

FAITS MARQUANTS 2022

PAGE
12

Phénomène de corrosion sous contrainte affectant des réacteurs du parc nucléaire français

PAGE
14

Impact de la canicule et de la sécheresse de l'été 2022 sur les centrales nucléaires

PAGE
16

L'ASN se mobilise dans le cadre de la guerre en Ukraine

Phénomène de corrosion sous contrainte affectant des réacteurs du parc nucléaire français

La présence de fissures par corrosion sous contrainte a constitué l'événement majeur rencontré par le parc électronucléaire français en 2022. Cet événement inattendu a conduit EDF à mobiliser d'importants moyens pour en identifier les causes et procéder aux réparations. L'ASN considère qu'EDF a agi de manière réactive et responsable face à cet événement à fort enjeu de sûreté touchant une part importante de ses réacteurs.

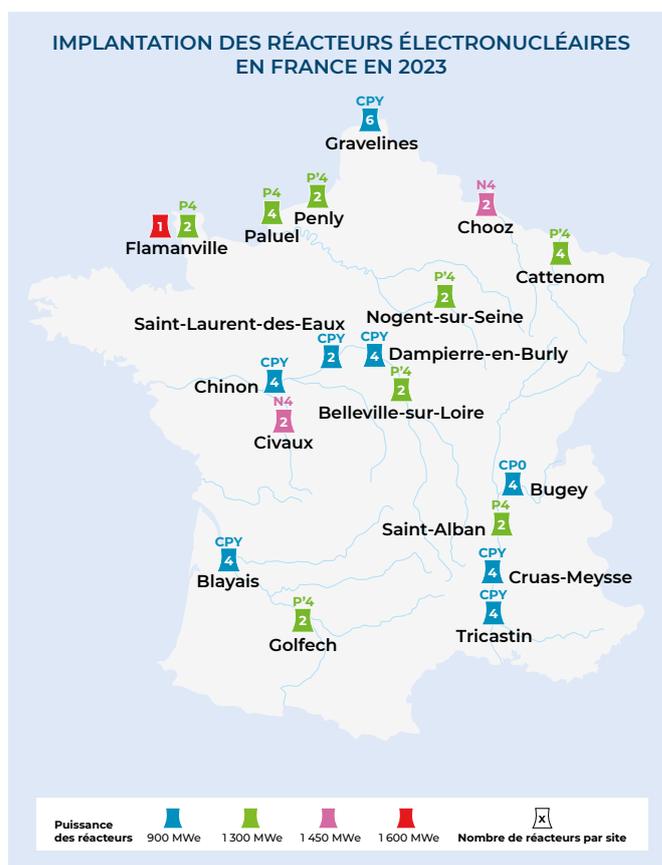
Cette situation illustre les difficultés que pourrait connaître l'approvisionnement en électricité en cas de problème générique concernant simultanément plusieurs réacteurs. L'ASN avait souligné dès 2013 la nécessité de disposer de marges suffisantes dans le système électrique afin de pouvoir faire face à un événement de ce type.

En fin d'année 2021, EDF a informé l'ASN de la découverte de fissures liées à un phénomène de corrosion sous contrainte (CSC), sur les tuyauteries du système d'injection de sécurité (RIS) du circuit primaire principal du réacteur 1 de la centrale nucléaire de Civaux (réacteur de type N4), puis sur celui du réacteur 1 de celle de Penly (réacteur de type P'4). Bien que la CSC soit un phénomène connu, qui était déjà survenu sur d'autres composants du parc nucléaire français, ce type de fissure n'était pas attendu sur ces lignes. En effet, celles-ci sont réalisées en acier inoxydable réputé résistant à ce type de dégradation.

Ce phénomène, en conduisant à la fissuration du matériau sur la paroi interne des tuyauteries, les fragilise mécaniquement. Il est ainsi susceptible de conduire à la rupture des circuits d'injection de sécurité (RIS) ou de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA) en cas de sollicitation mécanique importante. Cette situation a conduit EDF à mettre à l'arrêt ses quatre réacteurs de type N4, jugés les plus sensibles, et à anticiper l'arrêt de plusieurs réacteurs pour réaliser des contrôles.

Ces fissures sont particulièrement difficiles à détecter. EDF a développé en 2022 un nouveau procédé de contrôle notamment par ultrason, permettant de mesurer la profondeur des fissures.

Durant le premier semestre 2022, EDF a engagé un programme approfondi de contrôle et d'expertise⁽¹⁾ sur les différents types de réacteur⁽²⁾. Ce programme lui a permis d'identifier la géométrie des tuyauteries et les contraintes thermomécaniques auxquelles elles sont soumises comme les principaux facteurs susceptibles d'influer sur l'apparition de la CSC, et ainsi d'identifier les réacteurs qui y sont le plus sensibles. EDF a défini une stratégie de contrôle, qui a été validée par l'ASN le 26 juillet 2022.





Préparation de la tuyauterie avant pose sur le circuit auxiliaire

Le second semestre 2022 a été consacré à la réparation de plusieurs réacteurs et à l'achèvement des investigations sur les réacteurs les plus sensibles.

Cette problématique a justifié un suivi rapproché par l'ASN, en lien étroit avec l'IRSN, qui a permis une prise de décisions rapides et éclairées.

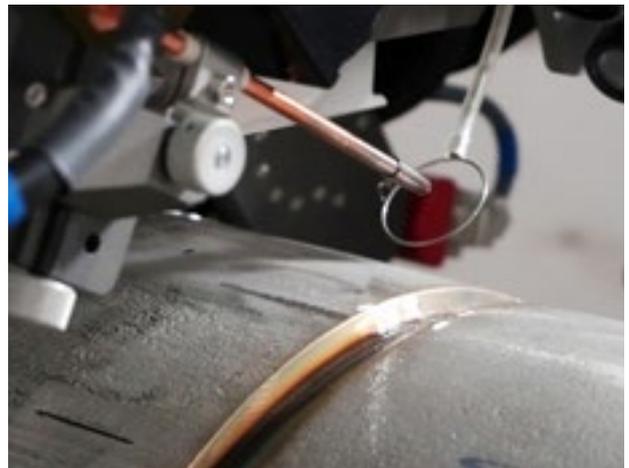
L'ASN considère comme appropriés les choix faits par l'exploitant tant en ce qui concerne les mises à l'arrêt de réacteurs que la conduite d'investigations approfondies.

L'ASN considère qu'EDF a agi en tant qu'exploitant responsable au regard des enjeux de sûreté liés aux fissures mises en évidence sur des équipements dont l'intégrité doit être garantie.

L'ASN a mené plus de 40 inspections dédiées. Ces inspections ont notamment eu lieu dans les services d'ingénierie d'EDF, dans les centrales nucléaires et chez les sous-traitants dans le cadre des opérations de contrôle ou de remplacement de tuyauteries.

Le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN), les commissions locales d'information (CLI) et, plus largement, le public au travers de réunions et de notes d'information, ont été informés des étapes importantes de ce dossier. L'ASN a eu des échanges réguliers avec ses homologues étrangères, dont plusieurs ont prévu de demander des contrôles sur ce sujet.

Les réacteurs du parc français seront contrôlés, à l'aide du nouveau moyen de contrôle développé par EDF, d'ici fin 2025. EDF procédera en 2023 au remplacement préventif systématique des zones d'intérêt des lignes sensibles des réacteurs de type P'4⁽³⁾.



Entraînement au soudage

Le réacteur EPR de Flamanville fait par ailleurs l'objet d'une analyse et de contrôles vis-à-vis de cette problématique.

L'ASN restera mobilisée, avec l'appui technique de l'IRSN, sur ce dossier en 2023, et suivra avec attention les résultats des contrôles mis en œuvre par EDF. Elle instruira les évolutions de la stratégie d'EDF qui pourraient en découler.

Pour disposer des dernières informations sur le sujet :
asn.fr/l-asn-contrôle/corrosion-sous-contrainte

1. Plus de 110 expertises métallurgiques ont été réalisées en laboratoires, après découpe de soudures sur plusieurs réacteurs. De nouvelles expertises sont à venir pour consolider les connaissances acquises.

2. Les réacteurs sont classés selon leur modèle – on parle de « palier » – et selon la puissance électrique qu'ils fournissent : 900 mégawatts électriques (MWe), 1300 MWe et 1450 MWe.

Il y a **32 réacteurs de 900 MWe** : 4 réacteurs du palier CP0 (4 à Bugey) et 28 réacteurs du palier CPY (4 au Tricastin, 6 à Gravelines, 4 à Dampierre-en-Burly, 4 au Blayais, 4 à Chinon, 4 à Cruas-Meysses et 2 à Saint-Laurent-des-Eaux).

Les **20 réacteurs de 1300 MWe** se subdivisent en deux paliers : le palier P4 avec 8 réacteurs (4 à Paluel, 2 à Saint-Alban et 2 à Flamanville) et le palier P'4 avec 12 réacteurs (2 à Belleville-sur-Loire, 4 à Cattenom, 2 à Golfech, 2 à Nogent-sur-Seine et 2 à Penly).

Les **réacteurs de 1450 MWe sont au nombre de 4**, du palier N4 (2 à Chooz et 2 à Civaux).

3. À l'exception de celles du réacteur 4 de la centrale de Cattenom, sur lequel les expertises réalisées en 2022 n'avaient pas révélé de fissures de CSC. EDF définira la stratégie concernant ce réacteur à l'issue de contrôles prévus en 2023.

Impact de la canicule et de la sécheresse de l'été 2022 sur les centrales nucléaires



Centrale nucléaire de Saint-Alban (Isère)

L'année 2022 a été marquée en France par plusieurs épisodes caniculaires intenses, une sécheresse historique et une situation inédite de tension sur les ressources énergétiques. Dans ce contexte, de nombreux cours d'eau en France ont vu leur débit se réduire et leur température s'élever. L'ASN s'est assurée que cette situation n'a pas eu de conséquence sur la sûreté des centrales nucléaires et le bilan de la surveillance de l'environnement, réalisé fin 2022, n'a pas mis en évidence d'impact à l'aval des installations. La fréquence de ce type d'épisodes extrêmes pourrait augmenter dans les années à venir. La gestion de leurs conséquences nécessitera une consolidation des connaissances scientifiques sur l'impact environnemental des rejets et des prélèvements en eau, ainsi qu'une anticipation des enjeux globaux à long terme.

Une période de canicule et de sécheresse a trois conséquences principales sur le fonctionnement des réacteurs nucléaires.

Le fonctionnement des équipements participant à la sûreté du réacteur en période de canicule

Les fortes chaleurs ont entraîné des températures élevées de l'air, provoquant une augmentation de la température dans les locaux des centrales nucléaires. Au sein de ces locaux, le bon fonctionnement des équipements contribuant à la sûreté des réacteurs nucléaires est assuré jusqu'à une certaine température ambiante. Des équipements de ventilation et de climatisation sont nécessaires pour que cette température ne soit pas dépassée. Depuis les canicules de 2003 et 2006, EDF a renforcé les capacités des dispositifs de ventilation et de climatisation des locaux dans lesquels sont situés les systèmes de sûreté. Les températures auxquelles doivent faire face les réacteurs sont définies dans la démonstration de sûreté à fin 2022 ; elles sont régulièrement réévaluées, notamment à l'occasion des réexamens périodiques. Ces réévaluations prennent en compte les évolutions climatiques.

Lors des épisodes caniculaires de l'été 2022, les températures maximales relevées dans les locaux des centrales nucléaires sont restées inférieures aux températures considérées dans la démonstration de sûreté.

L'ASN n'a pas relevé de conséquence de ces fortes températures sur la sûreté des réacteurs.

La puissance produite par les réacteurs en situation de température élevée des cours d'eau

Pour contribuer au refroidissement de ses réacteurs, une centrale nucléaire prélève de l'eau dans un cours d'eau ou dans la mer. Cette eau est ensuite restituée au cours d'eau ou à la mer à une température plus élevée, soit directement (réacteur dit « en circuit ouvert »), soit après refroidissement dans des tours aéroréfrigérantes (réacteur dit « en circuit fermé ») qui permettent une évacuation partielle de la chaleur dans l'atmosphère.

Cette eau rejetée par la centrale nucléaire entraîne une élévation de la température du cours d'eau entre l'amont et l'aval du rejet. Cette élévation peut aller, suivant les réacteurs, de quelques dixièmes de degrés (en cas de circuit fermé) à plusieurs degrés (en cas de circuit ouvert). Afin d'en maîtriser les conséquences sur l'environnement, les conditions thermiques de ces rejets sont encadrées par des décisions de l'ASN, propres à chaque centrale nucléaire. Les prescriptions fixées imposent des valeurs limites concernant la température de rejet des eaux de refroidissement dans le milieu naturel et l'échauffement en aval de la centrale nucléaire, ainsi que des modalités de surveillance de l'environnement. Ainsi, quand la température du cours d'eau à l'amont de la centrale est trop élevée, EDF doit réduire la puissance produite par les réacteurs, voire les arrêter, afin de respecter les valeurs limites associées à la température en aval.

Entre juillet et septembre 2022, les épisodes caniculaires et la sécheresse ont conduit à une élévation de température de certains cours d'eau utilisés pour le refroidissement des centrales nucléaires, dont en particulier le Rhône, la Garonne et l'estuaire de la Gironde. Toutefois, les enjeux de sécurité du réseau électrique d'une part, puis de préservation des réserves de gaz naturel et d'eau des barrages hydroélectriques en vue de l'automne et de l'hiver d'autre part, ont conduit EDF à solliciter la modification temporaire des prescriptions encadrant les rejets thermiques de ces centrales nucléaires.

Après examen des enjeux liés à la protection de l'environnement, l'ASN a adopté successivement quatre décisions fixant des prescriptions temporaires relatives aux rejets thermiques des centrales nucléaires de Golfech, Bugey, Saint-Alban, Blayais et Tricastin, sur une période allant du 15 juillet au 11 septembre. L'ASN a également prescrit à EDF d'exercer une surveillance renforcée du milieu aquatique avec des prélèvements et des mesures.

Ces centrales nucléaires n'ont eu recours aux dispositions temporaires que pour une durée cumulée de 24 jours (9 jours pour Tricastin, 8 jours pour Bugey, 6 jours pour Golfech et 1 jour pour Saint-Alban). La centrale nucléaire du Blayais a pu maintenir sa production électrique sans avoir à recourir à ces dispositions temporaires.

Les premiers résultats de la surveillance renforcée de l'environnement prescrite par l'ASN ne montrent pas d'impact entre l'amont et l'aval des centrales nucléaires concernées sur les paramètres physico-chimiques, ni sur les valeurs de microbiologie (bactéries). Aucune mortalité piscicole ou altération de l'état de santé du milieu entre l'amont et l'aval des centrales nucléaires concernées n'a été identifiée.

L'ASN a également réalisé des inspections en lien avec l'application de ces décisions. Elle n'a pas mis en évidence d'écart par rapport aux dispositions qu'elle a prescrites.

La gestion des effluents radioactifs en période de sécheresse

Le débit du cours d'eau peut également empêcher EDF de rejeter les effluents liquides issus des réacteurs nucléaires. Afin de limiter l'impact de ces rejets sur le milieu récepteur, l'ASN a fixé, pour chaque centrale implantée en bord de rivière, une valeur minimale du débit du cours d'eau en deçà de laquelle les rejets d'effluents radioactifs ne peuvent être réalisés. En deçà de ces valeurs, EDF doit entreposer ces effluents dans l'attente de conditions de débit favorables. Les centrales nucléaires disposent de réservoirs de secours offrant des capacités d'entreposage d'effluents supplémentaires pour faire face à des situations exceptionnelles, dont l'utilisation doit faire l'objet d'un accord préalable de l'ASN.

Au cours de l'année 2022, l'ASN a accordé à EDF la possibilité d'utiliser un ou deux réservoirs de secours pour les centrales nucléaires de Belleville-sur-Loire, Cattenom, Chinon, Dampierre-en-Burly, Nogent-sur-Seine et Saint-Laurent-des-Eaux, pendant les périodes au cours desquelles les débits des cours d'eau étaient les plus faibles et ne lui permettaient plus d'effectuer des rejets d'effluents radioactifs.

L'ASN analysera les conséquences du changement climatique sur la sûreté des centrales nucléaires et la protection de l'environnement dans le cadre de la démarche qu'elle lance sur la poursuite de fonctionnement de ces installations jusqu'à et au-delà de 60 ans.

L'ASN se mobilise dans le cadre de la guerre en Ukraine

La guerre en Ukraine fragilise la sûreté des installations nucléaires, dont certaines se situent dans des zones de combat. Si ces installations offrent, de manière générale, des niveaux de robustesse importants contre les agressions externes d'origine naturelle ou industrielle, elles ne sont pour autant pas conçues pour résister à toute la panoplie des armes et munitions d'un conflit armé.

Bien qu'à ce jour, aucun accident ni relâchement de radioactivité n'ait été observé, l'année 2022 aura été marquée par une succession d'événements qui affectent, de manière durable et préoccupante, la sûreté des quatre sites nucléaires du pays, tout particulièrement celui hébergeant la centrale nucléaire de Zaporijia.

Dès le mois de février, l'ASN s'est mobilisée avec ses homologues pour pouvoir, en cas d'événement sur une installation nucléaire ukrainienne, assister les pouvoirs publics de manière coordonnée.

La guerre en Ukraine fragilise la sûreté des installations nucléaires

Dès le début de la guerre, en février 2022, les installations nucléaires ukrainiennes ont été au cœur du conflit et leur sûreté en a été durablement affectée.

Des dommages liés à des bombardements ont été constatés très tôt sur le site de Kharkiv, sur un site de stockage de déchets radioactifs près de Kiev et sur la centrale nucléaire de Zaporijia.

Des pertes d'alimentation électrique⁽¹⁾ ont affecté la centrale nucléaire de Tchernobyl en mars puis, de manière répétée depuis le mois d'août, celle de Zaporijia, où se trouvent six des quinze réacteurs de production d'énergie nucléaire du pays.

Mais la sûreté nucléaire n'est pas qu'une question technique et d'état des installations : elle repose aussi sur les hommes et les organisations. Au début du conflit, sur le site de Tchernobyl, le personnel ukrainien présent n'a été relevé qu'après plus de deux semaines d'occupation russe ; cette absence de relève a en soi constitué un facteur de fragilisation de la sûreté.

Les préoccupations actuelles sur la centrale nucléaire de Zaporijia portent elles aussi sur des questions organisationnelles et humaines avec la prise de contrôle du site par les Russes et le fait que ces derniers ont remplacé plusieurs dirigeants ukrainiens par des personnels qu'ils ont nommés.



Centrale nucléaire de Zaporijia – septembre 2022

Cette situation soulève des questions sur la clarté de la chaîne de responsabilités et de prise de décision, qui est pourtant essentielle dans les situations où plusieurs options sont possibles et où une décision doit être prise rapidement et exécutée de façon fiable.

De plus, dans le contexte actuel d'actes de guerre à proximité de la centrale, les équipes sont soumises à un stress permanent ainsi que, selon l'Autorité de sûreté nucléaire ukrainienne (*State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine – SNRIU*), à des pressions



Le directeur général de l'AIEA, Rafael Mariano Grossi, inspecte les dommages causés par des bombardements lors de sa visite à Zaporijia en septembre 2022

physiques et psychologiques de la part des occupants russes. Elles ne sont donc pas dans les meilleures conditions pour réagir sereinement en cas d'incident et pour réaliser correctement leur travail quotidien.

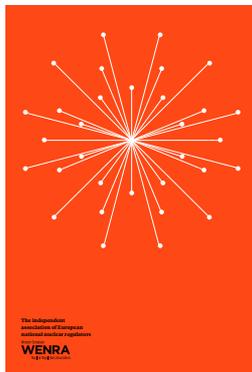
En outre, SNRIU a de plus en plus de mal à exercer son contrôle sur la centrale nucléaire de Zaporijia, puisqu'elle n'a plus accès au site depuis son occupation par les Russes et ne reçoit que peu d'informations directes en provenance du site.

Enfin, aux incertitudes sur la capacité de l'exploitant et de SNRIU à gérer une éventuelle situation d'accident sur la centrale, s'ajoute la question de la capacité des autorités à mettre en œuvre les mesures de protection des populations qui seraient nécessaires.

La mobilisation et les actions de l'ASN

Dès le début du conflit, les autorités de sûreté nucléaire se sont mobilisées de manière préventive, notamment à l'échelle européenne, pour pouvoir, en cas d'événement sur une installation nucléaire ukrainienne, assister de manière coordonnée les pouvoirs publics. Diverses initiatives ont été conduites pour rappeler les principes internationaux du droit nucléaire, établir des points de la situation, partager les analyses sur son évolution possible au plan de la sûreté et fournir à SNRIU et au gouvernement ukrainien une assistance matérielle ou humaine.

L'ASN a assisté le Groupement européen des autorités de sûreté nucléaire (*European Nuclear Safety Regulators Group – ENSREG*) dans ses analyses de la situation et ses prises de position. Elle a, en outre, coordonné la réponse nationale établie dans le cadre du



réseau RANET (*Response Assistance Network*) pour répondre aux besoins formulés par l'Ukraine en matière de moyens de protection individuelle et de radioprotection.

Au titre des fonctions de président de l'association qu'occupe son directeur général, l'ASN a initié au sein de l'Association des autorités de sûreté nucléaire des pays d'Europe de l'Ouest (*Western European Nuclear Regulators' Association – WENRA*) la mise en place d'un groupe d'experts spécifiquement mandaté pour conduire des activités en lien avec la guerre en Ukraine.

Ce groupe d'experts a conduit, de manière régulière, des analyses techniques sur des situations présentant des enjeux en matière de sûreté et a rendu publiques les positions qui en ont résulté. Ces positions, axées sur les conséquences potentielles en cas d'aggravation de la situation, expriment la vision commune des régulateurs sur la sûreté des installations concernées, les délais disponibles pour réagir et les éventuels impacts d'une dégradation de la situation.

En outre, afin d'harmoniser les recommandations en cas d'accident, ce groupe d'experts a recensé les capacités disponibles en Europe pour modéliser la progression d'un accident et la dispersion des rejets, et a réalisé une comparaison des résultats sur un cas test qui a permis de recaler les différents modèles pour en améliorer la cohérence.

Ces actions se poursuivront tant que la situation de la sûreté nucléaire en Ukraine ne sera pas revenue à la normale.

1. Les lignes électriques servent à évacuer le courant produit par les centrales nucléaires mais aussi à permettre le refroidissement du combustible lorsque la centrale est à l'arrêt ou, s'agissant des installations autres que les centrales, à assurer leur bon fonctionnement.