

Fontenay-aux-Roses, le 29 novembre 2017

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2017-00371

Objet : Site du Tricastin  
Centrale nucléaire d'EDF et INB d'AREVA  
Stabilité au séisme de la digue du canal de Donzère Mondragon

Réf. Lettre ASN CODEP-DCN-2017-045442 du 8 novembre 2017

Dans le cadre du retour d'expérience de l'inondation du site du Blayais en décembre 1999, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) avait relevé en 2007 une méconnaissance d'une partie des caractéristiques géotechniques d'un secteur de la digue du canal de Donzère Mondragon. La connaissance de ces caractéristiques est nécessaire à la justification de la stabilité de l'ouvrage au séisme, laquelle contribue à la protection des installations du site du Tricastin contre les risques d'inondation. Ce secteur, d'une longueur de 400 mètres et appelé « digue en gravier », est situé en limite nord de la centrale EDF du Tricastin.

EDF s'était alors engagé à réaliser des reconnaissances géotechniques de la « digue en gravier », ainsi qu'à renforcer la surveillance du niveau d'eau dans cette digue, qui est un paramètre prépondérant pour sa stabilité au séisme.

En l'absence d'éléments transmis par EDF, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a formulé une demande en ce sens le 4 mars 2011. Après l'accident de Fukushima-Daiichi, l'ASN a prescrit à EDF un ensemble de dispositions ayant pour objectif de renforcer la résistance des centrales nucléaires à des événements extrêmes et a demandé en juin 2012 à EDF de réaliser, pour la centrale nucléaire du Tricastin, des études du niveau de robustesse au séisme des digues et autres ouvrages de protection de l'installation contre l'inondation.

En réponse, EDF a réalisé en 2015 et 2016 des reconnaissances géotechniques et une étude de la stabilité sismique de la « digue en gravier ».

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

## Défaut de stabilité sismique de la digue et traitement proposé par EDF

Sur la base de ces investigations, EDF a présenté en 2017 une étude qui a mis en évidence un défaut de stabilité au séisme majoré de sécurité<sup>1</sup> (SMS) de la « digue en gravier », sa stabilité au séisme maximal historiquement vraisemblable (SMHV) étant quant à elle démontrée. En outre, EDF a défini, à l'égard du comportement au SMS de la « digue en gravier », trois tronçons aux caractéristiques géotechniques distinctes :

- un tronçon amont situé entre le point kilométrique (PK) 183,37 et le PK 183,59, pour lequel les études d'EDF concluent que « *le niveau de déformation et de taux de liquéfaction est tel que sa stabilité n'est pas démontrée pour ce niveau de séisme* » ;
- un tronçon central situé entre le PK 183,59 et le PK 183,80, dont la robustesse sismique à un niveau supérieur au SMS a été confirmée lors d'une instruction antérieure de l'IRSN ;
- un tronçon aval situé entre le PK 183,80 et le PK 183,90, pour lequel les études d'EDF concluent que « *même si le taux de liquéfaction est réduit [...], les déformations et déplacements sur le parement sont suffisamment importants pour entraîner une déstructuration de la couche d'alluvions [...] et donc augmenter significativement les débits percolants dans la digue* ».

EDF et AREVA, exploitants des installations nucléaires de base (INB) du Tricastin, ont déclaré à l'ASN, respectivement les 18 et 22 août 2017, un événement significatif pour la sûreté relatif à ce défaut de stabilité de la digue au SMS.

Ces éléments ont conduit l'ASN à prescrire notamment la mise à l'arrêt des réacteurs de la centrale nucléaire du Tricastin, leur redémarrage étant soumis à son accord préalable. Dans ce cadre, EDF a mené des investigations géotechniques complémentaires, a réalisé des travaux de renforcement et a justifié la stabilité de la « digue en gravier » au SMS. Par ailleurs, EDF a indiqué envisager des travaux de renforcement complémentaires, de manière à garantir la stabilité de la digue au séisme noyau dur (SND<sup>2</sup>).

Concernant le tronçon amont, le mécanisme de défaillance redouté est une instabilité du talus amont<sup>3</sup> et du talus aval, avec un affaissement conduisant à une perte de revanche<sup>4</sup> et une surverse<sup>5</sup> de la digue. Ce phénomène entraînerait rapidement la formation d'une brèche et une inondation du site nucléaire du Tricastin. EDF a réalisé un renforcement de ce tronçon de digue par la mise en place d'un remblai sur son talus aval, d'une largeur d'environ 30 m. EDF considère que cette solution garantit la stabilité de ce tronçon en cas de séisme de niveau SMS, suivi d'une réplique de niveau SMHV.

Concernant le tronçon aval, le mécanisme de défaillance redouté en cas de séisme est une instabilité du talus amont uniquement. Néanmoins, cette situation entraînerait une perte d'étanchéité du talus amont occasionnant des écoulements dans la digue susceptibles de causer une érosion interne. Une telle érosion interne accroîtrait fortement le risque d'instabilité du talus aval, notamment en cas de réplique sismique. EDF considère que le seul mécanisme d'érosion interne possible mettrait plus d'une semaine à se développer.

---

<sup>1</sup> Le séisme maximal historiquement vraisemblable (SMHV) correspond au séisme le plus pénalisant susceptible de se produire sur une durée d'environ 1000 ans, évalué sur la base des séismes historiquement connus. Le séisme majoré de sécurité (SMS) est défini en ajoutant conventionnellement 0,5 à la magnitude du SMHV ; il est retenu pour le dimensionnement au séisme des installations nucléaires.

<sup>2</sup> Séisme noyau dur : séisme extrême pris en compte pour le noyau dur des installations, défini après l'accident de Fukushima-Daiichi.

<sup>3</sup> Versant de la digue en contact avec l'eau du canal.

<sup>4</sup> Pour un ouvrage retenant de l'eau, tel qu'un barrage ou une digue, la revanche est l'écart en altitude entre la crête de l'ouvrage et le niveau du plan d'eau.

<sup>5</sup> Écoulement de l'eau du canal par-dessus la crête de la digue.

De ce fait, EDF ne prévoit pas de renforcement équivalent à celui réalisé sur le tronçon amont. En revanche, EDF prévoit, dans le cas où un séisme surviendrait, de renforcer la surveillance de ce tronçon et de mettre en place, le cas échéant, des massifs de matériaux filtrants et drainants de manière à traiter les zones de fuite. Ces recharges curatives localisées, qui pourraient être mises en place en quelques jours par EDF, permettraient, d'une part de réduire les écoulements d'eau pouvant conduire à une érosion interne, d'autre part de stabiliser le talus aval grâce à leur poids. À cet effet, des moyens de manutention et les matériaux nécessaires sont d'ores et déjà positionnés sur la digue. EDF considère que ces mesures compensatoires garantissent la stabilité de ce tronçon en cas de SMS, suivi d'une réplique de niveau SMHV.

### Demande de l'ASN

Par lettre citée en référence, l'ASN demande l'avis de l'IRSN :

- sur le caractère suffisant des investigations géotechniques complémentaires effectuées par EDF pour caractériser les profils géotechniques nécessaires à l'analyse de la stabilité de cette portion de digue ;
- concernant le tronçon amont de la « digue en gravier » :
  - sur les conclusions qu'EDF retient de l'analyse de la stabilité sismique et post-sismique du tronçon après le renforcement,
  - sur l'adéquation de la longueur du renforcement ;
- concernant le tronçon aval de la « digue en gravier » :
  - sur les conclusions qu'EDF retient de l'analyse de la stabilité sismique et post-sismique du tronçon, l'analyse de l'IRSN devant, le cas échéant, intégrer les résultats des investigations géotechniques complémentaires,
  - sur les conclusions d'EDF concernant la cinétique du phénomène d'érosion interne du tronçon en cas de séisme et la stratégie d'EDF visant à mettre en place des recharges curatives en pareil cas.

L'ASN souhaite également recueillir l'avis de l'IRSN sur la robustesse de la « digue en gravier » (en tenant compte du renforcement du tronçon amont et des résultats des investigations géotechniques complémentaires) en cas de répliques sismiques de niveau SMHV et, en particulier, dans ces situations, sur les risques d'érosion interne susceptibles d'entraîner ensuite une inondation du site du Tricastin.

### Analyse de l'IRSN

#### Investigations géotechniques

Les campagnes de reconnaissance géotechnique réalisées par EDF comprennent des essais in situ et des essais en laboratoire permettant de caractériser les matériaux constitutifs de la « digue en gravier ». Elles ont mis en évidence des couches de sable pouvant se liquéfier<sup>6</sup> en cas de séisme. L'IRSN considère que ces investigations sont dans l'ensemble suffisantes pour caractériser les profils géotechniques nécessaires à l'analyse de la stabilité au SMS de la « digue en gravier » renforcée.

---

<sup>6</sup> La liquéfaction est un phénomène dû à l'augmentation de la pression de l'eau interstitielle dans un sol saturé en eau lorsque celui-ci est soumis à un cisaillement statique, cyclique rapide ou sismique en l'absence de drainage. Cela conduit à une perte de résistance du sol et à son écoulement.

Toutefois, s'agissant de la couche sablo-limoneuse située à la base du corps de digue, le manque de données issues notamment d'essais en laboratoire ne permet pas d'évaluer de manière suffisamment précise son caractère liquéfiable. En outre, le manque de reconnaissances en pied de digue ne permet pas de connaître l'étendue de cette couche sablo-limoneuse. Or, le comportement mécanique et la stabilité de la digue en cas de séisme dépendent principalement de l'étendue des couches de sable dans le corps et en pied de digue. Pour un séisme de niveau SMS, éventuellement suivi de répliques de niveau SMHV, la liquéfaction de cette couche sablo-limoneuse est peu probable. Pour un séisme plus important, la liquéfaction de cette couche est en revanche redoutée. **L'IRSN estime nécessaire qu'EDF complète la caractérisation de la couche sablo-limoneuse située à la base du corps de digue, en vue du renforcement au SND. Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 1 en annexe.**

#### Stabilité sismique et post-sismique

Pour démontrer la stabilité à un séisme de niveau SMS, suivi d'une réplique de niveau SMHV, du tronçon amont renforcé et du tronçon aval de la « digue en gravier », EDF a présenté des études du risque de liquéfaction des matériaux constituant la digue, des analyses dynamiques non-linéaires et des analyses statiques post-sismiques. EDF en conclut qu'un séisme de niveau SMS pourrait occasionner des désordres, mais que ces désordres ne sont pas de nature à remettre en cause la protection assurée par la digue contre les risques d'inondation de la centrale nucléaire du Tricastin et des INB d'AREVA.

Le dossier d'EDF utilise un ensemble de données géotechniques qui présente, par nature, des incertitudes. Il ne retient néanmoins qu'un cas de référence par tronçon, fondé sur un seul jeu de données. Après avoir mené sa propre analyse des données géotechniques, l'IRSN a réalisé des calculs pour un ensemble de configurations, de manière à apprécier l'influence des incertitudes sur les conclusions des analyses du risque de liquéfaction, de la stabilité dynamique et de la stabilité statique post-sismique des différents tronçons.

Concernant le tronçon amont de la « digue en gravier », l'IRSN considère, sur la base de ses propres analyses, que le renforcement mis en œuvre ne s'oppose que modérément aux phénomènes de liquéfaction des couches sableuses présentes dans ce tronçon. Toutefois, ce renforcement en limite les conséquences car il apporte un élargissement significatif de la digue. L'IRSN considère que le risque de brèche dans la digue renforcée, en cas de séisme de niveau SMS, est écarté. Toutefois, des glissements affectant le remblai de renforcement aval, voire le talus amont en cas de dégradation de son étanchéité, ne peuvent pas être écartés.

Concernant le tronçon aval de la « digue en gravier », qui n'est pas renforcé, l'IRSN considère, sur la base de ses propres analyses, qu'un séisme de niveau SMS ne conduirait pas à la formation d'une brèche, malgré des glissements possibles affectant le talus amont. Ce résultat apparaît néanmoins sensible au niveau piézométrique<sup>7</sup> dans la digue, qu'il conviendra en conséquence de surveiller. **Ce point est repris dans la recommandation n° 2 en annexe.**

Par ailleurs, pour ce tronçon, les risques d'érosion interne ou de glissements de talus associés à des répliques sismiques multiples de niveau SMHV sont maîtrisés par la réparation des désordres qui seraient apparus, ainsi que le prévoit EDF avec les moyens qu'il a positionnés sur la digue. En effet, les recharges curatives sont des réparations usuelles dans le domaine des ouvrages hydrauliques.

**Compte tenu de ces éléments, l'IRSN estime suffisante la longueur du renforcement de la « digue en gravier » mis en œuvre par EDF pour assurer sa stabilité au SMS.**

---

<sup>7</sup> Niveau de la nappe d'eau, observé dans l'ouvrage.

### Risque d'érosion interne

S'agissant du risque d'érosion interne induit par la dégradation de l'étanchéité du talus amont de la digue en cas de séisme, EDF indique que seules l'érosion de contact<sup>8</sup> et la suffusion<sup>9</sup> sont à craindre. Or, il s'agit de mécanismes lents qui peuvent être détectés par une surveillance adaptée de l'ouvrage et palliés, comme indiqué précédemment, par des confortements locaux à réaliser en cas de détection.

Pour l'IRSN, les risques d'érosion interne apparaissent faibles, et seraient de toute façon maîtrisables par un traitement adapté des désordres éventuels après une secousse sismique. Cependant, **la prévention de ces phénomènes requiert une surveillance in situ régulière de l'ensemble de l'ouvrage. Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 2 en annexe.**

### Conclusion

**En conclusion de son analyse, l'IRSN estime que le renforcement de la « digue en gravier » et les dispositions prévues par EDF permettent de garantir l'absence de brèche, donc d'inondation de la centrale EDF et des installations d'AREVA, en cas de séisme de niveau SMS, suivi d'éventuelles répliques de niveau SMHV, sous réserve d'un programme de surveillance adapté, qui reste à préciser par EDF avant la divergence des réacteurs.**

Néanmoins, l'IRSN souligne que les analyses du comportement de la « digue en gravier » après renforcement ne mettent pas en évidence de marge pour un séisme supérieur au SMS. Ainsi, **en l'état du renforcement mis en œuvre, l'absence d'effet falaise au-delà du SMS et la stabilité au SND de la « digue en gravier » ne sont pas garanties. À cet égard, l'IRSN recommande qu'EDF mette en œuvre, dans les meilleurs délais, les renforcements nécessaires pour assurer la stabilité au SND de la « digue en gravier ». Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 3 en annexe.**

Pour le Directeur général et par délégation,

Thierry CHARLES

Directeur général adjoint

P. J. : 1

<sup>8</sup> L'érosion de contact résulte d'un écoulement traversant un sol grossier qui arrache les particules d'un sol plus fin et les entraîne vers l'aval à travers les vides entre les particules du sol grossier.

<sup>9</sup> La suffusion résulte d'un écoulement à travers un matériau à granulométrie discontinue qui permet à des particules libres de se déplacer à travers les vides entre les particules grossières.

## Recommandations

### Recommandation n° 1 :

En vue du renforcement au SND de la « digue en gravier », l'IRSN recommande qu'EDF précise, sous un an, le caractère liquéfiable de la couche sablo-limoneuse située à la base du corps de digue de la zone aval, ainsi que son extension latérale, à l'aide de reconnaissances géotechniques complémentaires et d'essais de laboratoire.

### Recommandation n° 2 :

L'IRSN recommande qu'EDF présente, avant la divergence des réacteurs du site du Tricastin, le programme de surveillance de la « digue en gravier » qui sera mis en œuvre jusqu'à la réalisation du renforcement de cet ouvrage au SND.

### Recommandation n° 3 :

L'IRSN recommande qu'EDF mette en œuvre, dans les meilleurs délais, les renforcements nécessaires pour assurer la stabilité au SND de la « digue en gravier ». Le dossier justificatif correspondant devra comprendre le programme de surveillance associé.