé faible, ce qui justifie qu'aucune justification par le calcul ne soit nécessaire pour des valeurs de chargement inférieures à ce seuil.

➤ *Rétentions PTR des paliers P4 et P'4*

EDF a indiqué que la vérification de la résistance à la chute d'avion des voiles des rétentions PTR du palier P'4 concluait à l'insuffisance du ferrailage vertical à la base des voiles, mais que cela n'avait pas d'incidence car la robustesse des rétentions PTR à la chute d'avion n'est pas utilisée dans la démonstration de sûreté.

Or, l'IRSN souligne que les RDS standards du palier 1300 MWe, aux éditions 1998, VD2 et VD3, mentionnent explicitement, sans différencier les paliers P4 et P'4, que les structures du bâtiment PTR qui assurent la rétention (les parties inférieures) sont dimensionnées à la chute d'un avion (de type CESSNA), et que le cuvelage de rétention est dimensionné par les projectiles externes (induits notamment par une chute d'avion) et non l'explosion.

**L'IRSN considère que l'absence de robustesse des structures de rétention des bâches PTR du palier P'4, mise en évidence par EDF, constitue une non-conformité à l'égard de la démonstration de sûreté. Ce point fait l'objet de la recommandation n°2.**

*Démarche « séisme évènement » appliquée aux bâtiments*

L'IRSN estime satisfaisante la vérification menée par EDF au titre de la prise en compte du « séisme évènement » sur les bâtiments IPS à l'exception du cas développé ci-après.

En effet, pour ce qui concerne le bâtiment H de Paluel, l'IRSN estime que les éléments de justification présentés par EDF, lui permettant de conclure à l'acceptabilité de la situation actuelle, sont insuffisants. Ainsi, les coefficients de ductilité, invoqués dans la justification présentée, sont largement supérieurs aux valeurs admises lors des réexamens de sûreté, notamment celles proposées par le guide AIEA n°28. EDF ne démontre d'ailleurs pas l'adéquation de ces coefficients avec les dispositions constructives de ferrailage nécessaires pour garantir dans les zones dissipatives l'absence de rupture par éclatement du béton et flambement des armatures comprimées, ce qui n'est pas acceptable.

Par ailleurs, les éléments présentés par EDF laissent supposer que les rotules plastiques se forment dans les poteaux plutôt que dans les poutres, ce qui est contraire aux principes de la protection parasismique des bâtiments. En effet, la dissipation d'énergie aux extrémités des poteaux conduisant à un endommagement localisé du béton, la fonction de supportage assurée par les poteaux ne pourrait être garantie compte tenu du risque d'instabilité de forme. Qui plus est, la formation de rotules plastiques dans la quasi-totalité des poteaux du bâtiment H et dans des traverses de portiques est de nature à conduire à des déplacements importants de la structure pouvant engendrer des scénarii d'instabilité d'ensemble compte tenu d'une part de la distorsion entre étages, d'autre part de la distorsion d'ensemble de la structure. EDF ne présente aucun élément permettant d'écarter ces phénomènes d'instabilité pouvant conduire à la ruine du bâtiment.

En outre, concernant le risque d'entrechoquement des blocs en cas de séisme, EDF retient une force statique équivalente dont l'évaluation n'est pas présentée. EDF n'apporte aucun élément quant au risque d'endommagement des poteaux de la structure lors de ces entrechoquements.

**En conclusion, l'IRSN estime que la démonstration de la stabilité d'ensemble du bâtiment H de Paluel apportée par EDF n'est pas recevable, ce qui fait l'objet de la recommandation n°3.**

Conclusions de l'IRSN

En conclusion, l'IRSN estime que, sous réserve de la prise en compte des recommandations en annexe, la vérification de la conception des ouvrages de génie civil (thème CFT7) des paliers P4 et P'4 du parc électronucléaire menée dans le cadre du réexamen de sûreté VD3 1300 MWe par EDF est satisfaisante.

Pour le Directeur général, par ordre,

Franck BIGOT

Adjoint au directeur de l'expertise de sûreté

Annexe à l'avis IRSN/2014-00209 du 28 mai 2014

**Recommandations**

Recommandation n° 1 :

L'IRSN recommande, afin de démontrer l'intégrité des structures des pinces vapeur soumises aux effets de surpression associés aux différentes sources d'explosion externes à l'îlot nucléaire, qu'EDF évalue le comportement mécanique des structures impactées par les différents scénarios d'explosion en tenant compte des ouvertures en façade (prises d'air et portes) et de l'aspect non uniforme des chargements en pression appliqués sur les éléments de structures.

Recommandation n° 2 :

L'IRSN recommande qu'EDF mette en conformité les structures de rétention des bâches PTR du train P'4 à l'égard des agressions à retenir fixées par le rapport de sûreté du palier 1300 MWe, en particulier vis-à-vis des chutes d'avions et des projectiles induits.

Recommandation n° 3 :

L'IRSN recommande, afin de garantir l'absence d'agression des galeries SEC par le bâtiment H de Paluel, qu'EDF démontre la stabilité d'ensemble de ce bâtiment, en tenant compte :

- de la capacité ductile de la structure en regard des dispositions constructives du ferrailage ;
- de la présence éventuelle de panneaux de remplissage entre les poteaux ;
- du risque d'endommagement des structures en cas d'entrechoquement entre les blocs ;
- des instabilités de forme (locale pour les éléments structuraux et globale pour l'ensemble de la structure).

Annexe à l'avis IRSN/2014-00209 du 28 mai 2014

Tableaux

Tableau 1 - Ouvrages sélectionnés par le filtre "sûreté"

Désignation de l'ouvrage		Palier P4	St-Alban	Palier P'4
Ouvrages de l'îlot nucléaire	Bâtiment réacteur (BR) avec les structures internes (SI)	X	X	X
	Bâtiment combustible (BK)	X	X	X
	Bâtiment des auxiliaires nucléaires (BAN)	X	X	X
	Bâtiment des auxiliaires de sauvegarde et des locaux électriques (BAS-BL)	X	X	X
	Les deux bâtiments « diesel »	X	X	X
	Bâtiment du réservoir PTR	X	X	X
	Bâtiment d'exploitation (BW)	X	X	Non retenu
Ouvrages de traitement des effluents	Bâtiment de traitement des effluents (BTE)	Sans objet	Non retenu	Non retenu
	Galeries de liaison du BAN au BTE	Sans objet	Non retenu	Non retenu
	Stockage des effluents liquides (KER-TER)	Non retenu	Non retenu	Non retenu

Tableau 2 - Vérifications des ouvrages de site sélectionnés

Vérification des ouvrages de site			
Site	Ouvrages	Vérifications effectuées	Principales conclusions d'EDF
Belleville	Seuil en Loire	Examen du dimensionnement et vérification vis-à-vis du séisme transversal	Conception validée
	Ouvrage de prise d'eau	Examen du dimensionnement, sans calculs complémentaires	Conception validée
	Conduite SEF <sup>17</sup> d'amenée d'eau brute	Vérification au séisme des galeries et des conduites	Déplacements et contraintes jugés acceptables
	Ouvrage d'appoint et de rejet	Vérification au séisme SNA <sup>18</sup> du voile supportant les cols de cygne des conduites SEE <sup>19</sup> et SEN <sup>20</sup>	Dimensionnement du voile assuré
Cattenom	Ouvrage de prise d'eau en retenue de Mirgenbach	Examen du dimensionnement, pas de calculs complémentaires	Stabilité des ouvrages et résistance des éléments structuraux assurées pour le SDD <sup>21</sup> NRC calé à 0,15g
	Ouvrage de rejet en retenue de Mirgenbach		
	Murets et dos d'âne entre aéroréfrigérants et îlot nucléaire		
Golfech	Barrage seuil aval en Garonne	Calculs de vérification, y compris au SDD	Stabilité des ouvrages et résistance des éléments structuraux assurées
Nogent	Ouvrage d'appoint et de rejet	Examen du dimensionnement, sans calculs complémentaires	Conception validée
	Barrage seuil aval en Seine		
Saint-Alban	Prise d'eau de sauvegarde	Examen du dimensionnement, sans calculs complémentaires	Conception validée
	Déversoir SEC	Calculs de vérification sous le séisme SMS <sup>22</sup>	Comportement satisfaisant

<sup>17</sup> SEF : Préfiltration eau brute

<sup>18</sup> SNA : séisme normal admissible correspondant au demi-spectre de dimensionnement (DSD) au sens de la RFS I.2.c

<sup>19</sup> SEE : circuit d'eau brute d'appoint complémentaire

<sup>20</sup> SEN : circuit d'eau brute des auxiliaires conventionnels

<sup>21</sup> SDD : Séisme de dimensionnement

<sup>22</sup> SMS : séisme majoré de sécurité