

Fontenay-aux-Roses, le 5 avril 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2022-00068

---

**Objet :** Réacteurs électronucléaires EDF - Tous paliers - Déclinaison du guide ASN n° 13 relatif à la protection des INB contre les inondations externes - Instruction de la SRI CGB.

---

**Réf. :** [1] Guide ASN n° 13 du 11 avril 2013.  
[2] Avis IRSN - 2019-00019 du 6 février 2019.  
[3] Avis IRSN - 2019-00282 du 13 décembre 2019.  
[4] Saisine ASN - CODEP-DCN-2022-002518 du 14 janvier 2022.

---

En avril 2013, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a publié le guide n° 13 en référence [1] relatif à la protection des installations nucléaires contre les inondations externes. Il remplace, pour les réacteurs électronucléaires, la méthodologie « REX Blayais » définie par EDF à la suite de l'inondation partielle du site du Blayais survenue lors de la tempête de décembre 1999.

Le guide ASN n° 13 est ainsi le référentiel « inondations externes » applicable en matière de protection des réacteurs vis-à-vis de ce risque. Il définit :

- la démarche d'identification et de définition des situations de référence à prendre en compte pour le risque d'inondation d'origine externe (SRI), susceptibles de conduire à une arrivée d'eau sur le site pouvant se propager à des locaux contenant des matériels importants pour la sûreté ;
- les méthodes préconisées pour la caractérisation des SRI retenues et pour la prise en compte des incertitudes ;
- les principes et les dispositions préconisés pour la protection des installations nucléaires contre l'inondation.

Dans le cadre du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe (RP4 900), les SRI Rupture d'un ouvrage de retenue (ROR), Intumescence (INT), Clapot (CLA), Crue sur un petit bassin versant (CPB) et Dégénération ou dysfonctionnements d'ouvrages, de circuits ou d'équipements (DDOCE) du guide ASN n° 13 ont été expertisées pour le site du Tricastin, de même que la SRI Niveau marin (NMA) pour les sites de Gravelines et du Blayais ainsi que la SRI DDOCE pour le site du Bugey (voir les avis en références [2] et [3]).

Par la lettre citée en référence [4], l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur la caractérisation de la SRI Crue sur un Grand Bassin versant (CGB) pour l'ensemble des sites électronucléaires d'EDF (hors Fessenheim).

En particulier, l'ASN souhaite que l'IRSN examine :

- la méthodologie employée par EDF pour définir le volet statistique de la SRI CGB (débit de référence<sup>1</sup> de la crue) ;
- la validité de cette méthodologie par rapport aux recommandations du guide ASN n° 13 ;
- la déclinaison de cette méthodologie sur les sites de Belleville, du Bugey, de Cattenom, de Chinon, de Chooz, de Civaux, de Cruas, de Dampierre, de Golfech, de Nogent, de Saint-Alban, de Saint-Laurent-des-Eaux ainsi que du Tricastin.

Le présent avis ne traite ainsi que de l'évaluation du débit de référence de la crue, pour les différents sites examinés. La définition des hydrogrammes de référence, des modèles hydrauliques et *in fine* des niveaux de référence associés à la SRI CGB, ainsi que les dispositions de protection mises en œuvre sur les installations associées à cette SRI, ne font pas partie du périmètre de l'expertise. Ces éléments ont été expertisés, par l'IRSN, pour le site du Tricastin à partir du débit de référence retenu par EDF, dans le cadre du réexamen RP4 900, et ont donné lieu à un certain nombre d'engagements d'EDF génériques dont la prise en compte n'est pour l'heure pas encore effective.

Sur la base du dossier initial de l'exploitant, complété d'éléments transmis au cours de l'expertise et d'engagements pris à l'issue de l'expertise, l'IRSN présente ci-après les conclusions de son évaluation sur les points susmentionnés, pour les 13 sites fluviaux susmentionnés répartis en 11 zones d'études (les sites de Belleville et de Dampierre d'une part ainsi que les sites de Cruas et du Tricastin d'autre part sont regroupés du fait de leur proximité).

## 1. DONNÉES

Pour définir les séries de débits au droit de chaque site considéré, EDF retient entre une et quatre stations de mesures hydrométriques, à la fois proches des sites et ayant des chroniques de données systématiques (mesurées en continu) qui sont suffisamment longues. Les chroniques systématiques reconstituées correspondent aux débits moyens journaliers et s'étendent sur des périodes allant de 59 ans à 155 ans. L'IRSN considère que les stations de mesure utilisées par EDF sont pertinentes et que les chroniques de données sont suffisamment longues et valides pour la plupart des sites. Néanmoins, pour les sites du Bugey et de Saint-Alban, des données complémentaires sont disponibles dans l'étude Plan Rhône<sup>2</sup> et pourraient compléter les chroniques de débits systématiques dans le cadre des prochains réexamens de sûreté. Sur ce point, EDF a indiqué au cours de l'expertise qu'il reconsidérerait les chroniques systématiques des sites sur le Rhône (c'est-à-dire Bugey, Saint-Alban, Cruas et Tricastin) en utilisant les résultats de l'étude Plan Rhône, **ce qui est satisfaisant.**

Selon le guide ASN n° 13, il est parfois nécessaire de corriger les débits influencés par certains ouvrages hydrauliques. Pour les sites concernés, EDF met en œuvre des corrections qui conduisent à augmenter les débits influencés par des ouvrages hydrauliques, **ce qui n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Afin de convertir les débits moyens journaliers en débits maximaux instantanés, utilisés dans les ajustements statistiques, EDF applique des coefficients de forme. Cette démarche est conforme aux préconisations du guide ASN n° 13. L'IRSN estime néanmoins que ces coefficients devront être réévalués pour les sites de Cattenom, de Chooz, de Nogent, de Saint-Alban, de Cruas et du Tricastin dans le cadre des prochains réexamens de sûreté.

À l'issue de l'expertise, EDF a indiqué qu'il appliquera un coefficient de forme réévalué sur les débits en tenant compte des données de crue les plus récentes dans le cadre des prochaines évaluations de la SRI CGB pour tous les sites. **Ce point fait l'objet de l'Engagement N° 1 d'EDF en annexe qui est satisfaisant dans son principe.**

<sup>1</sup> Le débit de référence est défini comme le débit maximal instantané associé à la crue millennale, en considérant la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70 % et majorée de 15 %, autrement appelé débit CMM (Crue Millennale Majorée).

<sup>2</sup> <https://www.plan-rhone.fr/publications-131/actualisation-de-lhydrologie-des-crues-du-rhone-1865.html?cHash=9612a85f6a0cf55232ff34ccbccabbab>

Les débits pour certains sites doivent en outre être corrigés au moyen d'un coefficient de Myer pour tenir compte de la différence de taille des bassins versants au droit du site et au droit de la station de mesure. Actuellement, cette correction est appliquée par EDF uniquement au site de Saint-Alban. Au cours de l'expertise, EDF a déterminé des coefficients de Myer pour les sites de Cattenom, de Nogent et de Dampierre, mais il a indiqué qu'il n'appliquerait pas la correction pour le site de Cattenom étant donné la marge existante entre le niveau maximum atteint pour le débit associé à la crue millennale majorée et le niveau de la plate-forme du site.

**L'IRSN considère que, dans le cadre des prochaines évaluations de la situation de référence pour le risque d'inondation « Crue sur un grand bassin versant » pour les sites de Cattenom, de Nogent et de Dampierre, EDF devra, pour une bonne application du guide ASN N° 13, appliquer un coefficient de Myer pour corriger les débits.**

Lorsque cela est possible, EDF complète ses chroniques de débits systématiques par des débits de crues historiques. L'IRSN estime qu'EDF devra mener une veille scientifique afin d'acquérir le plus de données historiques possible. En particulier, les données historiques disponibles de l'étude Plan Rhône devront être prises en compte pour les prochaines évaluations de la SRI CGB des sites du Bugey et de Saint-Alban, ainsi que les données historiques disponibles de la Base de Données Historiques sur les Inondations pour le site de Chooz. À l'issue de l'expertise, **EDF a pris sur ce point l'Engagement N° 2 en annexe qui est satisfaisant dans son principe.**

## 2. ANALYSE STATISTIQUE

Pour échantillonner les débits nécessaires aux ajustements statistiques, EDF utilise l'approche du renouvellement<sup>3</sup> préconisée dans le guide ASN n° 13, ce qui est satisfaisant. Néanmoins, dans cette méthode, il est nécessaire de définir un seuil de sélection des événements. L'échantillon de débits au-delà de ce seuil doit ensuite vérifier les critères de répartition uniforme des événements, d'homogénéité et d'indépendance, ce qui n'est pas systématiquement présenté par EDF. L'IRSN estime ainsi qu'EDF devra justifier le seuil de sélection des crues en présentant des études de sensibilité et en vérifiant les différents critères statistiques. À l'issue de l'expertise, **EDF a pris sur ce point l'Engagement N° 3 en annexe qui est satisfaisant dans son principe.**

Les ajustements statistiques d'EDF sont systématiquement réalisés au moyen de lois exponentielles (y compris exponentielles mélangées) ou de lois de Weibull, sur les débits simples, ou les débits élevés à certaines puissances pour imposer une courbure aux lois statistiques sans avoir à utiliser un nombre élevé de paramètres. L'IRSN estime que les ajustements d'EDF sont satisfaisants, mais qu'il devrait tester plus de lois statistiques sur les débits simples, y compris des lois à trois paramètres plus standards, et justifier les lois retenues. À l'issue de l'expertise, **EDF a pris sur ce point l'Engagement N° 4 en annexe qui est satisfaisant dans son principe.**

Pour ce qui concerne la méthode de calcul des intervalles de confiance, EDF utilise systématiquement la méthode Delta. Par ailleurs, pour les sites de Belleville et de Dampierre, l'intervalle de confiance a été calculé en faisant une approximation qui n'est pas justifiée selon l'IRSN. L'IRSN juge la méthode Delta acceptable, mais il estime toutefois qu'EDF devrait tester, dans le cadre des prochains réexamens de sûreté, d'autres méthodes pour le calcul des intervalles de confiance et prendre en compte l'ensemble des débits de l'échantillon statistique, en particulier quand ils sont ajustés avec une loi exponentielle mélangée.

À l'issue de l'expertise, EDF a indiqué que les lois exponentielles mélangées seront remplacées par des lois statistiques plus standards dans le cadre des prochaines évaluations de la SRI CGB. EDF a également précisé qu'une nouvelle méthodologie sera déployée pour le calcul de l'intervalle de confiance associé au débit millennial et qu'il justifiera *in fine* la méthode retenue parmi les différentes méthodes de calcul d'intervalles de confiance testées. **EDF a pris sur ce point l'Engagement N° 5 en annexe qui est satisfaisant dans son principe.**

---

<sup>3</sup> La méthode du renouvellement est une méthode statistique d'extrapolation à des valeurs extrêmes, qui consiste à ajuster des distributions sur les observations supérieures à un seuil (méthode également appelée Peaks Over Threshold ou méthode POT).

### 3. CHANGEMENT CLIMATIQUE

Dans le cadre de sa dernière veille climatique, EDF indique que, selon les conclusions du cinquième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), il n'y a pas d'augmentation des débits de rivière durant le 20<sup>ème</sup> siècle. Au cours de l'expertise, EDF s'est appuyé sur l'étude EXPLORE 2070, finalisée en 2012, qui montre une diminution significative globale des débits moyens annuels, mais qui ne met pas en évidence de tendance significative concernant l'intensité des crues décennales à l'échelle de la France. L'IRSN relève que le sixième rapport du GIEC, paru en 2021, indique quant à lui une tendance à la diminution des crues dans la partie Sud de la France, mais une augmentation des crues et en particulier des crues extrêmes pour le reste de la France. Malgré cette légère instationnarité sur les débits, EDF n'applique pas de correction liée au changement climatique. L'IRSN considère ce point acceptable étant donné les incertitudes autour de l'impact du changement climatique sur les crues, mais il estime qu'EDF doit continuer à effectuer une veille scientifique sur le sujet et à en tirer les enseignements dans le cadre de l'évaluation du débit de référence de la SRI CGB.

À l'issue de l'expertise, EDF a confirmé qu'il prévoit de continuer une veille scientifique sur l'impact du changement climatique vis-à-vis des crues extrêmes. EDF a précisé que le débit maximal instantané associé à la crue millennale est un paramètre climatique pour lequel il n'y a pas de consensus scientifique sur l'évolution des valeurs exceptionnelles en France et qu'il n'est pas pertinent de définir comment prendre en compte l'impact du changement climatique dans l'évaluation des crues extrêmes. Étant donné l'évolution de l'état de l'art, la variabilité des tendances selon les régions et les études considérées, les incertitudes autour de l'impact du changement climatique sur les crues sont fortes. **Compte tenu de ces incertitudes, l'IRSN juge la démarche d'EDF acceptable, mais il considère que la future veille climatique d'EDF devra intégrer les évolutions de l'état de l'art concernant l'impact du changement climatique sur les débits de crues extrêmes.**

### 4. CONTRE-CALCULS MENÉS PAR L'IRSN

Pour chacun des sites, l'IRSN a réalisé des contre calculs de débit de crue millennale majorée, d'une part, en retenant des hypothèses les plus proches possibles de celles d'EDF et, d'autre part, en utilisant des données ou méthodes alternatives jugées pertinentes.

À hypothèses proches, les résultats des contre-calculs sont dans la plupart des cas similaires aux valeurs retenues par EDF. Avec des hypothèses alternatives, les valeurs calculées par l'IRSN sont au maximum supérieures de 10 % aux valeurs déterminées par EDF, hormis pour le site de Golfech. En conséquence, l'IRSN juge que les débits de référence retenus par EDF pour la SRI CGB sont acceptables pour les sites de Belleville, de Dampierre, du Bugey, de Cattenom, de Chinon, de Chooz, de Civaux, de Cruas, du Tricastin, de Nogent, de Saint-Alban ainsi que de Saint-Laurent-des-Eaux.

Pour le site de Golfech, les résultats sont discutables. En effet, une rupture est observée dans la série de données utilisée par EDF, montrant un nombre plus important de crues avant les années 1950. De plus, les résultats peuvent être très variables selon les données systématiques et les données historiques utilisées. L'IRSN estime que, pour le site de Golfech, EDF doit réévaluer le débit de référence de la SRI CGB en confortant les débits systématiques et historiques des crues et en testant différentes méthodes et distributions statistiques.

À l'issue de l'expertise, EDF a précisé qu'il réexaminera la série de débits retenue pour le site de Golfech et qu'il actualisera le cas échéant la valeur du débit de référence de la SRI CGB, pour fin 2022. **Ce point fait l'objet de l'Engagement N° 6 d'EDF en annexe qui est satisfaisant.**

## 5. CONCLUSION

L'IRSN a évalué les études mises en œuvre par EDF pour définir les débits de référence associés à la situation de Crue sur un grand bassin versant (SRI CGB) pour l'ensemble des sites électronucléaires d'EDF (hors Fessenheim).

L'IRSN estime que les approches mises en œuvre pour déterminer ces débits de référence sont globalement satisfaisantes et conformes au guide ASN n° 13. Au vu des hypothèses retenues par EDF et des contre-calculs menés par l'IRSN, les débits de référence définis par EDF pour la SRI CGB sont acceptables pour l'ensemble des sites à l'exception du site de Golfech. Pour ce site, EDF s'est engagé, pour fin 2022, à réexaminer la série de débits et à actualiser le cas échéant le débit de référence, ce qui est satisfaisant.

L'IRSN estime toutefois que des compléments devront être apportés dans le cadre des prochaines évaluations de la SRI CGB. Ces points ont fait pour la plupart l'objet d'engagements de la part d'EDF, qui sont satisfaisants dans le principe. Il est à noter qu'EDF prévoit globalement d'apporter ces compléments lors du réexamen RP5 900 pour le palier 900 MWe. Pour les paliers 1300 MWe et N4, EDF prévoit de déployer ses actions lors des réexamens RP4 1300 et RP3 N4, sauf lorsque les études sont déjà soldées (site de Cattenom) ou lorsque de nouveaux développements méthodologiques sont envisagés (loi d'ajustement statistique à trois paramètres, intervalle de confiance), la mise en œuvre étant alors reportée lors des réexamens RP5 1300 et RP4 N4.

Enfin, l'IRSN estime qu'EDF devra corriger les débits pour prendre en compte le coefficient de Myer, dans le cadre des prochaines évaluations de la SRI CGB pour les sites de Cattenom, de Nogent et de Dampierre, conformément au guide ASN n° 13 et à sa déclinaison pour le site de Saint-Alban.

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

## ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2022-00068 DU 5 AVRIL 2022

### Engagements de l'exploitant

#### Engagement N° 1

Dans le cadre des prochaines évaluations de la SRI CGB, EDF appliquera sur les débits un coefficient de forme réévalué en tenant compte des données de crues les plus récentes, utilisées dans le cadre du réexamen pour réévaluer le débit millennial. Cette orientation sera retenue lors des reprises d'études réalisées pour les futurs réexamens :

- pour le palier 900 MWe, le réexamen qui intégrera l'action sera RP5 900 (pour le site de Cruas, le coefficient de forme réévalué sera intégré dès la VD4 900) ;
- pour le palier 1300 MWe, le réexamen qui intégrera l'action sera RP4 1300 ;
- pour le palier N4, le réexamen qui intégrera l'action sera RP3 N4.

#### Engagement N° 2

Pour les prochaines évaluations de la SRI CGB des sites du Bugey (en RP5 900) et Saint-Alban (en RP4 1300), EDF prendra en compte les données historiques de l'étude Plan Rhône, disponibles à la date de clôture des données d'entrée du réexamen.

De même, pour la prochaine réévaluation de la SRI CGB du site de Chooz (RP3 N4), EDF prendra en compte les données historiques de la Base de Données Historiques sur les Inondation (BDHI), disponibles à la date de clôture des données d'entrée du réexamen.

#### Engagement N° 3

Dans le cadre des prochaines évaluations de la SRI CGB, EDF :

- présentera, au sein de ses rapports, les études de sensibilité réalisées sur les seuils de sélection des crues avec la méthode de renouvellement ;
- vérifiera les critères d'indépendance, d'homogénéité et de répartition uniforme des débits sup-seuls. Dans le cas où l'un des critères ne serait pas vérifié, le non respect du ou des critères sera justifié ou un autre test statistique pourra être mis en œuvre ;
- justifiera le choix du seuil de sélection des crues in fine retenu, au regard des résultats obtenus selon les différentes méthodes statistiques testées.

Pour le palier 900 MWe, le réexamen qui intégrera l'action sera RP5 900. Pour le palier 1300 MWe, le réexamen qui intégrera l'action sera RP4 1300 sauf pour le site de Cattenom, dont les études amont RP4 sont déjà soldées et pour lequel le réexamen qui intégrera l'action sera RP5 1300. Pour le palier N4, le réexamen qui intégrera l'action sera RP3 N4.

#### Engagement N° 4

Pour les prochaines évaluations de la SRI CGB, EDF présentera, dans ses rapports, les différentes lois d'ajustement statistiques testées et justifiera la loi retenue *in fine*.

Pour le palier 900 MWe, le réexamen qui intégrera l'action sera RP5 900. Pour le palier 1300 MWe, le réexamen qui intégrera l'action sera RP4 1300 sauf pour le site de Cattenom dont les études amont RP4 sont déjà soldées et pour lequel le réexamen qui intégrera l'action sera RP5 1300. Pour le palier N4, le réexamen qui intégrera l'action sera RP3 N4.

Dans le cadre du déploiement d'une nouvelle méthodologie, EDF inclura dans ses tests une loi d'ajustement à trois paramètres. Le déploiement d'une nouvelle méthodologie relative aux lois d'ajustement statistique sera mis en œuvre à partir du réexamen RP5 900 (et décliné sur RP5 1300 et RP4 N4).

#### **Engagement N° 5**

Le déploiement d'une nouvelle méthodologie pour le calcul de l'intervalle de confiance associé au débit millennial sera mis en œuvre à partir du réexamen RP5 900 (et décliné sur RP5 1300 et RP4 N4). À partir de ces réexamens, EDF présentera, dans ses rapports, les différentes méthodes de calcul d'intervalles de confiance testées et justifiera la méthode retenue *in fine*.

#### **Engagement N° 6**

EDF réexaminera la série de débits de l'étude de Crue Millennale Majorée du site de Golfech et actualisera le cas échéant la valeur de la Crue Millennale Majorée retenue. Cette action sera réalisée pour fin 2022.