RAPPORT A LA COMMISSION D'ENQUETE DE L'ASSEMBLEE NATIONALE

SUR LA SURETE ET LA SECURITE NUCLEAIRES

*

ANOMALIES GENERIQUES DANS LE PARC ELECTRONUCLEAIRE

Bernard Laponche, association Global Chance – 31 mai 2018

*

Table des matières

INTRODUCTION 2

1. MALFAÇONS ET FALSIFICATIONS DANS LA FABRICATION DES EQUIPEMENTS 3
   1.1 LES DEMANDES DE L'ASN 3
   1.2 LES RESULTATS DE L'ENQUETE A FIN FEVRIER 2018 3
   1.3 ANOMALIE GENERIQUE 4

2. RISQUE DE PERTE DU CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT INTERMEDIAIRE EN CAS DE SEISME 5

3. CONCENTRATIONS DE CARBONE DANS L'ACIER DES GENERATEURS DE VAPEUR 6

4. RISQUE DE DEFAILLANCE D'ELEMENTS IMPORTANTS POUR LA PROTECTION EN CAS DE SEISME 8

5. RISQUE DE PERTE DE LA SOURCE FROIDE 9

6. NON TENUE AU SEISME DES ANCRAGES DES SYSTEMES AUXILIAIRES DES DIESELS DE SECOURS 11
   6.1 LES REACTEURS DE 1300 MW DE PUISSANCE ELECTRIQUE 11
   6.2 DES REACTEURS DE 900 MW DE PUISSANCE ELECTRIQUE 11

7. CORROSION DES VASES D'EXPANSION DES GROUPES DIESELS 13

8. RESISTANCE AU SEISME DE TABLEAUX D'ALIMENTATION ELECTRIQUE 15

9. RISQUE DE BLOCAGE DE GRAPPES DE COMMANDE 16

10. PREPARATION ET REALISATION DE TRAVAUX DE SOUDURE 18

11. TABLEAU RECAPITULATIF DES ANOMALIES GENERIQUES 19

CONCLUSION 20

ANNEXE : REACTEURS ET CENTRALES NUCLEAIRES EN FRANCE 21

INTRODUCTION

L'année 2016 a été marquée par un événement d'une importance exceptionnelle dans l'histoire du programme électronucléaire français : la découverte, à la suite de la détection d'une anomalie sur la cuve du réacteur EPR en construction à Flamanville, d'irrégularités, voire de falsifications, dans les dossiers de fabrication par Creusot Forge, filiale d'Areva NP, d'équipements importants pour la sûreté, implantés dans les réacteurs du parc des centrales nucléaires d'EDF.

La revue alors demandée par l'ASN à Areva NP puis à EDF des dossiers de fabrication de l'ensemble des pièces provenant de Creusot Forge, revue toujours en cours, a mis en évidence un nombre considérable de pièces posant d'éventuels problèmes de sûreté, présents dans la quasi totalité des réacteurs en fonctionnement. Cette affaire, dite des « dossiers barrés » a révélé une fragilité que personne n'avait soupçonnée, d'autant plus inquiétante que certains des équipements concernés sont réputés respecter le principe « d'exclusion de rupture », c'est-à-dire que leur défaillance est, par définition, impossible.

Ayant suivi le déroulement de cette opération de contrôle et de vérification, nous nous sommes intéressés de façon plus générale aux « anomalies génériques » touchant le parc électronucléaire entre le début de cette revue et aujourd'hui, soit durant la période allant de septembre 2015 à mars 2018. Une anomalie générique est un défaut portant sur un équipement que l'on retrouve sur plusieurs réacteurs et notamment sur les réacteurs français d'un même « palier »[1] de puissance du fait de leur identité de conception et de construction.

Cette note présente, après un bref point d'étape de cette revue des irrégularités de fabrication, les neuf autres anomalies génériques qui ont été identifiées sur cette période, dans l'ordre chronologique : le risque de perte du circuit de refroidissement intermédiaire en cas de séisme, la concentration de carbone dans l'acier de générateurs de vapeur, le risque de défaillance d'éléments importants pour la protection en cas de séisme, le risque de perte de la source froide, la non tenue au séisme des ancrages des systèmes auxiliaires des diesels de secours, la corrosion des vases d'expansion des diesels de secours, la résistance au séisme de tableaux d'alimentation électrique, le risque de blocage de grappes de contrôle. Chaque anomalie est présentée dans un chapitre particulier.

La plupart de ces anomalies génériques ont été classées aux niveaux 0, 1 ou 2 de l'échelle INES[2] de classement de 0 à 7 des incidents et accidents nucléaires en fonction de leur gravité. On sait, et cela est souligné par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), que cette échelle ne constitue pas un outil d'évaluation de la sûreté nucléaire et de la radioprotection mais a pour but de faciliter la perception par les médias et le public de l'importance des incidents et accidents nucléaire, essentiellement selon le critère des conséquences éventuelles en termes d'irradiation ou de contamination des travailleurs ou de la population.

Cependant, l'échelle INES est utilisée par l'ASN pour apprécier le risque de dégradation de la défense en profondeur assurant la sûreté du réacteur concerné. C'est ainsi qu'une anomalie générique sera classée en niveau 2 si la défaillance des équipement concernés pourrait entraîner un accident grave ou majeur avec fusion du cœur (voir par exemple la différence entre le classement en niveau 0 ou en niveau 2 dans le cas du risque de perte de la source froide). ***Il est important de noter que l'ASN ne compte qu'un incident pour chaque anomalie générique[3], alors que nous avons décomptés pour chaque réacteur concerné***.

[1] Voir en Annexe la liste des réacteurs électronucléaires classés en particulier par « paliers ».

[2] INES : *International nuclear event scale*.

[3] Voir par exemple le « Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2017 », page 141.

1. MALFAÇONS ET FALSIFICATIONS DANS LA FABRICATION DES EQUIPEMENTS[4]

1.1 Les demandes de l'ASN

A la suite de la détection en 2014 d'une anomalie sur la cuve de l'EPR[5] en construction à Flamanville, l'ASN a demandé à Areva NP de procéder à une revue de la qualité de la fabrication dans son usine de Creusot Forge (Saône-et-Loire).

Les premières investigations menées en 2016 sur ces dossiers ont permis d'identifier 89 irrégularités portant sur les réacteurs en fonctionnement d'EDF. L'ASN a alors demandé à EDF d'étendre la revue à l'ensemble des dossiers de fabrication des composants forgés dans cette usine.

Dans le cadre de la vérification des activités passées dans son usine de Creusot Forge, Areva NP a mis en évidence la présence de dossiers internes traçant des irrégularités dans la fabrication de composants d'équipements sous pression nucléaire[6]. Ces irrégularités, de natures très diverses, consistent en des incohérences, des modifications ou des omissions dans les dossiers de fabrication, relatives à des paramètres de fabrication ou des résultats d'essais. Certaines informations relatives au forgeage, au traitement thermique, aux essais mécaniques ou aux analyses chimiques n'étaient ainsi pas transmises au client de Creusot Forge et à l'ASN.

Dans sa note d'information du 23/09/2016, l'ASN précise : « *En tout état de cause, indépendamment de leurs conséquences réelles sur la sûreté, ces irrégularités mettent en lumière* ***des pratiques inacceptables*** *; les revues engagées par Areva NP doivent donc se poursuivre et sont susceptibles de mettre en évidence de nouvelles irrégularités. L'ASN s'assure que le processus de revue est conduit à son terme, notamment par des inspections au sein de Creusot Forge* ».

Cette revue étendue a pour objectif de détecter tout élément constituant un écart, soit par rapport aux exigences du référentiel technique choisi par le fabricant ou aux exigences internes à l'usine, soit aux exigences contractuelles ou réglementaires applicables au moment de la fabrication. Cette revue se poursuivra jusqu'au 31 décembre 2018.

L'ASN a prescrit également à EDF d'étendre le champ de la revue aux composants moulés (et pas seulement forgés) ainsi qu'aux autres composants importants – mais non nucléaires – fabriqués sur les sites du Creusot et aujourd'hui installés sur des réacteurs en fonctionnement.

1.2 Les résultats de l'enquête à fin février 2018

- En septembre 2016, Areva NP avait identifié 87 irrégularités portant sur les réacteurs en fonctionnement d'EDF, 20 portant sur des équipements destinés au réacteur EPR de Flamanville (en construction), une concernant un générateur de vapeur non encore installé destiné au réacteur 5 de la centrale nucléaire de Gravelines et 4 portant sur des emballages de transport de substances radioactives.

A la suite de ce premier recensement, l'ASN précise dans sa note d'information du 23 septembre 2016 :

« L'ASN mène sa propre analyse de chacune des irrégularités, en liaison avec l'IRSN. Son examen a porté en priorité sur les 23 cas présentant a priori le plus d'enjeux pour la sûreté :

- *pour 21 cas, l'ASN a conclu que les écarts identifiés ne remettent pas en cause la sûreté des équipements concernés ;*
- *l'ASN poursuit l'examen du cas portant sur un générateur de vapeur du réacteur 4 de la centrale nucléaire du Bugey, actuellement à l'arrêt, pour lequel l'ASN se prononcera avant son redémarrage ;*

[4] Référence : Notes d'information de l'ASN du 03/05/2016, du 23/09/2016 et du 19/09/2017.
[5] Note d'information de l'IRSN du 18 octobre 2016 et Note technique ASN du 28 juin 2017.
[6] Les dossiers mettant en évidence des falsifications ont été dénommés « dossiers barrés » du fait de leur signalement.

- *l'ASN a suspendu le certificat d'épreuve d'un générateur de vapeur du réacteur 2 de la centrale nucléaire de Fessenheim (voir note d'information du 19 juillet 2016). Cette suspension entraîne le maintien à l'arrêt du générateur de vapeur et, par conséquent, celui du réacteur. EDF et Areva NP ont décidé de réaliser des examens sur ce générateur de vapeur et un programme d'essais complémentaires, dans l'objectif de demander la levée de la suspension du certificat d'épreuve ».*

- En septembre 2017, le décompte par EDF des défauts affectant ses réacteurs était de 510 « anomalies » et 130 « non-conformités ».
Revue des dossiers de fabrication de 12 réacteurs : Chooz B2, Paluel 4, Saint-Laurent-des-Eaux B2, Penly 1, Cruas 3, Dampierre 3, Belleville 2, Tricastin 3, Chinon B3, Nogent 1, Gravelines 2 et Bugey 3.

- En février 2018, le dernier décompte de l'entreprise fait état de 1 063 « anomalies » et 233 « non-conformités » sur les équipements de 23 de ses réacteurs en fonctionnement .
Revue des 11 réacteurs supplémentaires : Fessenheim 2, Paluel 1 et 2, Cruas 2, Cattenom 1 et 3, Blayais 2, Tricastin 1 et 4, Gravelines 4 et Civaux 2. Avec 83 anomalies et 17 non-conformités pour 30 pièces fabriquées au Creusot, le réacteur de Cattenom est le plus affecté ; à l'opposé, Gravelines 4 est le moins affecté : 25 anomalies ont été découvertes sur 21 pièces et aucune non-conformité[7].

1.3 Anomalie générique

Cet « événement significatif générique pour la sûreté » constitue une dégradation de la défense en profondeur et accidents potentiels. Il a été classé au **niveau 1 de l'échelle INES** .

Cette anomalie est d'autant plus importante qu'elle peut concerner des équipements, notamment ceux du circuit primaire (cuve, pressuriseur, générateurs de vapeur, tuyauteries primaires, etc.) qui relèvent du principe dit « d'exclusion de rupture ». Cela signifie que leur rupture brutale en cours d'exploitation est considérée *a priori* comme impossible et n'est pas prise en compte dans les études de sûreté. Cela signifie que la démonstration de sûreté doit absolument garantir par la qualité de la conception, de la fabrication et de l'exploitation de ces équipements que leur rupture est effectivement impossible.
On se trouve alors, dans une situation de sûreté dégradée.

[7] Source : https://www.edf.fr/groupe-edf/nos-energies/nucleaire/segregation-carbone-et-dossiers-de-fabrication-creusot-forge/dossiers-de-fabrication

2. RISQUE DE PERTE DU CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT INTERMEDIAIRE EN CAS DE SEISME[8]

Le 12 novembre 2015, EDF a déclaré à l'ASN un évènement relatif à la tenue du circuit de refroidissement intermédiaire (RRI) des réacteurs nucléaires de 900 MW en cas de séisme.

Le circuit de refroidissement intermédiaire (RRI) permet de refroidir, en fonctionnement normal comme en situation accidentelle, l'ensemble des matériels et fluides des systèmes auxiliaires et de sauvegarde du réacteur. En particulier, le RRI refroidit les différentes parties mécaniques de pompes qui assurent la circulation de l'eau de refroidissement dans le circuit primaire, notamment par une circulation d'eau dans un serpentin traversant ces pompes. Le circuit RRI est situé en grande partie à l'extérieur de l'enceinte de confinement ; le serpentin des pompes primaires se trouve à l'intérieur. En cas de dégradation du serpentin, l'eau du circuit primaire pourrait y pénétrer sous forte pression.

Cet événement révèle un écart de conformité qui affecte les supportages des tuyauteries de la partie commune du circuit RRI. En cas de séisme, la perte de la fonction de refroidissement assurée par ce circuit est susceptible d'entrainer, d'une part, une brèche au niveau du circuit primaire du réacteur consécutive à la dégradation des joints des pompes primaires et, d'autre part, la perte du refroidissement de la piscine de désactivation du combustible usé.

EDF a engagé un programme de remise en conformité du circuit RRI qui nécessite, en amont, la **reprise des études de dimensionnement des ancrages et supports de plusieurs composants.**

Dans l'attente de la résorption de cet écart, l'ASN a demandé à EDF de mettre en œuvre des mesures compensatoires sur les réacteurs concernés. Celles-ci ont conduit EDF à modifier les procédures de conduite en situation d'accident et à requérir des moyens mobiles supplémentaires de refroidissement.

Cet événement qui concerne les réacteurs des centrales nucléaires du Blayais, de Chinon B, de Cruas-Meysse, de Dampierre-en-Burly, de Gravelines, de Saint-Laurent-des-Eaux et du Tricastin a été classé au **niveau 1 de l'échelle INES**.

[8] Référence : https://www.asn.fr/Controler/Actualites-du-controle/Avis-d-incident-des-installations-nucleaires/Risque-de-perte-du-circuit-de-refroidissement-intermediaire-en-cas-de-seisme

3. CONCENTRATIONS DE CARBONE DANS L'ACIER DES GENERATEURS DE VAPEUR

En juin 2016, l'ASN a annoncé que « *Certains fonds primaires de générateurs de vapeur pourraient présenter une zone de concentration importante en carbone pouvant conduire à des propriétés mécaniques plus faibles que prévues* ». Ce défaut, du même type que celui qui affecte le couvercle et le fond de la cuve de l'EPR, concerne des générateurs de vapeur (GV) installés sur 18 réacteurs de 900 et 1500 mégawatts (MW) de puissance électrique nette, fabriqués par Creusot Forge ou par l'entreprise japonaise « *Japan Casting and Forging Corporation* » (JCFC)[9].

L'ASN précise : « *Cette ségrégation du carbone doit normalement être éliminée de la pièce finale lors des opérations de forgeage, ce qui n'a pas été le cas lors de la fabrication des fonds susceptibles de présenter une anomalie* ».

Un générateur de vapeur (GV) est un échangeur thermique entre l'eau du circuit primaire, portée à haute température (320°C) et à pression élevée (155 bars) dans le cœur du réacteur et l'eau du circuit secondaire qui se transforme en vapeur qui alimente la turbine. Les réacteurs REP de 900 MW comportent trois générateurs, les réacteurs de puissance plus élevée en comportent quatre.

Les fonds primaires des générateurs de vapeur sont des pièces forgées qui ont la forme d'une demi-sphère constituant la partie basse des GV ; ils participent au confinement de l'eau du circuit primaire. Ces composants sont essentiels pour la sûreté. La qualité de leur conception, de leur fabrication et du suivi réalisé pendant l'exploitation est donc un enjeu important. Et cela d'autant plus que l'ensemble du GV constitue un équipement dit « **en exclusion de rupture** », ce qui signifie que sa défaillance n'est pas envisagée dans les études de sûreté du réacteur.

Sont concernés 46 fonds de GV dans 18 réacteurs, dont :

- Provenant de Creusot Forge : 20 fonds dans 9 réacteurs (Tricastin 3, Bugey 4, Saint-Laurent B1 et B2, Dampierre 2 et 4, Chinon B1 et B2, Blayais 1).
- Provenant de JCFC : 26 fonds dans 12 réacteurs (Civaux 1 et 2, Saint-Laurent B1, Dampierre 3, Bugey 4, Tricastin 1, 2, 3, 4, Fessenheim 1, Gravelines 2 et 4).

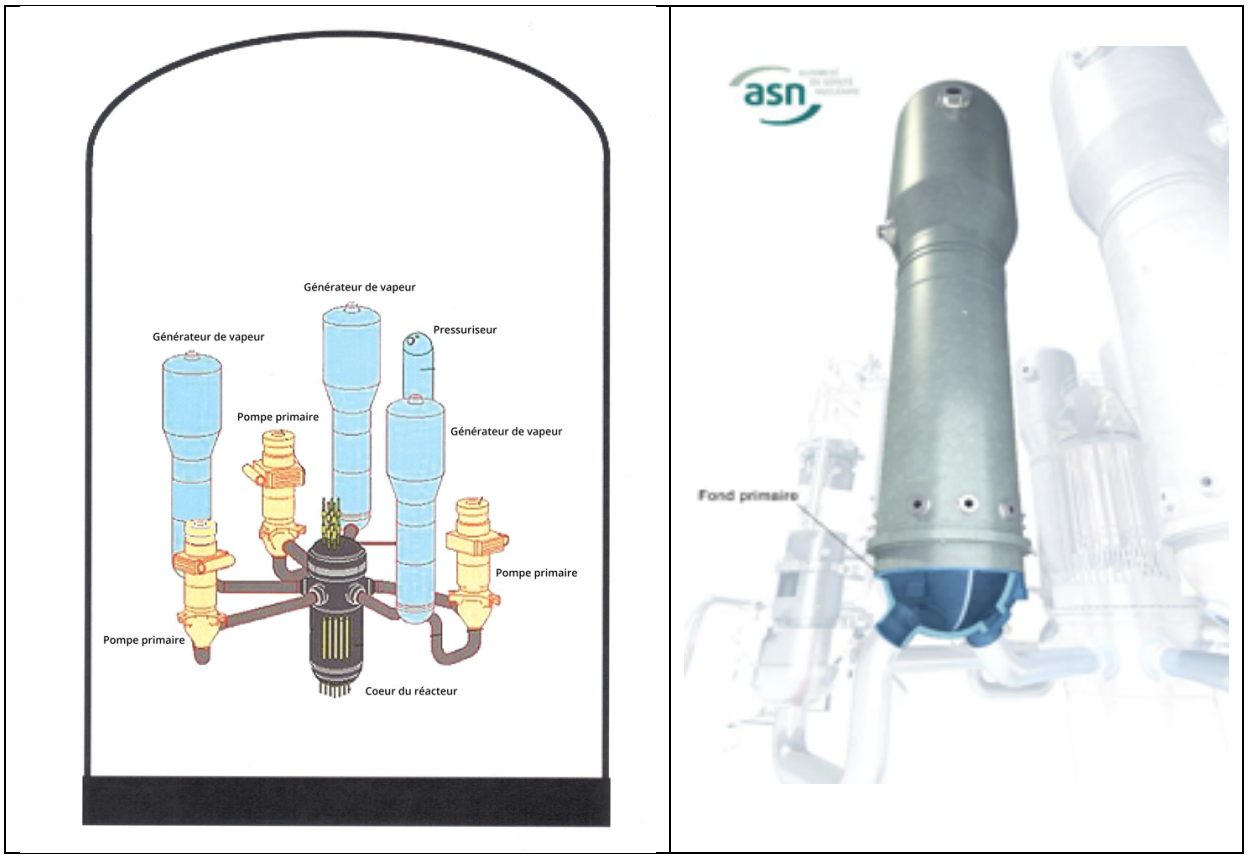
Fin 2016, début 2017, l'ensemble des réacteurs concernés ont été autorisés à fonctionner mais des **« mesures compensatoires » portant sur les conditions d'exploitation des réacteurs** ont été imposées par l'ASN à EDF pour 10 réacteurs équipés de GV d'origine JCFC : Bugey 4 ; Dampierre 3 ; Fessenheim 1 ; Gravelines 2 et 4 ; Saint-Laurent B1 ; Tricastin 1, 2, 3 et 4.

En particulier, EDF devra veiller à limiter l'amplitude des chocs thermiques subis par les fonds de GV. Cette contrainte l'obligera en particulier, lors des phases de mise à l'arrêt des réacteurs, à diviser par deux la vitesse de refroidissement du circuit primaire (14°C au lieu de 28°C par heure).[10]

[9] Les fonds de GV d'origine JCFC à partir de lingots de 90 et 120 tonnes présentent un risque avec l'intensité la plus forte.

[10] Sur l'ensemble des mesures compensatoires visant à limiter les chocs chauds et les chocs froids, voir l'avis de l'IRSN n° 2017-00014 du 13 janvier 2017.

Générateur de vapeur et son « fond » (en noir) concerné par l'anomalie.



Source : IRSN et ASN

Remarque :
Deux problèmes de nature différente mais portant également sur des défauts au niveau de la fabrication d'un générateur de vapeur sont à signaler sur deux réacteurs :
- Le réacteur Fessenheim 2 qui a été arrêté en juin 2016 du fait de la suspension[11] par l'ASN du certificat d'un GV en raison d'un grave défaut de fabrication[12] par Creusot Forge. Le même défaut a été identifié sur un générateur de vapeur de l'EPR de Flamanville, en construction.
- Le réacteur de Gravelines 5, où un GV neuf devant être installé, fabriqué par Creusot Forge, a été jugé non conforme par l'ASN. Le réacteur n'a été autorisé à redémarrer qu'en août 2017, avec un autre GV.

[11] Cette suspension a été levée en mars 2018.
[12] Chutage insuffisant de la masselotte du lingot d'acier.

4. RISQUE DE DEFAILLANCE D'ELEMENTS IMPORTANTS POUR LA PROTECTION EN CAS DE SEISME[13]

La sûreté des réacteurs électronucléaires repose sur un certain nombre d'équipements importants pour la protection (EIP). Ces équipements, qui contribuent à la prévention des risques, doivent être en capacité d'assurer leur fonction notamment en cas de séisme. Dans cette situation, certains matériels qui n'ont pas de rôle pour la sûreté et qui sont moins résistants, appelés « agresseurs », pourraient provoquer des dégradations sur des EIP, alors qualifiés de « cibles ».

Le 7 juillet 2016, EDF a déclaré à l'ASN un événement significatif pour la sûreté concernant le risque de défaillance d'éléments importants pour la protection en cas de séisme, du fait de la défaillance possible d'autres matériels situés à proximité. Concernant initialement les réacteurs de 900 MW et de 1300 MW cette déclaration a été étendue par EDF le 3 janvier 2017 aux réacteurs de 1450 MWe. Les 58 réacteurs du parc électronucléaire français sont donc concernés.

En réponse à une prescription de l'ASN formulée en 2012, chaque centrale nucléaire a élaboré la liste des couples « agresseurs / cibles » présents dans l'installation. Dans ce cadre, EDF a identifié l'absence de justification de la tenue au séisme pour certains agresseurs potentiels.
EDF a indiqué qu'un nombre limité d'écarts persiste sur les sites concernés et qu'un programme de résorption a été défini et est en cours de déploiement. Ces écarts constituent des écarts de conformité au sens du guide n° 21 de l'ASN.
Le traitement de ces écarts peut consister en :

- la justification de la tenue des agresseurs au séisme sur la base d'études complémentaires ;
- le démontage des agresseurs ;
- la mise en œuvre de modifications visant à renforcer les ancrages de l'agresseur afin d'assurer sa tenue au séisme ;
- la mise en place de la protection visant à prévenir toute agression de la cible.

L'ASN estime que l'efficacité de ces solutions devra être justifiée par l'exploitant. Elle s'assurera que les écarts nécessitant une résorption ont été correctement traités avant le redémarrage de chaque réacteur à l'issue d'un arrêt pour maintenance et rechargement en combustible.
Étant données les conséquences potentielles de ces écarts pour la sûreté des centrales nucléaires en cas de séisme, l'événement est classé au **niveau 1 de l'échelle INES** qui en compte 7, pour tous les réacteurs nucléaires en fonctionnement.

[13] Source **:** Avis d'incident du 15 juillet 2016 et sa mise à jour du 17 février 2017 : ajout des paliers de 1450 MW (centrales nucléaires de Chooz et Civaux) à la liste des réacteurs affectés par l'événement significatif pour la sûreté.

5. RISQUE DE PERTE DE LA SOURCE FROIDE

Le 10 octobre 2017, EDF a déclaré à l'ASN un événement significatif pour la sûreté à caractère générique concernant l'absence de garantie de tenue au séisme de tuyauteries situés dans la station de pompage de 29 réacteurs répartis sur 11 centrales du parc en exploitation, pouvant entraîner une perte partielle ou totale des moyens de refroidissement des réacteurs en cas de séisme. Ce constat a été fait une première fois en juin 2017 sur la centrale de Belleville, puis étendu aux autres réacteurs concernés après vérification et contrôles des tuyauteries analogues sur les autres réacteurs du parc.
Ces contrôles ont mis en évidence un état dégradé avec des épaisseurs de plusieurs portions des tuyauteries inférieures à l'épaisseur minimale requise pour assurer leur résistance au séisme. Ces dégradations sont la conséquence de la corrosion qui a pu se développer en l'absence d'une maintenance préventive adaptée.

D'après l'IRSN et l'ASN[14] :

- Les résultats de cette campagne de mesure montrent que 29 réacteurs électronucléaires présentent des dégradations significatives sur les tuyauteries concernées qui ne permettent pas d'exclure, en cas de rupture consécutive au séisme maximal historiquement vraisemblable un risque de noyage des moteurs du circuit SEC (circuit d'eau douce secourue).
- Une rupture en cas de séisme des tuyauteries concernées pourrait ainsi conduire à la perte totale des moyens de refroidissement du réacteur. Une telle situation serait susceptible de conduire à la fusion du combustible et à des rejets importants dans l'environnement.

Les réacteurs concernés :

- 20 relevant du **niveau 2 de l'échelle INES** (risque de perte totale de la source froide): Belleville-sur-Loire 1 et 2 ; Cattenom 1, 2, 3 et 4 ; Chinon B3 et B4 ; Cruas 1 et 4 ; Dampierre-en-Burly 1, 2, 3 et 4 ; Golfech 1 et 2 ; Nogent-sur-Seine 1 et 2 ; Saint-Laurent-des-Eaux B1 et B2.
- 9 relevant du **niveau 0 de l'échelle INES** (risque de perte partielle de la source froide) : Cruas 2 et 3 ; Paluel 3 et 4 ; Saint-Alban 1 et 2 ; Tricastin 1, 3 et 4.

L'ASN conclut (au 16/10/2017) :

« Des réparations des tuyauteries concernées ont été engagées, ce qui permet de disposer d'une voie SEC (circuit d'eau brute secourue) sécurisée pour tous les réacteurs concernés. Les réparations afin d'assurer la disponibilité totale du circuit SEC en cas de séisme doivent être engagées au plus tôt pour les réacteurs actuellement en fonctionnement et avant leur redémarrage pour les réacteurs à l'arrêt ».

[14] Note d'information de l'IRSN du 16 octobre 2017 : « Non-conformités relatives à la tenue au séisme de tuyauteries situées dans la station de pompage de 29 réacteurs du parc en exploitation et Note technique de l'ASN du 24 octobre 2017 : « Risque de perte de la source froide de 29 réacteurs nucléaires en cas de séisme ».

Tuyauteries corrodées dans les locaux de la source froide

Source : ASN

Source : ASN

6. NON TENUE AU SEISME DES ANCRAGES DES SYSTEMES AUXILIAIRES DES DIESELS DE SECOURS

6.1 Les réacteurs de 1300 MW de puissance électrique

Chacun des réacteurs de 900 et 1300 MW de puissance électrique des centrales nucléaires françaises dispose de deux diesels de secours. Ces équipements assurent de façon redondante l'alimentation de certains systèmes de sûreté en cas de défaillance des alimentations électriques externes, notamment à la suite d'un séisme. Ces diesels de secours sont composés d'un alternateur, d'un moteur diesel et de systèmes auxiliaires (circuits de refroidissement, de pré-graissage, etc.). En cas de perte des alimentations électriques externes provoquées par un séisme, le fonctionnement des diesels de secours pourrait ne plus être assuré, en raison de la défaillance de leurs systèmes auxiliaires.

A la suite d'une première détection en mars 2017 sur la centrale de Golfech[15], EDF a déclaré en juin 2017 un événement significatif pour la sûreté portant sur l'absence de démonstration de résistance au séisme des ancrages dans le génie civil des systèmes auxiliaires des diesels de secours des vingt réacteurs de 1300 MW des centrales nucléaires de Belleville, Cattenom, Flamanville, Golfech, Nogent, Paluel, Penly et Saint-Alban. Cette défaillance provient à la fois de **problèmes de conception**, génériques à l'ensemble des réacteurs de 1300 MW et des **problèmes locaux** liés à un mauvais état ou à un mauvais montage des ancrages[16].
Dans sa note d'information du 21 juin 2017, l'IRSN écrit :
« Ainsi, une situation de séisme de niveau SMS (voire SMHV)[17] affectant des réacteurs de 1300 MW engendrant potentiellement une perte des alimentations électriques externe pourrait conduire à terme à une fusion du cœur provoquée par l'impossibilité d'alimenter en électricité les dispositifs prévus pour refroidir le combustible, ainsi qu'à une perte de refroidissement de la piscine de stockage du combustible usé ».
Compte tenu de ses conséquences potentielles pour la sûreté des centrales nucléaires en cas de séisme, l'événement a été classé **au niveau 2 de l'échelle INES** pour l'ensemble des réacteurs concernés.
L'ASN a demandé à EDF que le renforcement des ancrages de tous les systèmes auxiliaires des diesels de secours soit réalisé sous trois semaines pour au moins l'un des deux diesels de secours, et sous un mois eu demi pour le second, pour chacun des 20 réacteur concernés.

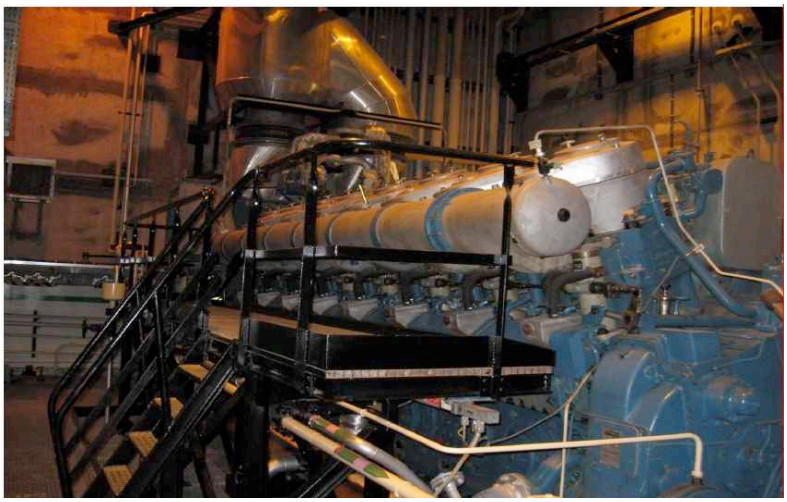
6.2 Des réacteurs de 900 MW de puissance électrique

Le 13 octobre 2017, EDF a déclaré que cette défaillance concernait également certains réacteurs de 900 MW de puissance électrique: les réacteurs 2 et 5 de la centrale du Bugey ainsi que les réacteurs 1 et 2 de la centrale de Fessenheim ; puis, le 8 janvier 2018, a intégré les unités 3 et 4 de Bugey. Pour les mêmes raisons, ces événements significatifs ont été classés au **niveau 2 de l'échelle INES.**

*

[15] Le 27 mars 2017, le réacteur n°2 de la centrale nucléaire de Golfech étant à l'arrêt pour renouvellement du combustible, EDF a constaté que les structures métalliques supportant les vases d'expansion des deux groupes électrogènes de secours de ce réacteur n'étaient pas conformes aux plans de conception, des éléments de la structure métallique étant manquants (source : IRSN).
[16] Référence : note d'information de l'ASN du 20 juin 2017.
[17] Le séisme maximal historiquement vraisemblable (SMVH) 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 aux séisme des installations nucléaires.

Groupe électrogène de secours à moteur diesel



Source : ASN

Etat de la charpente métallique

Source : ASN

Ancrage d'un vase d'expansion

Source : ASN

7. CORROSION DES VASES D'EXPANSION DES GROUPES DIESELS[18]

Chacun des réacteurs de 1300 MW de puissance électrique des centrales nucléaires françaises dispose de deux diesels de secours. Ces équipements assurent de façon redondante l'alimentation électrique de certains systèmes de sûreté en cas de défaillance des alimentations électriques externes, notamment à la suite d'un séisme. Les diesels de secours sont composés d'un alternateur, d'un moteur diesel et de systèmes auxiliaires (circuits de refroidissement, de pré-graissage, etc.). En cas de perte des alimentations électriques externes, provoquée par un séisme, le fonctionnement des diesels de secours pourrait ne plus être assuré, en raison de la défaillance de leurs systèmes auxiliaires.
Le refroidissement des diesels de secours est assuré par plusieurs circuits de refroidissement à circulation d'eau forcée. Les vases d'expansion de ces circuits sont des systèmes auxiliaires permettant d'absorber la variation de volume de l'eau lorsqu'elle se dilate sous l'effet de la chaleur produite par le moteur en fonctionnement. Les vases d'expansion sont implantés sur une structure métallique ancrée sur la toiture de chaque bâtiment abritant un groupe électrogène de secours.

L'ASN classe au niveau 2 de l'échelle INES un événement significatif pour la sûreté portant sur l'absence de démonstration de résistance au séisme des vases d'expansion des diesels de secours du fait de défauts liés à un phénomène de corrosion. En effet, EDF a constaté que les vases d'expansion de certains des groupes diesel de secours présentaient une corrosion importante sur leur surface externe et que leur tenue en cas de séisme n'était donc plus justifiée.
Ces défauts résultent notamment d'une maintenance insuffisante de ces matériels. Identifiés par EDF à la centrale nucléaire de Penly en juillet 2017, ils ont fait l'objet d'une déclaration d'événement significatif générique le 9 novembre 2017 à l'ASN, pour sept réacteurs de 1 300 MW de puissance électrique..
Les vases d'expansion corrodés des réacteurs concernés ont été réparés ou remplacés entre août et octobre 2017.

L'ASN classe (publication du 19 janvier 2018) :

- **Au niveau 2 de l'échelle INES,** les défauts de résistance au séisme des vases d'expansion des deux groupes électrogènes de secours à moteur diesel des réacteurs 1 et 2 de la centrale nucléaire de Paluel, compte tenu que les deux groupes électrogènes redondants sont affectés. **En cas de séisme affectant les réacteurs n°1 et 2 de Paluel , la perte des groupes électrogènes et des alimentations électriques externes pourrait conduire à terme à une fusion du combustible dans le bâtiment du réacteur, ainsi qu'une perte de refroidissement de la piscine de stockage du combustible usé.**

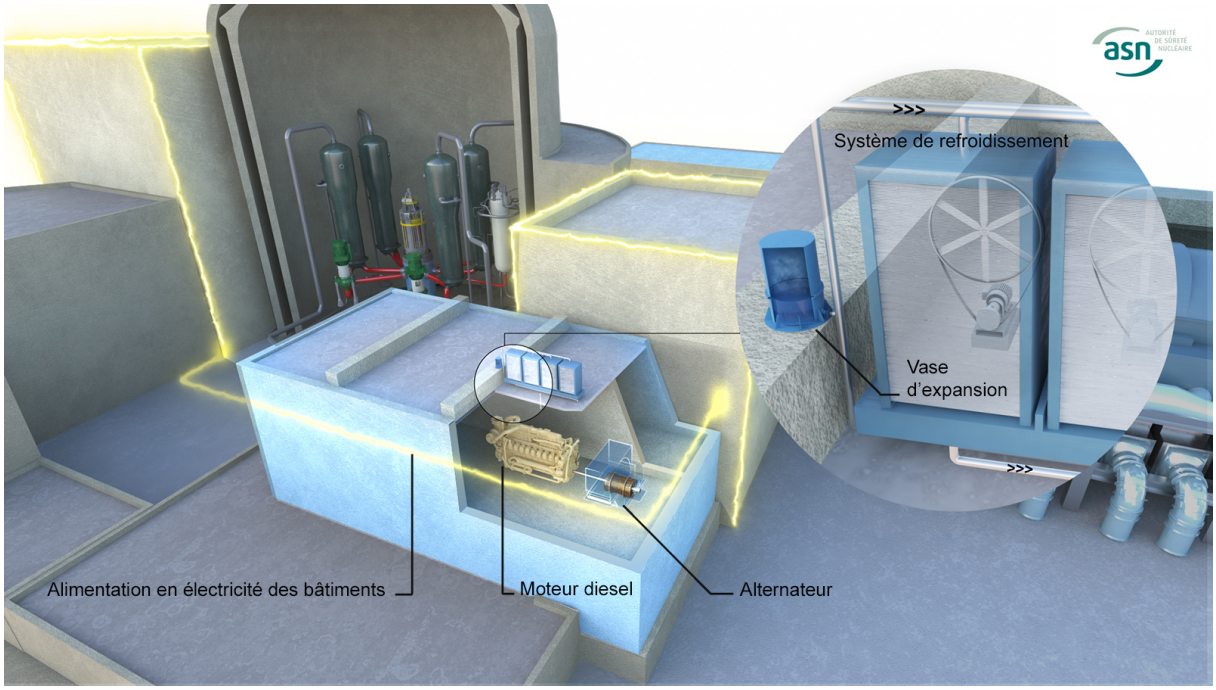
- **Au niveau 1 de l'échelle INES,** les défauts de résistance au séisme des vases d'expansion d'un groupe électrogène de secours à moteur diesel des réacteurs de Nogent 1, Penly 1, Belleville 2, Cattenom 2 et Paluel 3, compte tenu qu'un seul groupe électrogène sur les deux est affecté.

Les écarts ont été traités par EDF: les vases d'expansion corrodés ont été soit remplacés, soit renforcés de manière temporaire pour garantir leur tenue au séisme en l'attente d'un remplacement au prochain arrêt pour rechargement du réacteur concerné.

[18] Référence : Notes d'information ASN du 24 mai 2017 et du 17 janvier 2018.

De manière récurrente, ces dernières années, dans ses expertises, l'IRSN a relevé des écarts concernant les groupes électrogènes de secours et a recommandé la mise en œuvre de dispositions pour leur résorption rapide.
Sur ce point, l'IRSN insiste sur l'importance pour la sûreté des contrôles associés aux programmes de maintenance préventive qui doivent permettre de détecter ce type d'écart. Afin de garantir la conformité des installations, EDF doit appliquer avec rigueur ces programmes et s'assurer de leur complétude.[19]

Groupe électrogènes de secours à moteur diesel et son vase d'expansion



Source : ASN

[19] IRSN : Note d'information « Corrosion des vases d'expansion des groupes électrogènes de secours à moteur diesel de plusieurs réacteurs de 1300 MW ».

8. RESISTANCE AU SEISME DE TABLEAUX D'ALIMENTATION ELECTRIQUE [20]

Les réacteurs de 1500 MW de puissance électrique d'EDF (palier N4) disposent de tableaux d'alimentation électriques, dits « tableaux sources », qui permettent d'assurer l'alimentation électrique des systèmes de surveillance et de contrôle-commande du réacteur. Ces tableaux sources sont doublés en deux voies afin d'assurer une redondance en cas de défaillance de l'une d'elle. Afin d'éviter leur entrechoquement en cas de séisme, certains des tableaux sources sont reliés entre eux.

EDF a déclaré à l'ASN un événement significatif générique le 24 janvier 2018.
L'événement significatif porte sur l'absence de démonstration de résistance au séisme de certains tableaux sources du fait de l'absence ou de défauts de fixation entre eux. Ces anomalies ont été constatées par EDF sur le réacteur 1 de la centrale nucléaire de Chooz en 2015. Des contrôles réalisés en 2016 et 2017 sur les réacteurs 1 et 2 de la centrale nucléaire de Civaux et sur le réacteur 2 de la centrale nucléaire de Chooz ont révélé des anomalies de même nature.

En cas d'occurrence du séisme maximal retenu dans la démonstration de sûreté nucléaire, il apparait après analyse que l'arrêt du réacteur et son maintien dans un état sûr n'auraient pas pu être assurés pour les réacteurs 1 et 2 de la centrale nucléaire de Civaux et le réacteur 1 de la centrale nucléaire de Chooz, du fait d'anomalies sur les deux voies redondantes. Seulement une des voies redondantes était affectée pour le réacteur 2 de la centrale nucléaire de Chooz. EDF a déclaré à l'ASN un événement significatif générique le 24 janvier 2018.

Compte tenu de ses conséquences potentielles pour la sûreté des centrales nucléaires en cas de séisme, l'événement est classé au **niveau 1 de l'échelle INES** pour les réacteurs 1 et 2 de la centrale nucléaire de Civaux et le réacteur 1 de la centrale nucléaire de Chooz. L'événement est classé au **niveau 0 de cette même échelle** pour le réacteur 2 de Chooz.

Les travaux permettant le traitement de l'ensemble des anomalies ont été réalisés lors des arrêts des quatre réacteurs au cours de l'année 2017.

[20] Source : ASN, avis d'incident du 20 février 2018.

9. RISQUE DE BLOCAGE DE GRAPPES DE COMMANDE

Le 13 décembre 2017, à l'occasion des essais de redémarrage du réacteur numéro 2 de la centrale de Belleville-sur-Loire, EDF a observé un blocage d'une grappe de commande (ou « barres de contrôle » qui permettent de contrôler la réaction en chaîne à l'intérieur du réacteur). Après analyses, il est apparu que **ce** blocage était dû à l'usure de la manchette thermique du couvercle de la cuve correspondant à cette grappe (la manchette thermique est un dispositif qui limite l'impact sur la cuve du choc thermique lié aux mouvements d'eau sous le couvercle de la cuve à l'occasion des déplacements de la grappe de commande).
Une situation comparable d'usure de ce composant a été observée sur une grappe de commande du réacteur n°2 de la centrale de Saint-Alban, sans blocage de celle-ci.
Pour ces deux réacteurs, la manchette thermique conduisant à cette déclaration sera remplacée avant le redémarrage des unités de production.
EDF a déclaré à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), le 14 février 2018, un événement significatif de sûreté dit « générique » car commun à deux unités de production (Belleville 2 et Saint-Alban 2), classé au **niveau 1 de l'échelle INES**.

Afin d'identifier les éventuels réacteurs des paliers 1300 MW (20 réacteurs[21]) et du palier N4 de 1500 MW (2 réacteurs de Civaux et 2 réacteurs de Chooz), soit 24 réacteurs au total pouvant être concernés par ces défauts**,** EDF a décidé de mener des examens sur tous les réacteurs qui sont actuellement à l'arrêt puis, lors du prochain arrêt programmé des réacteurs en fonctionnement. Ces examens ont débuté et se poursuivront jusqu'au deuxième trimestre 2019. L'unité de production numéro 1 de la centrale de Saint-Alban a été mise à l'arrêt, le 17 février 2018, afin de mener ces expertises.

A la suite de son inspection du 18 janvier 2018[22], l'ASN précise :
« *Lors des essais physiques à puissance nulle réalisés dans le cadre du redémarrage de la tranche n° 2 en décembre dernier,* ***des défauts ont été détectés sur la grappe de régulation H8****. Plus précisément, ces défauts se sont traduits par des* ***phénomènes de blocages mécaniques lors des essais de manœuvrabilité ainsi que lors des essais de chute des grappes****.*
Un défaut de manœuvrabilité des grappes de contrôle est susceptible de remettre en cause l'efficacité d'un arrêt automatique du réacteur (...).
Lors des différentes expertises menées pour comprendre l'origine du dysfonctionnement rencontré, vous avez détecté la ***présence d'un corps étranger métallique à proximité du mécanisme de commande de la grappe****.* ***Cette pièce métallique, qui proviendrait de la rupture de la partie supérieure de la manchette thermique consécutive à son usure, serait ainsi à l'origine des blocages constatés. Une dégradation de l'adaptateur accueillant la manchette thermique, élément soumis à la pression du circuit primaire, aurait également été détectée ».***
…
« Par ailleurs, les inspecteurs constatent, au regard des derniers éléments d'analyse, que ***les conclusions d'un premier rapport établi par vos services d'ingénierie****, sur la base des contrôles télévisuels,* ***se sont révélées fausses****, concernant l'état de l'adaptateur associé à la grappe H8. Le point nécessite d'être analysé* ».

[21] Le palier 1300 MW de puissance électrique nette comprend les centrales de Belleville-sur-Loire (Cher), Cattenom (Lorraine), Flamanville (Basse-Normandie), Golfech (Tarn-et-Garonne), Nogent-sur-Seine (Aube), Paluel (Seine-Maritime), Penly (Seine-Maritime) et Saint-Alban (Isère). Le palier N4 comprend les centrales de Civaux (Vienne) et Chooz (Ardennes).
[22] Inspection n° INSSN-OLS-2018-0607

Grappes de contrôle

Modèle d'un assemblage combustible de réacteur à eau pressurisée montrant en haut la tête de la grappe de commande et au milieu les tubes guides des barres de contrôle parmi les crayons combustibles qui ont été coupés pour la visibilité. Les crayons absorbants sont suspendus à une pièce de structure appelée « araignée », qui permet de commander simultanément le mouvement des 24 crayons à l'aide d'une tige unique qui traverse le couvercle de la cuve. Le déplacement vertical de la tige de commande est obtenu grâce à des mécanismes situés au-dessus du couvercle.

10. PREPARATION ET REALISATION DE TRAVAUX DE SOUDURE[23]

Le 1er décembre 2017, EDF a déclaré à l'ASN un événement significatif générique concernant les centrales nucléaires de Belleville-sur-Loire, Cattenom et Nogent-sur-Seine. Cet événement fait suite à la détection d'écarts affectant des opérations de soudage.

Lors d'un contrôle réalisé en juin 2017 sur la centrale nucléaire de Belleville-sur-Loire, EDF a détecté, dans les rapports de fin d'intervention de travaux de soudure réalisés par une entreprise prestataire, des écarts affectant les procédés de soudage et la qualification des opérateurs. Ces rapports permettent de tracer que les travaux ont été réalisés dans les règles de l'art et dans le respect des exigences définies. Parmi les écarts détectés, EDF a identifié **deux cas de modification volontaire**.

EDF a étendu ses contrôles à des travaux de soudure récents et aux rapports de fin d'intervention établis par le passé par cette entreprise prestataire qui intervient sur plusieurs centrales nucléaires. Des écarts ont été détectés sur les centrales nucléaires de Cattenom et Nogent-sur-Seine **concernant des interventions de soudure réalisées depuis 2010**. Aucune autre modification volontaire n'a été détectée à ce stade.

EDF a procédé à la réparation de la plupart des soudures affectées d'un écart et a renforcé la surveillance de l'entreprise prestataire. Quelques soudures ont été laissées en l'état après justification par EDF. Des contrôles sont encore en cours sur certains réacteurs.

Cet événement révèle une insuffisance de la surveillance qu'a exercée EDF sur l'entreprise prestataire sur la période investiguée alors que cette entreprise accomplissait des activités importantes pour la sûreté. Compte-tenu de la détection tardive des anomalies et des conséquences potentielles des anomalies de soudage, l'ASN classe cet événement au **niveau 1 de l'échelle INES.**

[23] Source : https://www.asn.fr/Controler/Actualites-du-controle/Avis-d-incident-des-installations-nucleaires/Detection-tardive-d-ecarts-affectant-la-preparation-et-la-realisation-de-travaux-de-soudure

11. TABLEAU RECAPITULATIF DES ANOMALIES GENERIQUES

Nomenclature

1a	1b	2	3a	3b	4	5a	5b
Dossiers de fabrication INES 1		Perte RRI INES 1 + Mesures compensatoires	Générateurs de vapeur		EIP Séismes	Perte source froide	
Septembre 2017	Février 2018		Sans mesures compensatoires	Avec mesures compensatoires	INES 1	INES 2	INES 0

6a	6b	7a	7b	8a	8b	9	10
Ancrage diesels INES 2		Vases expansion diesels		Alimentation électrique	Alimentation électrique	Grappes de contrôle INES 1	Soudures INES 1
1300 MW	900MW	INES 2	INES 1	INES 1	INES 0		

Réacteur	Puiss Nette	Conn Rés.	1a	1b	2	3a	3b	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9	10	TOTAL
Belleville 1	1310	1987						1	1		1							1	4
Belleville 2	1310	1988	1					1	1		1			1			1	1	7
Blayais 1	910	1981			1	1		1											3
Blayais 2	910	1982		1	1			1											3
Blayais 3	910	1983			1			1											2
Blayais 4	910	1983			1			1											2
Bugey2	910	1978						1				1							2
Bugey3	910	1978	1					1				1							3
Bugey 4	880	1979				1	1	1				1							4
Bugey 5	880	1979						1				1							2
Cattenom 1	1300	1986		1				1			1							1	4
Cattenom 2	1300	1987						1	1		1			1				1	5
Cattenom 3	1300	1990		1				1	1		1							1	5
Cattenom 4	1300	1991						1	1		1							1	4
Chinon B1	905	1982			1	1		1	1										4
Chinon B2	905	1983			1	1		1											3
Chinon B3	905	1986	1		1			1											3
Chinon B4	905	1987			1			1	1										3
Chooz B1	1500	1996						1	1						1				3
Chooz B2	1500	1997	1					1								1			3
Civaux 1	1495	1997				1		1							1				3
Civaux 2	1495	1999		1		1		1							1				4
Cruas 1	915	1983			1			1											2
Cruas 2	915	1984		1	1			1	1										4
Cruas 3	915	1984	1		1			1		1									4
Cruas 4	915	1984			1			1		1									3
Dampierre 1	890	1980			1			1	1										3
Dampierre 2	890	1980			1	1		1	1										4
Dampierre 3	890	1981	1		1	1	1	1	1										6
Dampierre 4	890	1981			1	1		1	1										4
Fessenheim 1	880	1977				1	1	1	1			1							5
Fessenheim 2	880	1977		1		1		1				1							4
Flamanville 1	1330	1985						1			1								2
Flamanville 2	1330	1986						1			1								2
Golfech 1	1310	1990						1			1								2
Golfech 2	1310	1993						1	1		1								3
Gravelines 1	910	1980			1			1	1										3
Gravelines 2	910	1980	1		1	1	1	1											5
Gravelines 3	910	1980			1			1											2
Gravelines 4	910	1981		1	1	1	1	1											5
Gravelines 5	910	1984			1			1											2
Gravelines 6	910	1985			1			1											2
Nogent 1	1310	1987	1					1			1		1	1				1	6
Nogent 2	1310	1988						1	1		1		1					1	5
Paluel 1	1330	1984		1				1	1		1								4
Paluel 2	1330	1984		1				1			1								3
Paluel 3	1330	1985						1			1			1					3
Paluel 4	1330	1986	1					1		1	1								4
Penly 1	1330	1990	1					1		1	1			1					5
Penly 2	1330	1992						1			1								2
St Alban 1	1335	1985						1			1								2
St Alban 2	1335	1986						1		1	1						1		4
St Laurent B1	915	1981			1	1	1	1		1									5
St Laurent B2	915	1981	1		1	1		1	1										5
Tricastin 1	915	1980		1	1	1	1	1	1										6
Tricastin 2	915	1980			1	1	1	1		1									5
Tricastin 3	915	1981	1		1	1	1	1		1									6
Tricastin 4	915	1981		1	1	1	1	1		1									6
58	63130 MW		12	11	28	19	10	58	20	9	20	6	2	5	3	1	2	8	214
Réacteur	Puiss Nette	Conn Rés.	1a	1b	2	3a	3b	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9	10	TOTAL
INES			1	1	1			1	2	0	2	2	2	1	1	0	1	1	

Nombre d'anomalies	2	3	4	5	6	7	Total
Nombre de réacteurs	13	15	14	10	5	1	58

CONCLUSION

Si l'on nomme « situation » un couple « réacteur-anomalie », on constate sur la période allant de septembre 2015 à mars 2018 un total de 214 situations.

1 réacteur connaît sur la période 7 anomalies génériques (Belleville 2), 5 réacteurs en ont 6 (Dampierre 3, Nogent 1, Tricastin 1, 3 et 4). Aucun réacteur n'a 0 ou 1 anomalie générique.

On constate également la répartition des « situations » en fonction du niveau de l'anomalie sur l'échelle INES :

- INES 0 : 10 situations
- INES 1 : 127 situations
- INES 2 : 48 situations

Rappelons que l'anomalie générique portant sur les générateurs de vapeur (29 situations) n'a pas fait l'objet d'un classement INES.

Une attention toute particulière doit être portée aux 48 situations de niveau 2 de l'échelle INES qui concernent 3 anomalies génériques : perte de la source froide (5b), ancrages des diesels de secours (6a et 6b), vases d'expansion des diesels de secours (7a), repérées dans 37 réacteurs répartis dans 17 centrales : Belleville, Bugey, Cattenom, Chinon, Chooz, Cruas, Dampierre, Fessenheim, Flamanville, Golfech, Gravelines, Nogent, Paluel, Penly, Saint-Alban, Saint-Laurent, Tricastin.
En effet, nous l'avons vu, le classement au niveau 2 de l'échelle INES de ces anomalies est justifié par le fait que si la défaillance de l'équipement concerné se produisait, cela pourrait conduire à un accident grave ou majeur.

Les anomalies peuvent provenir de défauts de conception, auquel cas l'ensemble des réacteurs d'un palier sont touchés, de défauts de fabrication touchant un équipement particulier qui peut implanté dans certains réacteurs, de défauts de construction (au niveau d'un palier ou de certains réacteurs), ou de défauts de maintenance qui peuvent être repérés sur certaines centrales.
On notera en particulier l'importance des anomalies liées au comportement des équipements en cas de séisme : il semble bien que cette question n'a pas été suffisamment bien traitée au niveau de la conception dans certains cas et, de façon assez générale au niveau de la maintenance (entretien ou remplacement trop différé de certains équipements).

Enfin, certaines anomalies ne pouvant pas être corrigées ou étant estimées trop onéreuses à corriger (c'est là qu'intervient la question trop généralement évitée du « coût de la sûreté ») ou bien reportée dans le temps, des « mesures compensatoires » doivent être appliquées par EDF afin d'atténuer les facteurs susceptibles de déclencher la rupture potentielle détectée par l'anomalie concernée. Ces mesures portent essentiellement sur les procédures d'exploitation des réacteurs, notamment en ce qui concerne les variations de température de l'eau de refroidissement du circuit primaire du fait des variations de puissance lors de l'arrêt ou du démarrage du réacteur (risque de choc froid ou de choc chaud dans le cas des générateurs de vapeur par exemple).
On comprend que ces modifications des conditions d'exploitation sont relativement faciles à respecter en fonctionnement normal mais on peut s'interroger sur ce qui peut se passer en cas d'incident ou d'accident nécessitant des réactions rapides.

Annexe : Réacteurs et centrales nucléaires en France

Le parc électronucléaire français est constitué de 58 réacteurs REP (réacteurs à uranium enrichi et eau sous pression) répartis dans 19 centrales.
- Trente quatre « tranches nucléaires »[24] d'une puissance électrique de 900 mégawatts (MW) : Fessenheim (2), Blayais (4), Bugey (4), Chinon (4), Cruas (4), Dampierre (4), Gravelines (6), Saint-Laurent (2), Tricastin (4). Plus précisément : 6 tranches « CP0 », 18 tranches « CP1) et 10 tranches « CP2 ».
- Vingt tranches nucléaires de 1300 MW : Belleville (2), Cattenom (4), Flamanville (2), Golfech (2), Nogent-sur-Seine (2), Paluel (4), Penly (2), Saint-Alban (2). En deux paliers P4 et P'4.
- Quatre tranches nucléaires de 1500 MW à Chooz (2) et Civaux (2). Palier N4.

Le tableau ci-dessous présente les 58 réacteurs suivant trois classements : par centrale en ordre alphabétique, par année de connexion au réseau et par puissance installée.

Par centrale	Puissance nette	Année	Production	Par année Connexion réseau	Puissance nette	Année	Par puissance	Puissance nette
Réacteur	MW	Connexion réseau	TWh/an	Réacteur	MW	Connexion réseau	Réacteur	MW
Belleville 1	1310	1987	8,5	Fessenheim 1	880	1977	Bugey 4	880
Belleville 2	1310	1988	8,5	Fessenheim 2	880	1977	Bugey 5	880
Blayais 1	910	1981	5,91	Bugey2	910	1978	Fessenheim 1	880
Blayais 2	910	1982	5,91	Bugey3	910	1978	Fessenheim 2	880
Blayais 3	910	1983	5,91	Bugey 4	880	1979	Dampierre 1	890
Blayais 4	910	1983	5,91	Bugey 5	880	1979	Dampierre 2	890
Bugey2	910	1978	5,91	Dampierre 1	890	1980	Dampierre 3	890
Bugey3	910	1978	5,91	Dampierre 2	890	1980	Dampierre 4	890
Bugey 4	880	1979	5,71	Gravelines 1	910	1980	Chinon B1	905
Bugey 5	880	1979	5,71	Gravelines 2	910	1980	Chinon B2	905
Cattenom 1	1300	1986	8,44	Gravelines 3	910	1980	Chinon B3	905
Cattenom 2	1300	1987	8,44	Tricastin 1	915	1980	Chinon B4	905
Cattenom 3	1300	1990	8,44	Tricastin 2	915	1980	Blayais 1	910
Cattenom 4	1300	1991	8,44	Blayais 1	910	1981	Blayais 2	910
Chinon B1	905	1982	5,87	Dampierre 3	890	1981	Blayais 3	910
Chinon B2	905	1983	5,87	Dampierre 4	890	1981	Blayais 4	910
Chinon B3	905	1986	5,87	Gravelines 4	910	1981	Bugey2	910
Chinon B4	905	1987	5,87	St Laurent B1	915	1981	Bugey3	910
Chooz B1	1500	1996	9,73	St Laurent B2	915	1981	Gravelines 1	910
Chooz B2	1500	1997	9,73	Tricastin 3	915	1981	Gravelines 2	910
Civaux 1	1495	1997	9,7	Tricastin 4	915	1981	Gravelines 3	910
Civaux 2	1495	1999	9,7	Blayais 2	910	1982	Gravelines 4	910
Cruas 1	915	1983	5,94	Chinon B1	905	1982	Gravelines 5	910
Cruas 2	915	1984	5,94	Blayais 3	910	1983	Gravelines 6	910
Cruas 3	915	1984	5,94	Blayais 4	910	1983	Cruas 1	915
Cruas 4	915	1984	5,94	Chinon B2	905	1983	Cruas 2	915
Dampierre 1	890	1980	5,78	Cruas 1	915	1983	Cruas 3	915
Dampierre 2	890	1980	5,78	Cruas 2	915	1984	Cruas 4	915
Dampierre 3	890	1981	5,78	Cruas 3	915	1984	St Laurent B1	915
Dampierre 4	890	1981	5,78	Cruas 4	915	1984	St Laurent B2	915
Fessenheim 1	880	1977	5,71	Gravelines 5	910	1984	Tricastin 1	915
Fessenheim 2	880	1977	5,71	Paluel 1	1330	1984	Tricastin 2	915
Flamanville 1	1330	1985	8,63	Paluel 2	1330	1984	Tricastin 3	915
Flamanville 2	1330	1986	8,63	Flamanville 1	1330	1985	Tricastin 4	915
Golfech 1	1310	1990	8,5	Gravelines 6	910	1985	Cattenom 1	1300
Golfech 2	1310	1993	8,5	Paluel 3	1330	1985	Cattenom 2	1300
Gravelines 1	910	1980	5,91	St Alban 1	1335	1985	Cattenom 3	1300
Gravelines 2	910	1980	5,91	Cattenom 1	1300	1986	Cattenom 4	1300
Gravelines 3	910	1980	5,91	Chinon B3	905	1986	Belleville 1	1310
Gravelines 4	910	1981	5,91	Flamanville 2	1330	1986	Belleville 2	1310
Gravelines 5	910	1984	5,91	Paluel 4	1330	1986	Golfech 1	1310
Gravelines 6	910	1985	5,91	St Alban 2	1335	1986	Golfech 2	1310
Nogent 1	1310	1987	8,5	Belleville 1	1310	1987	Nogent 1	1310
Nogent 2	1310	1988	8,5	Cattenom 2	1300	1987	Nogent 2	1310
Paluel 1	1330	1984	8,63	Chinon B4	905	1987	Flamanville 1	1330
Paluel 2	1330	1984	8,63	Nogent 1	1310	1987	Flamanville 2	1330
Paluel 3	1330	1985	8,63	Belleville 2	1310	1988	Paluel 1	1330
Paluel 4	1330	1986	8,63	Nogent 2	1310	1988	Paluel 2	1330
Penly 1	1330	1990	8,63	Cattenom 3	1300	1990	Paluel 3	1330
Penly 2	1330	1992	8,63	Golfech 1	1310	1990	Paluel 4	1330
St Alban 1	1335	1985	8,66	Penly 1	1330	1990	Penly 1	1330
St Alban 2	1335	1986	8,66	Cattenom 4	1300	1991	Penly 2	1330
St Laurent B1	915	1981	5,94	Penly 2	1330	1992	St Alban 1	1335
St Laurent B2	915	1981	5,94	Golfech 2	1310	1993	St Alban 2	1335
Tricastin 1	915	1980	5,94	Chooz B1	1500	1996	Civaux 1	1495
Tricastin 2	915	1980	5,94	Chooz B2	1500	1997	Civaux 2	1495
Tricastin 3	915	1981	5,94	Civaux 1	1495	1997	Chooz B1	1500
Tricastin 4	915	1981	5,94	Civaux 2	1495	1999	Chooz B2	1500
58	63 130 MW		410 TWh	58	63130 MW		58	63130 MW
Par centrale	Puissance nette MW	Année Connexion réseau	Production TWh/an	Réacteur	Puissance nette MW	Année Connexion réseau	Réacteur	Puissance nette MW

[24] On utilise l'expression « tranche nucléaire » pour désigner l'ensemble réacteur + turboalternateur. La puissance électrique est donc celle de la tranche nucléaire relative à chaque réacteur. Mais en langage courant, on parle souvent, à tort, de la puissance électrique d'un réacteur et on utilise l'unité MWe (MW électrique, ce qui peut porter à confusion). Le réacteur lui-même produit de la chaleur. La puissance thermique d'un réacteur dont la « tranche » a une puissance électrique de 900 MW de puissance électrique est de l'ordre de 2800 MW.