

# RETOUR D'EXPÉRIENCE DES PROJETS D'EPR DANS LE MONDE

## LE PROJET EPR

Le projet EPR a été initié à la fin des années 1980 dans le cadre d'une collaboration franco-allemande visant à développer un nouveau type de réacteur nucléaire. Son objectif principal était d'améliorer la sûreté et la protection de l'environnement par rapport aux réacteurs existants.

Ce réacteur évolutionnaire intègre des améliorations significatives en termes de sûreté, notamment la réduction de l'exposition aux radiations des travailleurs et du public, la réduction des risques d'incidents d'exploitation et de fusion du cœur, ainsi que la limitation des rejets radioactifs en cas d'accident.

1. Défense en profondeur renforcée : Le réacteur EPR est conçu avec plusieurs barrières de protection pour prévenir les accidents et limiter leurs conséquences. Ces barrières comprennent des systèmes de contrôle et de sauvegarde redondants ainsi que des dispositifs pour prévenir la fusion du cœur en cas d'incident.
2. Redondance des systèmes de sauvegarde : Le réacteur EPR est équipé de plusieurs trains de sûreté indépendants. Un seul train est suffisant pour ramener le réacteur dans un état sûr, ce qui facilite les opérations de maintenance et améliore la robustesse du système.
3. Résistance aux agressions internes et externes : Le réacteur EPR est conçu pour résister aux agressions internes telles que les incendies, les inondations et les explosions, ainsi qu'aux agressions externes comme les séismes, les chutes d'avion et les conditions climatiques extrêmes. Des dispositifs spécifiques sont prévus pour chaque type d'agression afin de maintenir l'intégrité du réacteur et de prévenir les accidents.
4. Limitation des rejets radioactifs : En cas d'accident grave, des dispositifs sont prévus pour limiter les rejets radioactifs dans l'environnement. Ces dispositifs comprennent un récupérateur de corium pour refroidir le cœur fondu et un système de refroidissement ultime pour évacuer la chaleur résiduelle du réacteur. Ces mesures visent à réduire les conséquences potentielles sur la population et l'environnement.

5.

1 <sup>er</sup> niveau	Prévention des anomalies du fonctionnement normal et des défaillances d'équipements et les erreurs humaines (qualité de conception, de réalisation, conditions d'exploitation)
2 <sup>ème</sup> niveau	Maintien de l'installation dans le domaine de fonctionnement autorisé grâce à la surveillance et à la détection des écarts - Prévention des accidents
3 <sup>ème</sup> niveau	Maîtrise des accidents - Prévention d'un accident grave - Limitation des rejets dans l'environnement - Objectif principal : sauvegarde du cœur
4 <sup>ème</sup> niveau	Maîtrise des accidents graves - Limitation des rejets dans l'environnement - Objectif principal : sauvegarde du confinement
5 <sup>ème</sup> niveau	Limitation des conséquences pour les populations

Figure 1 : Les niveaux de défense en profondeur

Malgré ses avantages, le projet EPR a été confronté à des défis techniques et réglementaires, notamment en raison de sa longue durée de développement, qui a entraîné des évolutions de la réglementation et des difficultés de gestion des interfaces. Cependant, les progrès réalisés dans le cadre de ce projet ont contribué à renforcer les capacités techniques et la culture de sûreté dans l'industrie nucléaire, tout en consolidant la collaboration internationale dans ce domaine.

# ALEAS TECHNIQUES RENCONTRÉS PAR EDF SUR LE PROJET EPR

## *GÉNIE CIVIL*

L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a accordé une attention particulière à la phase de génie civil de l'EPR de Flamanville, effectuant environ 25 inspections annuelles sur le site. Ces inspections ont révélé plusieurs écarts dans la réalisation des ouvrages, notamment des défauts dans la documentation, les méthodes de bétonnage, le traitement des reprises de bétonnage, la mise en place du ferrailage et les méthodes de soudage.

Ces écarts ont été attribués à des dysfonctionnements dans l'organisation d'EDF et des sous-traitants, ainsi qu'à des choix techniques du groupement d'entreprises en charge des travaux. EDF a renforcé son action de surveillance des travaux et a mis en place une équipe de liaison entre les études et les travaux en réponse aux constats des inspections de l'ASN et des avis de l'IRSN.

L'allotissement des contrats de travaux de génie civil a également posé des difficultés, en particulier en ce qui concerne la précontrainte de l'enceinte interne. Certains travaux ont été réalisés sur la base d'études d'exécution finalisées tardivement et certains plans d'exécution n'étaient pas conformes aux règles de l'art.

Ces difficultés organisationnelles entre la maîtrise d'œuvre des études et celle du chantier ont été soulignées, et des améliorations ont été apportées à la maîtrise du chantier par EDF. Les écarts détectés ont généralement donné lieu à des actions correctives ou ont été justifiés par EDF pour assurer le respect des exigences de sûreté.

## *COMPOSANTS DU CIRCUIT PRIMAIRE ET DES CIRCUITS SECONDAIRES*

La conception et le fonctionnement du réacteur EPR de Flamanville impliquent plusieurs composants cruciaux, notamment la cuve en acier revêtue d'une peau en acier inoxydable, qui abrite les assemblages combustibles et constitue la deuxième barrière de confinement de la radioactivité. Les boucles de refroidissement du circuit primaire évacuent la chaleur des assemblages combustibles via des générateurs de vapeur.

Des anomalies ont été détectées sur certains composants du circuit primaire et des circuits secondaires. Notamment, une anomalie de fabrication affectant l'acier de la cuve a été découverte, conduisant à la nécessité de remplacer le couvercle avant décembre 2024. Des écarts ont également été observés sur les soudures du circuit primaire, nécessitant des recontrôles et des actions correctives.

En outre, des vibrations importantes de la ligne d'expansion du pressuriseur ont été observées, nécessitant l'installation d'un amortisseur dynamique pour limiter les dommages potentiels.

Des problèmes ont également été rencontrés avec les soupapes du pressuriseur, nécessitant des ajustements et des programmes d'essais pour garantir leur fiabilité.

Enfin, des anomalies ont été détectées sur les soudures des tuyauteries de vapeur principales des circuits secondaires, entraînant la reprise de plusieurs dizaines de soudures pour assurer la conformité aux exigences de sûreté.

## *SYSTÈMES DE SÛRETÉ*

Le contrôle-commande joue un rôle essentiel dans la sûreté des réacteurs nucléaires en surveillant l'état de l'installation, en régulant les processus et en assurant la protection. Il se compose de trois éléments principaux : les interfaces avec le procédé, les automates chargés du traitement des mesures et des ordres, et les interfaces avec les opérateurs et les équipes de maintenance.

Dans le cas de l'EPR, le contrôle-commande est numérique, offrant des capacités avancées mais nécessitant une maîtrise accrue en termes de sûreté. Les principaux systèmes incluent la protection du réacteur, la gestion des situations accidentelles à moyen terme, ainsi que des moyens de conduite pour les opérateurs.

L'architecture du contrôle-commande est soigneusement conçue pour éviter les défaillances potentielles et assurer la sûreté. Des plateformes comme Teleperm XS et SPPA T2000 sont utilisées, nécessitant une preuve de sûreté postérieure dans le cas de cette dernière.

Concernant la filtration de l'eau de l'IRWST, des dispositifs sont mis en place pour éviter le colmatage des filtres, essentiel pour maintenir le système d'injection de sécurité en fonctionnement optimal. Des tests ont été réalisés pour améliorer la performance des filtres et réduire les risques associés.

Pour les échangeurs entre le circuit de réfrigération intermédiaire et le circuit d'eau brute secourue, des problèmes de performance thermique ont été identifiés. EDF propose une stratégie de résorption en deux phases pour remédier à ces problèmes, comprenant des modifications matérielles et le remplacement des échangeurs.

### *RETOUR D'EXPÉRIENCE DES EPR DE TAISHAN*

Les premiers réacteurs EPR, notamment ceux de Taishan en Chine, ont été confrontés à divers défis lors de leur mise en service, nécessitant des ajustements et des adaptations pour garantir leur sûreté.

Tout d'abord, des écarts entre la distribution de puissance mesurée et celle calculée ont été observés lors des premières mesures dans le cœur du réacteur de Taishan. Cela a conduit à des ajustements des logiciels utilisés pour les calculs de sûreté, ainsi qu'à des adaptations des critères des essais physiques pour l'EPR de Flamanville.

De plus, des fluctuations du niveau de puissance entre les quadrants du cœur ont été observées à Taishan, dues à des oscillations radiales des assemblages combustibles. Ces oscillations peuvent entraîner des déclenchements intempestifs de l'arrêt automatique du réacteur, nécessitant des modifications du système de protection pour l'EPR de Flamanville.

Par ailleurs, des pertes d'étanchéité de crayons de combustible ont été constatées à Taishan, attribuées à des ruptures de ressorts de maintien dans les grilles d'assemblages combustibles. Ces pertes d'étanchéité ont conduit à des arrêts prématurés du réacteur et à des remplacements d'assemblages combustibles pour l'EPR de Flamanville, avec l'utilisation de grilles bénéficiant d'un traitement thermique pour réduire la sensibilité à la corrosion sous contrainte.

Enfin, des défaillances des collecteurs, des capteurs mesurant le flux neutronique, ont été observées à Taishan, entraînant une perte de précision du système de surveillance et de protection du cœur. Ces défaillances ont des implications sur le domaine d'exploitation du réacteur, nécessitant une vigilance accrue et des ajustements en temps réel pour maintenir la sûreté.

Dans l'ensemble, ces retours d'expérience soulignent l'importance de la surveillance continue et de l'adaptabilité des réacteurs nucléaires pour garantir leur sûreté tout au long de leur exploitation.

## CONCLUSION

Le rapport sur le projet EPR FA3 met en lumière les défis techniques rencontrés pendant sa réalisation, en particulier liés à la complexité du projet, des délais prolongés, des choix de conception et des évolutions réglementaires. Ces défis ont entraîné des écarts de conformité, touchant des éléments essentiels pour la sûreté de l'installation. EDF a pris des mesures correctives pour certains écarts, tandis que d'autres ont nécessité un traitement différé après la mise en service. Des contrôles supplémentaires ont été effectués pour garantir la conformité des composants critiques. Des enseignements ont été tirés pour améliorer l'organisation du projet et les activités de surveillance, notamment en impliquant davantage les prestataires dès le début du projet. Les choix de conception pour l'EPR2 intègrent ces enseignements.