

Fontenay-aux-Roses, le 10 août 2015

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN N° 2015-00268

Objet : Réacteurs électronucléaires EDF. Centrales du Tricastin et de Fessenheim.
Robustesse sismique des ouvrages de protection contre l'inondation.
PT ECS 11 du 26 juin 2012

Réf. : 1. Lettre ASN CODEP-DCN-2014-022130 du 12 mai 2014
2. Lettre ASN CODEP-DCN-2011-010787 du 4 mars 2011

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a souhaité recueillir l'avis de l'IRSN sur « *l'étude de l'exploitant indiquant le niveau de robustesse au séisme des digues et autres ouvrages de protection des installations contre l'inondation et présentant selon ce niveau de robustesse les conséquences d'une défaillance de ces ouvrages, et les solutions techniques envisagées pour protéger les équipements du noyau dur.* », qui fait l'objet de la prescription technique ECS-11 notifiée à EDF par décision ASN du 26 juin 2012.

L'analyse réalisée par l'IRSN en réponse à cette demande, qui s'appuie notamment sur l'examen du dossier transmis par EDF, conduit aux conclusions présentées ci-après.

Définition par EDF des périmètres de l'étude

EDF définit comme suit les linéaires de digues ainsi que les ouvrages de protection du CNPE dont la rupture pourrait conduire à une inondation de la plateforme en cas de séisme extrême :

- pour le site du Tricastin, un linéaire d'environ 5 km situé le long du canal de Donzère Mondragon, entre le Point kilométrique (PK) 179,7 et le PK 185, comprenant les ouvrages du CNPE situés au droit du canal d'aménée ;
- pour le site de Fessenheim, un linéaire de digues de 9 km situé le long du Grand Canal d'Alsace (GCA), entre le PK 202 et le PK 211, comprenant les ouvrages du CNPE situés au droit du canal d'aménée.

L'IRSN n'a pas de remarque sur ce point.

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

Démarche d'étude retenue par EDF et analyses menées par l'IRSN

La démarche d'EDF se déroule en deux étapes :

- des reconnaissances géotechniques, réalisées en 2013, dont l'objectif est de préciser la nature et le comportement mécanique des matériaux constituant les digues. Ces reconnaissances permettent d'établir un ou plusieurs profils de calcul représentatifs des digues ainsi que des valeurs des paramètres mécaniques et hydrauliques des matériaux associés ;
- des analyses du comportement mécanique des ouvrages en cas de Séisme Noyau Dur (SND), permettant la vérification de différents critères de stabilité, et conduisant à un diagnostic de la robustesse sismique des ouvrages et à une évaluation de leurs éventuelles dégradations à la suite d'un séisme de niveau SND.

L'IRSN estime que le dossier présenté par EDF apporte une bonne compréhension du comportement des digues en cas de séisme de niveau SND, mais qu'il ne répond pas à toutes les interrogations relatives à la robustesse sismique des digues. En conséquence, l'IRSN a mené pour les deux sites concernés sa propre analyse, dont les objectifs sont les suivants :

- procéder à une analyse indépendante des données géotechniques disponibles ; recouper par d'autres méthodes les calculs d'EDF, afin d'accroître la confiance dans leurs résultats ;
- analyser la sensibilité des résultats à des variations des caractéristiques des matériaux ou des lignes piézométriques. En effet, les calculs dynamiques d'EDF, par nature complexes, n'ont pas permis d'effectuer ces études de sensibilité ;
- étudier des situations non retenues par EDF : réplique ou précurseur sismique, avec une éventuelle dégradation de l'étanchéité du talus amont des digues ;
- réaliser des calculs en capacité de la stabilité des digues, afin de vérifier l'absence d'effet falaise au-delà du SND, et de disposer d'éléments de jugement en cas d'évolution du niveau du SND à la suite du GP ECS « Aléas naturels noyau dur » ;
- évaluer les risques d'érosion interne des digues en terre.

Définition de l'aléa sismique

Les spectres du SND retenus par EDF pour sa réponse à la PT ECS-11 sont définis par une forme spectrale identique à celle des spectres VD3 900, établis par application de la RFS 2001-01, et une accélération à fréquence infinie (ou PGA) égale à 0,3 g pour Tricastin et 0,4 g pour Fessenheim. Ces spectres, ainsi que les accélérogrammes qu'EDF retient en vue des calculs temporels non linéaires des ouvrages, revêtent un caractère conventionnel dans la mesure où ils ne sont pas associés à un scénario sismologique précis, caractérisé par un couple magnitude-distance.

Pour ce qui concerne les accélérogrammes proposés par EDF, l'IRSN estime que les durées de phase forte de ces signaux, égales à celles des SMS dont ils proviennent, sont probablement trop courtes, ce qui est lié au caractère conventionnel des signaux. Néanmoins, l'IRSN a pu vérifier que la durée de la phase forte a peu d'influence sur la stabilité des digues étudiées. Par ailleurs, sur la base de sa propre analyse, l'IRSN confirme que ces accélérogrammes sont conformes aux préconisations du guide ASN 2/01.

En outre, il convient de rappeler que l'évaluation des spectres SND retenus par EDF pour sa réponse à la PT ECS-11 ne fait pas l'objet du présent avis de l'IRSN, mais est examinée dans le cadre de l'instruction en vue de la réunion du Groupe permanent réacteur relative aux « Aléas Noyau Dur ».

Robustesse sismique des digues du canal de Donzère Mondragon

L'IRSN estime que les reconnaissances géotechniques menées en 2013 par EDF sont dans l'ensemble adaptées au périmètre de l'étude et qu'elles ont permis d'améliorer notablement la connaissance des digues.

Pour ses études, EDF retient et modélise quatre profils type de digue correspondant aux principaux secteurs. L'IRSN considère que ces modélisations sont dans l'ensemble acceptables, mais relève que certaines particularités des digues n'ont pas été modélisées par EDF, et prend en compte ces aspects dans ses propres analyses.

Sur la base des investigations géotechniques et des études qu'il a réalisées, EDF conclut que l'ensemble des digues du canal situées dans le linéaire d'étude restent stables dans le cas d'un séisme de niveau noyau dur.

La robustesse sismique de digues en terre dépend essentiellement de l'ampleur des phénomènes de liquéfaction des sols qui peuvent apparaître au cours du séisme. L'IRSN confirme que les digues en rive droite du canal de Donzère situées entre le PK 179,7 et le PK 183,4, dont les matériaux limoneux ne sont pas liquéfiables, sont stables pour le SND retenu par EDF. Par ailleurs, l'IRSN considère que la capacité résistante de ces digues présente une marge significative.

Toutefois, l'IRSN considère sur la base de sa propre analyse, que la capacité de la digue dite « en gravier », située en rive droite du canal de Donzère Mondragon entre le PK 183,4 et le PK 183,9, pourrait être inférieure au SND, ou significativement supérieure à ce dernier, suivant les caractéristiques des matériaux sablo-graveleux qui la constituent, sur lesquelles pèsent des incertitudes.

Afin de lever cette réserve, l'IRSN considère qu'EDF doit compléter son dossier par des données d'identification (granulométrie et si possible densité relative) des matériaux de cette digue. Dans le cas où ces données indiqueraient une susceptibilité à la liquéfaction, des essais mécaniques et une analyse permettant une caractérisation suffisante du risque de liquéfaction de ces matériaux devraient être réalisés. Sur ce point, EDF s'est engagé à réaliser en 2016 des investigations géotechniques complémentaires sur cette digue « en gravier », sous réserve de l'accord de la CNR dans le cadre de sa convention en cours avec EDF sur les études Post Fukushima.

Robustesse sismique des ouvrages du CNPE du Tricastin, en continuité avec les digues du canal

En complément des études du comportement au SND des digues en amont et en aval des stations de pompage du CNPE, EDF présente une analyse de la robustesse sismique des ouvrages constituant le front de digue du canal d'amenée, à savoir les stations de pompage, de sauvegarde et de relevage des quatre tranches, six murs de soutènement et des rideaux de palplanches prolongeant quatre de ces murs de soutènement. EDF conclut que l'ensemble de ces ouvrages restent stables dans le cas d'un séisme de niveau noyau dur.

Par ailleurs, les études effectuées par EDF montrent que les déplacements différentiels déterminés entre les ouvrages sous SND restent faibles. Ceci garantit le maintien de l'étanchéité d'une part au

droit des joints inter-bâtimens, d'autre part entre les stations de pompage et les digues contiguës, dont le parement amont est constitué de rideaux de palplanches, ce qui est jugé satisfaisant.

L'IRSN n'a pas de remarque sur la méthodologie, les hypothèses et les conclusions présentées par EDF.

Robustesse sismique des digues du Grand Canal d'Alsace

Les reconnaissances menées en 2013 par EDF sur le linéaire d'étude du Grand Canal d'Alsace ont permis d'améliorer notablement la connaissance géotechnique des digues du secteur d'étude, excepté pour ce qui concerne les digues du canal de prise d'eau du CNPE pour lesquelles EDF n'a pas fourni de nouvel élément.

L'IRSN estime que la modélisation par EDF d'un profil unique de digue, fondée sur une zone critique qui a fait l'objet de nombreuses reconnaissances géotechniques, est globalement représentative de l'ensemble du linéaire d'étude. Toutefois, l'IRSN note que certaines particularités des digues n'ont pas été modélisées par EDF. Ces aspects sont pris en compte dans l'analyse réalisée par l'IRSN.

Sur la base des investigations géotechniques et des études qu'il a réalisées, EDF conclut que la stabilité des digues du canal situées dans le linéaire d'étude est assurée pour un séisme de niveau SND. EDF ajoute que les mouvements des digues au cours du séisme SND peuvent entraîner une dégradation de l'étanchéité de leurs talus amont.

L'IRSN considère que les conclusions d'EDF sont acceptables et estime, sur la base de sa propre analyse, que la capacité résistante du linéaire de digue étudié par EDF est significativement supérieure au séisme de niveau SND, dans l'hypothèse d'une secousse sismique isolée.

Toutefois, la robustesse sismique des digues en terre du Grand Canal d'Alsace dépend de l'ampleur des phénomènes de liquéfaction des sols qui peuvent apparaître au cours d'une secousse sismique. L'IRSN considère que, dans le cas des digues de Fessenheim, l'occurrence de deux secousses sismiques consécutives présente un risque spécifique car une dégradation de l'étanchéité amont, due à la première secousse, conduirait à la saturation en eau d'une partie du remblai sablo-graveleux de digue, rendant possible sa liquéfaction. Sur la base de sa propre analyse, et en retenant pour les remblais des digues des caractéristiques prudentes en raison du faible volume de données disponibles, l'IRSN estime que, si une première secousse en endommagerait l'étanchéité, la digue résisterait à une seconde secousse de l'ordre de 0,5 à 0,9 SND, suivant la densité supposée du remblai. Ces conclusions pourraient être précisées si les incertitudes pesant sur les caractéristiques des remblais des digues pouvaient être réduites.

Afin de réduire ces incertitudes, l'IRSN considère que le dossier d'EDF doit être complété par des données d'identification des matériaux des corps des digues, telles que des granulométries. Dans le cas où ces données indiqueraient une susceptibilité à la liquéfaction, des essais mécaniques et une analyse permettant une caractérisation suffisante du risque de liquéfaction de ces matériaux devraient être réalisés. Sur ce point, EDF s'est engagé à réaliser d'ici fin 2015 des mesures de granulométrie à partir des échantillons prélevés dans les digues du Grand Canal d'Alsace au cours de sa campagne de reconnaissances géotechniques de 2013, pour confirmer la nature des matériaux du corps de digue, ce qui est jugé satisfaisant.

Robustesse sismique des ouvrages du CNPE de Fessenheim, en continuité avec les digues du canal

En complément des études du comportement au SND des digues du GCA, EDF présente une analyse de la robustesse sismique des ouvrages constituant le front de digue du canal d'amenée de la centrale, à savoir la station de pompage, deux rideaux de palplanches et un batardeau.

L'IRSN n'a pas de remarque sur la méthodologie, les hypothèses et les conclusions présentées par EDF pour la justification des rideaux de palplanches et du batardeau.

Pour ce qui concerne la station de pompage, l'analyse pseudo-statique présentée indique que cet ouvrage pourrait glisser sur sa fondation au-delà de 0,85 SND (soit 0,26 g). EDF précise que la valeur du déplacement correspondant pourrait être égale à 6 mm pour une accélération à fréquence infinie égale à 0,35 g. Toutefois, EDF considère que les résultats obtenus sont très défavorables compte tenu des conservatismes liés d'une part à la méthode d'analyse pseudo-statique utilisée, d'autre part à l'absence de prise en compte de frottements latéraux et de butées des remblais sur la station de pompage. EDF conclut que les valeurs de déplacements calculés restent modérées et admissibles pour l'ouvrage et pour les rideaux de palplanches encadrants.

L'IRSN estime que la mise en évidence d'une instabilité par glissement de la station de pompage sur sa fondation n'est pas satisfaisante, malgré le caractère probablement conservatif de l'analyse présentée par EDF. Ce point fait l'objet de la recommandation n° 1 présentée en annexe.

Evaluation par l'IRSN des risques d'érosion interne dans les digues en terre

Dans le cadre de la PT ECS-11, EDF n'a pas présenté d'analyse complémentaire concernant le risque d'érosion interne dans les digues du canal de Donzère Mondragon et du Grand Canal d'Alsace, et a indiqué que ses analyses antérieures restaient valides.

Considérant que les phénomènes d'érosion interne sont parmi les causes les plus fréquentes de rupture des ouvrages hydrauliques en terre, et que leur apparition peut être activée par un évènement sismique, l'IRSN a analysé les risques d'érosion interne dans les digues, en particulier à la suite d'un séisme. En utilisant les méthodes les plus récentes proposées par la communauté scientifique, l'IRSN estime que le risque d'érosion interne dans les digues proches des centrales du Tricastin et de Fessenheim peut être écarté en exploitation normale comme en cas de séisme, sous réserve que la surveillance et l'entretien des ouvrages soient adaptés.

Surveillance et maintenance des digues du canal de Donzère Mondragon et du Grand Canal d'Alsace

Une surveillance et un entretien adaptés sont indispensables à la sécurité des digues en terre. En règle générale, la surveillance de ces ouvrages s'appuie sur une auscultation (le plus souvent à l'aide de piézomètres) et sur des contrôles visuels (rondes, visites). Des levés topographiques en crête et des mesures de débits de percolation peuvent compléter ces contrôles.

A l'occasion du GP Inondation externe de mars 2007, EDF a pris une position-action visant à obtenir de la part du concessionnaire du canal une garantie relative à la surveillance piézométrique des digues. L'ASN a rappelé à EDF en 2011 la nécessité de cette action par la demande C4 du courrier cité en seconde référence.

Sur la base des éléments partiels portés à sa connaissance, l'IRSN considère que la surveillance des digues du canal de Donzère Mondragon ne permet pas de garantir la pérennité de ces

ouvrages. En particulier, les piézomètres captant la nappe alluviale sous-jacente aux digues, ce dispositif n'est pas adapté à la surveillance des nappes perchées susceptibles de se développer dans les corps de digues limoneux. Par ailleurs, la périodicité trimestrielle des relevés piézométriques en usage en 2005 ne permet pas d'assurer qu'une anomalie dans ces ouvrages sera décelée à temps. Ce point fait l'objet de la recommandation n° 2 présentée en annexe.

Par ailleurs, l'IRSN n'a pas d'observation sur la surveillance et la maintenance des digues en rive gauche du Grand Canal d'Alsace situées dans le linéaire d'étude.

Surveillance et maintenance des ouvrages en front de CNPE

Sur les sites du Tricastin et de Fessenheim, des ouvrages de génie civil assurent la continuité des digues du canal de navigation, au droit du canal d'amenée de la centrale. Ces ouvrages sont des digues en remblai, des ouvrages de soutènement (rideaux de palplanches et murs en béton armé), et des structures en béton armé (stations de pompage, de relevage et de sauvegarde). Leurs dispositions de surveillance et de maintenance sont définies dans un programme local de maintenance préventive (PLMP).

Pour ce qui concerne les ouvrages en béton armé et les rideaux de palplanches, l'IRSN n'a pas d'observation sur les dispositions de surveillance décrites dans les PLMP des deux sites.

Pour ce qui concerne les digues en remblai situées de part et d'autre des stations de pompage, le programme local de maintenance prévoit, sur le site du Tricastin, un entretien de base et un relevé des piézomètres avec une périodicité trimestrielle, et sur le site de Fessenheim une inspection visuelle sommaire des berges avec une périodicité annuelle, ainsi qu'un contrôle piézométrique bimestriel de certaines zones de la digue. L'IRSN considère que ces périodicités ne sont pas conformes à l'état de l'art, et qu'elles ne permettent pas de garantir qu'une dégradation des digues sera identifiée à temps. Une périodicité de deux à quatre semaines est habituellement retenue pour les inspections de ce type d'ouvrage hydraulique. Ce point fait l'objet de la recommandation n° 3 présentée en annexe.

Conclusion

L'IRSN estime que la démonstration de la robustesse sismique des digues et des autres ouvrages de protection contre l'inondation est acquise, sous réserve de la prise en compte des recommandations en annexe, et de l'obtention de résultats favorables à l'issue des investigations et des analyses géotechniques qu'EDF s'est engagé à réaliser.

Pour le Directeur général de l'IRSN, par ordre,

Franck BIGOT

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Recommandations

Recommandation n°1 : robustesse sismique de la station de pompage de Fessenheim

Concernant la démonstration de la stabilité, sous séisme de niveau SND, de la station de pompage de la centrale de Fessenheim, l'IRSN recommande qu'EDF conforte ses conclusions à l'aide d'une analyse transitoire non linéaire analogue à celle présentée pour la station de pompage du CNPE de Tricastin.

Recommandation n°2 : dossier de surveillance des digues du canal de Donzère Mondragon

Afin de garantir le bon comportement dans le temps des digues du canal de Donzère-Mondragon et leur robustesse à un séisme de niveau SND, l'IRSN recommande le renforcement de leur surveillance.

Recommandation n°3 : surveillance des digues du canal d'amenée de Tricastin et de Fessenheim

Pour les sites du Tricastin et de Fessenheim, l'IRSN recommande qu'EDF augmente le nombre d'inspections visuelles et de relevés des piézomètres visant à assurer la pérennité des digues situées le long du canal d'amenée.