

Chapitre 15

Aspects spécifiques aux piscines d'entreposage du combustible des réacteurs à eau sous pression

La piscine d'entreposage du combustible (plus précisément des assemblages combustibles), est située dans le bâtiment du combustible (BK) des réacteurs à eau sous pression français (voir la figure 15.1). Elle est utilisée d'une part pour entreposer les combustibles usés (irradiés) dans l'attente de la décroissance de la puissance résiduelle qu'ils dégagent à une valeur suffisamment faible pour permettre leur évacuation du site (d'où l'appellation couramment utilisée de piscine de désactivation), d'autre part pour accueillir temporairement, au cours des arrêts de tranche, les combustibles neufs ou usés destinés à être chargés ou rechargés pour effectuer le cycle de fonctionnement à venir. Selon les paliers de réacteurs, la capacité d'entreposage varie entre quelque 300 et 600 assemblages combustibles; elle est de 1000 assemblages combustibles pour le réacteur EPR Flamanville 3.

Le système de refroidissement de la piscine (système PTR) est équipé de deux pompes alimentées respectivement par l'une des deux voies électriques secourues et de deux échangeurs de chaleur (cas des réacteurs de 900 MWe⁴⁸⁶, de 1300 MWe et de 1450 MWe – le cas du réacteur EPR est abordé plus loin). À la différence du circuit de refroidissement du réacteur, le circuit de refroidissement de la piscine n'est pas sous pression car, dans tous les réacteurs, il est connecté en permanence à la piscine.

486. Hormis les réacteurs de la centrale nucléaire du Bugey, qui disposent de trois échangeurs.

L'exigence de conception qui a été retenue pour ce circuit est que, même en cas de défaillance de l'un de ses composants (pompe, échangeur...), la température de l'eau dans la piscine n'excède pas 80 °C, cela permettant d'éviter l'ébullition de l'eau. Il ne constitue donc pas un circuit de « haute énergie » et une rupture brutale de ce circuit a été considérée, lors de sa conception, comme très improbable.

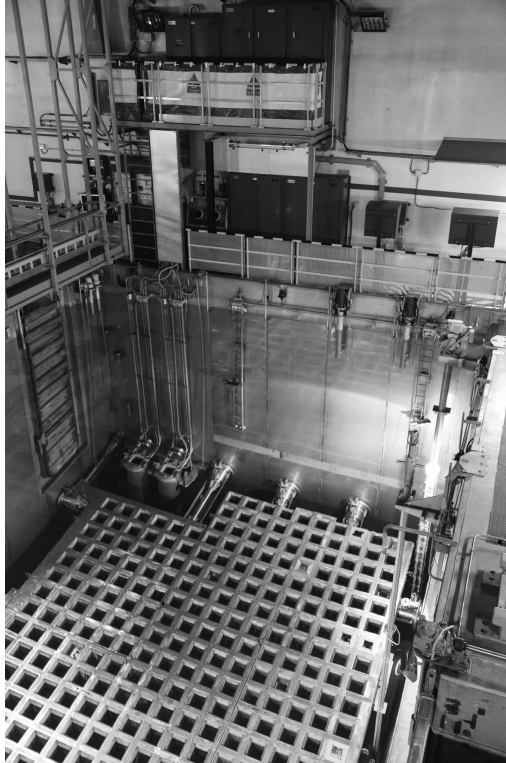


Figure 15.1. Vue de la piscine et des râteliers d'entreposage du combustible à la centrale nucléaire de Saint-Laurent-des-Eaux. Laurent Zylberman/Graphix-Images/Médiathèque IRSN.

Compte tenu des dispositions retenues pour le passage des assemblages combustibles entre le bâtiment du combustible et le bâtiment du réacteur par le tube de transfert, le plancher de service de la piscine d'entreposage du combustible est situé entre 20 et 26 mètres au-dessus de la plateforme du réacteur, pour une profondeur du bassin d'entreposage comprise entre 12 et 13,7 mètres. Le volume du compartiment d'entreposage est supérieur à 1 000 m³. Lors de la conception des différents paliers de réacteurs, la puissance résiduelle maximale retenue pour le combustible qui pourrait y être entreposé était comprise entre 5 et 8 MW pour les réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe (14 MW pour les réacteurs du palier N4)⁴⁸⁷. Avec cette hypothèse, le délai avant l'atteinte de

487. Valeurs enveloppes en situations de déchargement complet du combustible du cœur des réacteurs.

phénomènes pouvant altérer brutalement le combustible en cas de perte totale de refroidissement (« effets falaise ») était important : ainsi, pour les réacteurs de 900 MWe du palier CPY, le délai avant l'ébullition de l'eau de la piscine était évalué à 14 heures et le délai avant le début de découverture d'assemblages combustibles entreposés était supérieur à quatre jours, sans mise en service d'un moyen d'appoint d'eau de secours.

Sur la base de ces éléments, il a été considéré à la conception que la probabilité d'occurrence d'un accident de refroidissement d'une piscine d'entreposage de combustible était faible. Toutefois, après quelques années d'exploitation, la réduction sensible de la durée entre l'arrêt des réacteurs et le déchargement du combustible du cœur a conduit à augmenter la puissance résiduelle du combustible entreposé en piscine en fin de déchargement⁴⁸⁸. Il est alors apparu au fil du temps que des évolutions de la conception initiale devaient être mises en œuvre pour améliorer le niveau de sûreté des piscines d'entreposage du combustible.

Il est par ailleurs à noter qu'il n'y a pas eu, depuis le démarrage des différents réacteurs du parc électronucléaire français, d'irradiations de personnels liées aux piscines d'entreposage du combustible.

15.1. Conception des piscines d'entreposage du combustible

15.1.1. Barrières de confinement

Les piscines d'entreposage du combustible des réacteurs à eau sous pression français (voir la figure 15.2) sont situées en dehors de leurs enceintes de confinement⁴⁸⁹ et les bâtiments correspondants, dits BK, ne font pas l'objet d'une exigence d'étanchéité. Ils bénéficient cependant d'un confinement dynamique assuré par des systèmes de ventilation qui les maintiennent, en conditions normales, en dépression et qui assurent par ailleurs la filtration de certains radionucléides en cas d'incident ou d'accident (filtres à très haute efficacité [THE] et pièges à iode [PAI]).

Trois barrières de confinement peuvent être considérées pour l'entreposage et la manutention des combustibles irradiés sous eau :

- les gaines des crayons combustibles ;
- l'eau entourant les crayons combustibles, qui assure une rétention des radionucléides non gazeux en cas d'endommagement de gaines – il convient aussi de mentionner les structures en béton et la peau d'étanchéité de la piscine, qui constituent des « barrières » physiques latéralement et en fond de piscine ;
- le système de confinement dynamique et de filtration associé au bâtiment BK.

488. L'augmentation des taux de combustion a également eu une influence sur cette augmentation de la puissance résiduelle.

489. Pour l'EPR, la coque avion, qui recouvre le bâtiment du combustible, ne permet pas d'assurer le confinement d'une radioactivité qui serait relâchée à l'intérieur de celle-ci.

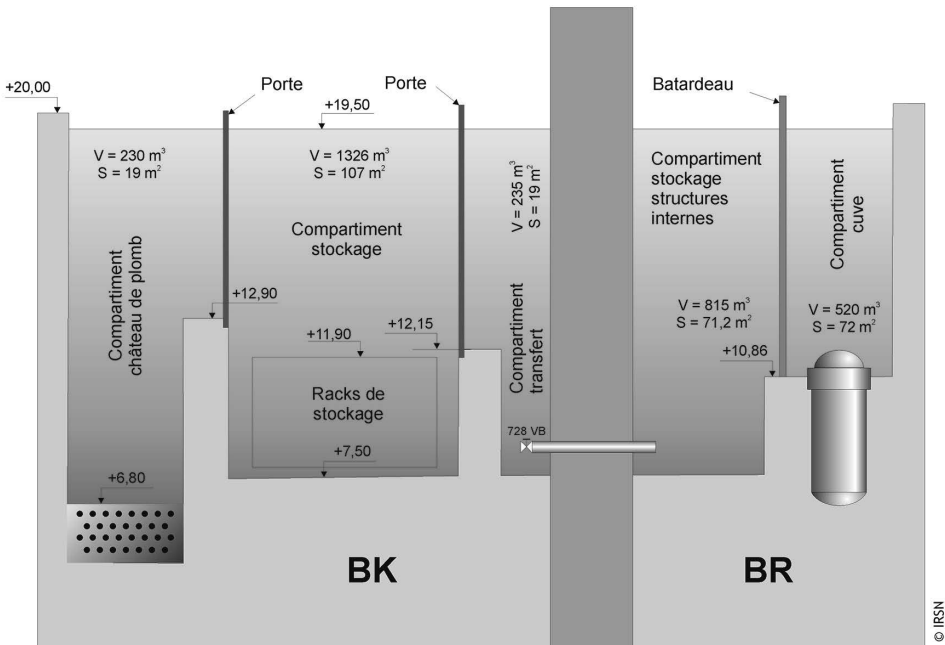


Figure 15.2. Vue en coupe des piscines du bâtiment du réacteur (BR) et du bâtiment du combustible (BK) d'un réacteur de 900 MWe du palier CPY, avec les différents compartiments. IRSN.

Cependant, un accident qui conduirait à l'ébullition de l'eau ou à la vidange d'un compartiment contenant du combustible usé est susceptible d'entraîner une perte plus ou moins rapide de l'eau et, à terme, un endommagement des gaines exposées à l'air.

En outre, la vaporisation d'une quantité importante d'eau en cas d'échauffement de la piscine conduirait à arrêter les circuits d'extraction et de filtration du système de ventilation du bâtiment du combustible. Le confinement dynamique ne serait donc pas maintenu. Pour éviter le transfert de vapeur d'eau dans les différents locaux de ce bâtiment (ce qui serait préjudiciable notamment à une intervention visant à effectuer un appoint d'eau dans la piscine), le hall situé au-dessus du plancher de service de la piscine devrait alors être ouvert vers l'extérieur afin de créer un exutoire.

En conséquence, le confinement du bâtiment du combustible ne serait pleinement opérationnel que dans certaines situations accidentelles portant atteinte à l'intégrité des gaines des assemblages combustibles, telles que les accidents de maintenance. *A contrario*, les conséquences radiologiques du dénoyage d'un ou plusieurs assemblages qui conduirait à la fusion de combustible ne pourraient pas être sensiblement réduites par ce confinement. De plus, une telle fusion de combustible pourrait être accompagnée de phénomènes énergétiques, tels qu'une explosion de l'hydrogène produit par l'oxydation des gaines des assemblages combustibles, qui pourrait souffler la partie supérieure du bâtiment du combustible, ou un feu de zirconium.

La fusion d'assemblages dans le bâtiment du combustible est donc un accident qui pourrait entraîner des rejets radioactifs très importants dans l'environnement. L'«élimination pratique»⁴⁹⁰ d'une telle situation doit donc être recherchée; elle est explicitement mentionnée dans les directives techniques applicables au réacteur EPR (on y reviendra au paragraphe 15.5).

15.1.2. Événements initiateurs retenus à la conception

Comme cela a été indiqué dans l'introduction du présent chapitre, le système de refroidissement des piscines de désactivation du parc électronucléaire (hors EPR dont il sera question plus loin) a été conçu en respectant le critère de défaillance unique pour certains équipements et comporte deux pompes et deux échangeurs de chaleur; l'exigence est que, en cas de défaillance de l'un de ces composants, la température n'excède pas 80 °C. La prise en compte d'une défaillance aggravante indépendante de l'événement initiateur, à l'instar de l'approche de sûreté appliquée au réacteur, conduirait à l'ébullition de l'eau de la piscine (en postulant par exemple la défaillance de la deuxième pompe du circuit de refroidissement lors d'un événement initiateur ayant conduit à la défaillance de la première pompe). Il a cependant été estimé que l'inertie thermique de la piscine serait suffisante pour qu'il soit possible de restaurer une voie de refroidissement avant que la température de l'eau n'excède 80 °C.

Par ailleurs, du fait que le circuit de refroidissement de la piscine n'est pas un circuit de «haute énergie», les événements initiateurs de rupture de tuyauterie susceptibles de conduire à une vidange rapide de la piscine de désactivation n'ont pas été considérés.

En conséquence, aucun système d'appoint d'eau en secours n'a été prévu pour compenser une éventuelle baisse du niveau d'eau d'une piscine par évaporation ou par perte d'intégrité d'un circuit connecté à cette piscine. Aucun automatisme spécifique n'a non plus été mis en place pour isoler automatiquement une fuite en cas de détection d'une baisse du niveau d'eau. Par ailleurs, lors des études de conception, l'implantation des tuyauteries connectées à la piscine d'entreposage du combustible n'a pas été spécifiquement étudiée en vue d'éviter, en situation accidentelle, le dénoyage d'un assemblage combustible en cours de manutention, les manutentions correspondantes se faisant sous une hauteur d'eau nettement plus faible que celle de l'eau située au-dessus des assemblages combustibles entreposés. Il peut être aussi noté que la tenue des équipements qui contribuent à l'étanchéité de la piscine, tels que les tuyauteries des circuits de refroidissement et de traitement de l'eau ou les peaux métalliques d'étanchéité des différents compartiments, n'a pas été vérifiée pour des contraintes thermiques correspondant à une température de l'eau supérieure à 80 °C.

490. Voir les paragraphes 8.2.2 et 17.10.2.

Le retour d'expérience d'exploitation a montré que les possibilités d'accident dans les piscines n'avaient pas été suffisamment approfondies. Il va être montré dans les paragraphes qui suivent comment des améliorations ont été progressivement apportées à ces piscines.

15.2. Retour d'expérience

15.2.1. Pertes de refroidissement

15.2.1.1. Perte de la source froide

L'expérience d'exploitation des réacteurs à eau sous pression du parc électro-nucléaire français a montré qu'une agression externe pourrait occasionner une perte totale de la source froide du réacteur et de la piscine de désactivation.

Ainsi, les hivers 1985, 1986 et 1987 ont été marqués par des périodes de froid soutenu avec plusieurs baisses très significatives de débit dans les systèmes de refroidissement, dues à la formation de banquises ou d'amoncellements de blocs de glace devant les prises d'eau des centrales du bord de la Loire⁴⁹¹.

De tels épisodes de « grands froids » pourraient également donner lieu à une prise en glace plus localisée au niveau d'équipements comme les grilles de protection des prises d'eau, induisant une perte de charge singulière. Ce phénomène, dit de frasil, pourrait aussi obstruer les prises d'eau des systèmes de refroidissement.

Plus généralement, l'expérience d'exploitation a montré que les causes envisageables de perte totale de la source froide d'un réacteur et de sa piscine, ou d'un site, sont multiples: une telle perte peut être due à une arrivée massive de colmatants de nature végétale⁴⁹² (algues, branchages...) ou animale (groseilles de mer...), à la dérive d'une nappe d'hydrocarbures, ou encore à un envasement progressif de la prise d'eau... Ce retour d'expérience a fait apparaître que la fréquence des événements de ce type est significative et que la durée de certains événements pourrait être importante (plusieurs jours pourraient être nécessaires pour restaurer la fonction de refroidissement).

Ce retour d'expérience a conduit Électricité de France, lors du réexamen global de la conception des entreposages de combustible en piscines, effectué au début des années 2000, à retenir la possibilité d'une perte totale du refroidissement d'une piscine de désactivation durant quatre jours. Cette situation constitue désormais un événement du « domaine complémentaire » (voir le chapitre 13) pour la vérification du dimensionnement des systèmes permettant de ramener et de maintenir l'installation dans un état sûr.

491. Un exemple en est donné au paragraphe 23.3.

492. Un exemple en est donné au paragraphe 24.2.

15.2.1.2. Risques liés à la maintenance lors des arrêts de tranche

Les périodes d'arrêt de tranche, et notamment celles pendant lesquelles le combustible est complètement déchargé du réacteur, sont les plus favorables à la réalisation de travaux d'entretien, de maintenance et de modification de l'installation (hormis dans les piscines). De nombreux systèmes, dont des systèmes de distribution électrique ou de contrôle-commande, peuvent alors être partiellement ou totalement rendus indisponibles. Or c'est durant ces périodes d'arrêt que la puissance résiduelle du combustible entreposé dans la piscine du bâtiment BK est maximale.

À la conception, il n'a pas été retenu d'assurer une redondance (par la voie électrique B) de l'instrumentation, en voie A, des différents paramètres de la piscine (température et niveau de l'eau, débit de dose au niveau du plancher de service); cela implique que les moyens fixes de surveillance pouvaient être rendus indisponibles lors des interventions de maintenance préventive sur les tableaux électriques de la voie A lors des arrêts de tranche.

De même, le système de ventilation du bâtiment du combustible utilisé en fonctionnement normal est alimenté par la voie A de la distribution électrique; dès lors, les travaux de maintenance sur cette voie peuvent nécessiter un basculement de la ventilation de ce bâtiment sur le circuit de secours dont le débit est nettement moins élevé (réduction du débit d'un facteur trois à cinq pour les réacteurs de 900 MWe et de 1 300 MWe). L'expérience a mis en évidence la possibilité de formation d'un brouillard d'eau dans cette situation, du fait de la température relativement élevée de l'eau de la piscine (voisine de 50 °C). Outre la gêne qui en résulterait pour les opérateurs, cette hygrométrie importante serait de nature à réduire l'efficacité des pièges à iode si les réchauffeurs situés en amont ne jouaient pas pleinement leur rôle.

Enfin, les coupures de tableaux électriques peuvent rendre indisponible l'une des deux pompes du circuit de refroidissement de la piscine. La fonction de refroidissement est alors défiabilisée.

Plusieurs dispositions ont été retenues lors du réexamen global de la conception des entreposages de combustible en piscine évoqué plus haut et mises en œuvre lors d'arrêts de tranche ou dans le cadre de « lots » de modifications effectuées à l'occasion d'arrêts décennaux. Elles ont visé à réduire la probabilité de perte totale du refroidissement d'une piscine ou de perte de l'efficacité du confinement en arrêt de tranche, par exemple le doublement (voie A et voie B) de l'instrumentation surveillant les paramètres de la piscine; d'autres dispositions ont été de nature organisationnelle.

15.2.1.3. Aspiration de corps étrangers dans le circuit de refroidissement

Un bilan de l'expérience d'exploitation établi en 1996 a montré que, depuis le début du démarrage des réacteurs du parc électronucléaire, une douzaine d'événements dus à la présence de corps étrangers dans le circuit de refroidissement PTR, s'étaient

produits. Les corps étrangers pouvaient être de diverses natures (rondelle, aspirateur, panier filtrant, chaîne métallique, caméra, obturateur en mousse, lampe...).

Les durées des interruptions du refroidissement qui en ont résulté ont pu être longues (10 à 20 heures).

Pour éviter le renouvellement de tels événements, Électricité de France a, au début des années 2000, équipé la tuyauterie d'aspiration du circuit PTR de chaque tranche d'une crépine.

15.2.1.4. Dépassement de la puissance résiduelle retenue à la conception

Les systèmes de refroidissement des piscines de désactivation ont été dimensionnés lors de leur conception (initiale) en considérant un déchargement partiel du cœur (équivalent à la recharge d'assemblages neufs) lors des arrêts pour recharge; le déchargement complet d'un cœur n'était envisagé que de manière exceptionnelle, notamment lors des visites décennales des réacteurs. Cela s'est rapidement révélé inadapté à une exploitation efficace. En effet, outre des difficultés de gestion des manutentions des assemblages combustibles et des grappes absorbantes, le maintien d'une partie du cœur dans la cuve du réacteur interdit le « passage à la génératrice inférieure »⁴⁹³ du niveau d'eau dans le circuit primaire, qui est nécessaire à la réalisation de nombreux contrôles. Le déchargement de la totalité du cœur lors des arrêts de tranche s'est donc imposé comme unique solution possible en exploitation.

Par ailleurs, pour réduire les durées des arrêts de tranches en vue d'accroître la disponibilité de ses réacteurs, Électricité de France a cherché à décharger les assemblages combustibles et à les transférer au plus tôt dans la piscine d'entreposage. De ce fait, le délai entre la « convergence » du réacteur (*i.e.* son arrêt) et la fin du déchargement, fixé à 14 jours dans les hypothèses de conception, a été progressivement abaissé à six jours.

Les pratiques d'exploitation développées à cette fin, différentes des hypothèses retenues lors de la conception initiale, ont conduit à une forte augmentation de la puissance résiduelle des combustibles usés entreposés dans les piscines lors des arrêts de tranche. Ainsi, pour les réacteurs de 900 MWe du palier CPY, la puissance résiduelle enveloppe des combustibles entreposés en piscine, fixée initialement à 2,75 MW en situation normale de fonctionnement (5,45 MW en situation exceptionnelle de déchargement complet du cœur) a été réévaluée à 10 MW. Électricité de France a alors transmis à la Direction de la sûreté des installations nucléaires, en 1994, une demande de dérogation au rapport de sûreté, qui a conduit au réexamen global de la sûreté de l'entreposage et de la manutention des assemblages combustibles dans les piscines d'entreposage, déjà évoqué.

493. Abaissement du niveau de l'eau jusqu'à la génératrice inférieure des tuyauteries du circuit primaire.

15.2.2. Pertes d'eau

15.2.2.1. Défaillances de portes ou de batardeaux

Un événement marquant de vidange dû à une perte d'étanchéité de la porte du compartiment de transfert (représenté notamment sur la figure 15.2) a affecté le 16 septembre 1981 le réacteur n° 1 de la centrale nucléaire du Tricastin lors de son premier arrêt pour rechargement, alors que le cœur du réacteur était complètement déchargé. Lors de cet événement (voir le schéma de la figure 15.3), le tube de transfert était ouvert et sa vanne d'isolement ne pouvait pas être refermée (elle se trouvait bloquée par une intervention en cours sur le chariot convoyeur). Le batardeau de la piscine du bâtiment du réacteur (représenté à gauche sur la figure 15.3) aurait normalement dû être remis, mais il était heureusement en place lors de l'événement ; toutefois, son joint d'étanchéité n'était pas gonflé.

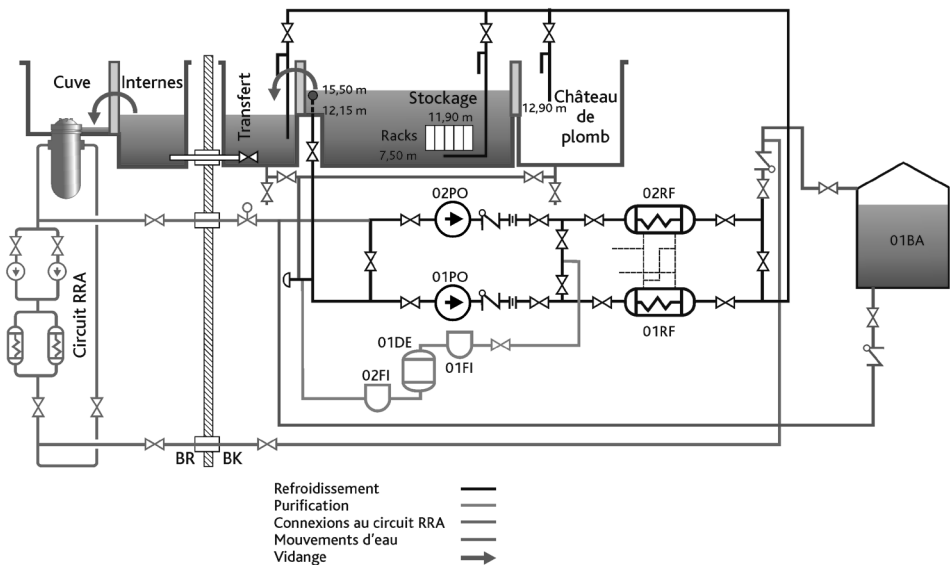


Figure 15.3. Schéma illustrant la vidange accidentelle de la piscine d'entreposage du combustible du réacteur Tricastin n° 1, survenue en 1981. Le circuit de refroidissement PTR est représenté en noir. Le réservoir (ou bache) PTR est représenté à l'extrême droite. IRSN.

La vidange, d'un débit d'environ $10 \text{ m}^3/\text{h}$, a été provoquée dans un premier temps par le dégonflage du joint de la porte de séparation entre le compartiment d'entreposage et le compartiment de transfert à la suite d'une coupure du réseau d'air de régulation (SAR) qui le maintenait sous pression. Par la suite, la réalimentation manuelle de ce joint directement par le circuit d'air comprimé de travail (SAT), sans détendeur, a provoqué son éclatement et une augmentation du débit de vidange (jusqu'à environ $100 \text{ m}^3/\text{h}$). La baisse du niveau d'eau dans le compartiment d'entreposage s'est donc accélérée. Un projecteur normalement immergé a été dénoyé ;

il s'est échauffé ainsi que son câble d'alimentation, ce qui a entraîné le dégagement de vapeurs de chlore. L'éclairage de la piscine a été coupé. Le bâtiment du combustible a alors été évacué, à l'exception d'un agent dont la mission était de surveiller le niveau d'eau dans la piscine.

L'exploitant ayant réussi à gonfler le joint du batardeau de la piscine du bâtiment du réacteur, la vidange a pu être arrêtée en équilibrant à 16,5 mètres le niveau d'eau du compartiment d'entreposage avec celui de l'eau dans les compartiments adjacents, 6 h 30 min environ après le début de l'événement. Au total, 800 m³ d'eau ont été vidangés, mais un appoint à la piscine en cours de vidange a permis de maintenir un niveau supérieur à celui de la tuyauterie d'aspiration du circuit de refroidissement (située à 4 mètres en dessous du niveau nominal de 19,50 mètres de l'eau du compartiment d'entreposage).

À la suite de cet événement significatif et de plusieurs autres, des modifications matérielles ont été mises en place pour réduire la possibilité de perte d'étanchéité des portes et des batardeaux des piscines; il s'agit de la mise en place :

- de manomètres sur les joints gonflables des portes des compartiments du bâtiment du combustible et du batardeau de la piscine du bâtiment du réacteur, des alarmes apparaissant en salle de commande en cas de baisse de pression,
- de soupapes protégeant les joints gonflables du risque d'éclatement,
- d'un joint statique à lèvres assurant l'étanchéité des portes des compartiments du bâtiment du combustible et du batardeau de la piscine du bâtiment du réacteur en complément des joints gonflables équipant ces organes d'isolement.

15.2.2.2. Erreurs de lignage

L'expérience du parc électronucléaire français montre que, dans leur grande majorité, les événements de baisse intempestive du niveau d'eau dans la piscine d'entreposage du combustible sont liés à des erreurs de lignage (environ 70 % des événements).

Les vidanges qui en résultent peuvent être gravitaires ou résulter du fonctionnement d'une pompe. Les débits correspondants peuvent être importants (jusqu'à 1 000 m³/h, soit, en termes de niveau d'eau, la vidange de plus d'un mètre d'eau en dix minutes).

La cause profonde des événements constatés est liée à la conception du système PTR, qui remplit d'autres fonctions que le refroidissement de la piscine d'entreposage du combustible: en effet, il permet aussi de secourir le circuit de refroidissement à l'arrêt du réacteur (RRA) et le réservoir (ou bêche) PTR constitue la réserve d'eau de l'injection de sécurité et de l'aspersion d'eau dans l'enceinte de confinement; le système PTR assure également la vidange et le remplissage des compartiments des piscines du bâtiment du combustible et du bâtiment du réacteur. La conception de la piscine du réacteur EPR est différente (voir au paragraphe 15.5).

Deux événements ont été particulièrement marquants puisqu'ils ont conduit à la perte du refroidissement par le circuit PTR du fait du dénoyage de sa tuyauterie d'aspiration située 4 mètres en dessous du niveau nominal de l'eau dans la piscine d'entreposage du combustible (19,5 mètres). Ces deux événements sont décrits ci-après.

► **Le premier événement** s'est produit le 18 octobre 1983 dans le réacteur B2 de la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux. Le cœur du réacteur était alors complètement déchargé, l'inspection des soudures de la cuve étant en cours. Lors de la remise en configuration du circuit PTR, après un appoint au compartiment des structures internes (représenté notamment sur la figure 15.2) de la piscine du bâtiment du réacteur, la ligne de retour vers le réservoir PTR située au refoulement de la pompe de refroidissement en service a été ouverte par erreur. La piscine d'entreposage s'est alors vidangée vers ce réservoir. L'alarme signifiant le déclenchement de la pompe d'écémage de la piscine est apparue, suivie de l'alarme signalant un niveau bas d'eau dans la piscine.

L'opérateur a remarqué les deux alarmes mais n'a pas fait de lien entre elles. Il a informé un rondier du déclenchement de la pompe d'écémage et du niveau anormal de l'eau dans la piscine sans demander une vérification urgente. Le rondier étant occupé par ailleurs n'a pas exécuté l'action demandée. Lors du changement d'équipe de quart, les consignes passées ont bien signalé l'apparition des alarmes, mais des manœuvres d'exploitation étant toujours en cours, aucune vérification n'a été entreprise.

La pompe du circuit PTR en service a fini par déclencher une alarme du fait d'une pression insuffisante d'eau à l'aspiration. Le refroidissement de la piscine était alors totalement perdu. Un rondier a été envoyé dans le local de la pompe mais il n'a pas pu « acquitter »⁴⁹⁴ le défaut. Il s'est alors rendu sur le plancher de service de la piscine où il a constaté une baisse du niveau d'eau d'environ 4 mètres, qui avait entraîné le dénoyage de la tuyauterie d'aspiration. L'élévation de la température de l'eau de la piscine n'a pas pu être appréciée car la partie sensible de la sonde de mesure de température avait été dénoyée au cours de la vidange. La perte totale du refroidissement de la piscine a duré un peu plus de 3 heures⁴⁹⁵.

► **Le deuxième événement** s'est produit le 13 février 1986, après un rechargement du cœur du réacteur n° 3 de la centrale nucléaire du Tricastin et la vidange de la piscine du bâtiment de ce réacteur par une des deux pompes PTR vers le réservoir PTR. Lors de la reconfiguration du circuit PTR en mode de refroidissement de la piscine d'entreposage du combustible, une erreur de lignage a conduit à orienter une partie du débit de circulation du circuit de refroidissement vers le réservoir PTR (qui était initialement plein et qui a donc débordé dans la structure de rétention en béton entourant ce réservoir). Cette erreur a provoqué le dénoyage de la tuyauterie d'aspiration du système PTR par la vidange de quelque 500 m³ d'eau de la piscine

494. Opération consistant en l'annulation de l'alarme après que son origine en a été identifiée, ici en vue de redémarrer la pompe.

495. La vanne de la ligne de retour a été fermée et un appoint d'eau a été fait à la piscine.

du bâtiment du combustible. Aucune des alarmes qui auraient pu permettre une détection rapide n'a pu jouer son rôle, pour diverses raisons – notamment la coupure d'un tableau électrique provoquant l'indisponibilité du calculateur de la salle de commande, qui seul permet l'affichage de l'alarme de niveau haut de l'eau dans le réservoir PTR.

Lorsque, après la détection de l'événement, l'exploitant a cherché à faire un appoint d'eau dans la piscine d'entreposage, il a été gêné par le fait que la principale source d'appoint (le réservoir PTR) était inutilisable, les vannes de manœuvre situées dans la structure de rétention de ce réservoir étant noyées. Le refroidissement n'a pu être remis en service que 2 à 3 heures après la constatation de l'événement et le niveau normal de l'eau dans la piscine a été rétabli au bout de 4 h 30 min environ. Comme lors de l'événement précédent, l'élévation de la température de l'eau de la piscine n'a pas pu être appréciée. En effet, même si, entre les deux événements, une modification avait abaissé la partie sensible de la sonde de température et si celle-ci se trouvait toujours immergée à la fin de la vidange, le capteur n'était plus alimenté électriquement du fait de la coupure du tableau électrique mentionnée ci-avant.

Un autre scénario de vidange marquant qui ressort de l'examen de l'expérience d'exploitation est la possibilité d'une vidange complète du compartiment d'entreposage du combustible par siphonnage.

En 2002, les études menées dans le cadre du premier réexamen de sûreté de l'entreposage du combustible dans les piscines ont montré que le diamètre du casse-siphon équipant la ligne de refoulement du circuit PTR était insuffisant pour enrayer une vidange accidentelle de débit important. Le 19 octobre 1989, une baisse rapide de 50 cm du niveau de l'eau de la piscine d'entreposage du réacteur n° 4 de la centrale nucléaire du Tricastin s'est produite (voir le schéma de la figure 15.4 en appui), à la suite d'une erreur de consignation liée à la préparation d'une épreuve hydraulique des échangeurs du circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA).

Cet événement s'est produit alors que le cœur du réacteur était complètement déchargé et que le circuit primaire et le circuit RRA étaient vidangés. Afin de remplir les échangeurs, l'exploitant avait prévu d'ouvrir la liaison de secours du circuit PTR vers le circuit RRA et des flexibles provisoires avaient été installés pour raccorder les échangeurs à cette ligne. À l'ouverture des vannes, une série d'alarmes sont apparues rapidement en salle de commande car une vanne (RRA 114VB de traversée de l'enceinte de confinement du réacteur) normalement condamnée en position fermée était en fait ouverte. Cette erreur de consignation a, outre un début de vidange de la piscine du bâtiment du combustible, conduit à une inondation dans le bâtiment du réacteur, la plupart des purges du circuit RRA étant ouvertes.

La cinétique de la vidange, « pilotée » par la pompe PTR 01 PO en service au moment de l'événement, a été évaluée à environ 300 m³/h, soit approximativement une baisse de 5 cm du niveau d'eau par minute. Elle s'est poursuivie pendant environ dix minutes jusqu'à ce qu'un intervenant referme une vanne de la liaison entre le circuit PTR et le circuit RRA.

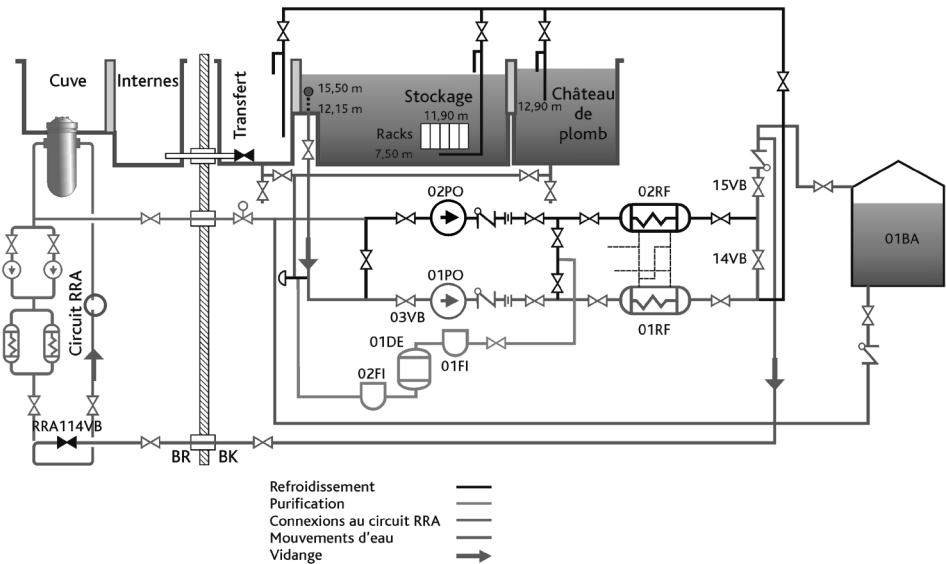


Figure 15.4. Schéma illustrant la vidange intempestive du 19 octobre 1989 après l'ouverture de la vanne RRA 114 VB, initialement fermée (vanne représentée en noir à gauche et en partie basse du schéma). Le cercle rouge symbolise la fuite par les purges du circuit RRA. IRSN.

Cet événement aurait pu être beaucoup plus grave si l'erreur de consignation n'avait pas été détectée rapidement. L'un des moyens à la disposition des opérateurs pour arrêter une large gamme de cas de vidange envisageable est d'arrêter la pompe du circuit PTR en service et de fermer la vanne de tête de la ligne d'aspiration dans le circuit PTR. Si cette action avait été réalisée par l'équipe de conduite, la vidange aurait alors pu se poursuivre par siphonnage (voir la figure 15.5) en cas d'inefficacité du casse-siphon de la ligne de refoulement à l'arrêt de la pompe PTR en service. Or cette ligne de refoulement plonge jusqu'au fond du compartiment d'entreposage au niveau du bas des râteliers. Dans ce cas, la vidange aurait pu conduire au dénoyage de l'ensemble des assemblages combustibles entreposés.

La prévention d'événements de ce type a été renforcée par la mise en œuvre de dispositions organisationnelles (condamnation administrative de vannes du circuit PTR ou de liaison avec d'autres circuits⁴⁹⁶, renforcement des spécifications techniques d'exploitation et des contrôles périodiques des équipements nécessaires à la détection et à l'arrêt d'une vidange intempestive). L'isolement automatique de la ligne d'aspiration du circuit PTR, l'augmentation du diamètre du casse-siphon de la ligne de refoulement de ce circuit et le doublement systématique (voie A et voie B) de l'instrumentation relative au niveau d'eau, également retenus et mis en place à la suite du premier réexamen global de la sûreté de l'entreposage et de la maintenance des assemblages combustibles dans les piscines d'entreposage (au début des années

496. Ces condamnations dépendent de l'état du réacteur.

2000), contribuent à la détection et à la maîtrise d'une vidange intempestive de la piscine qui résulterait d'une erreur de lignage. Toutefois, malgré ces dispositions, la fréquence des erreurs de lignage conduisant à des vidanges demeure encore notable.

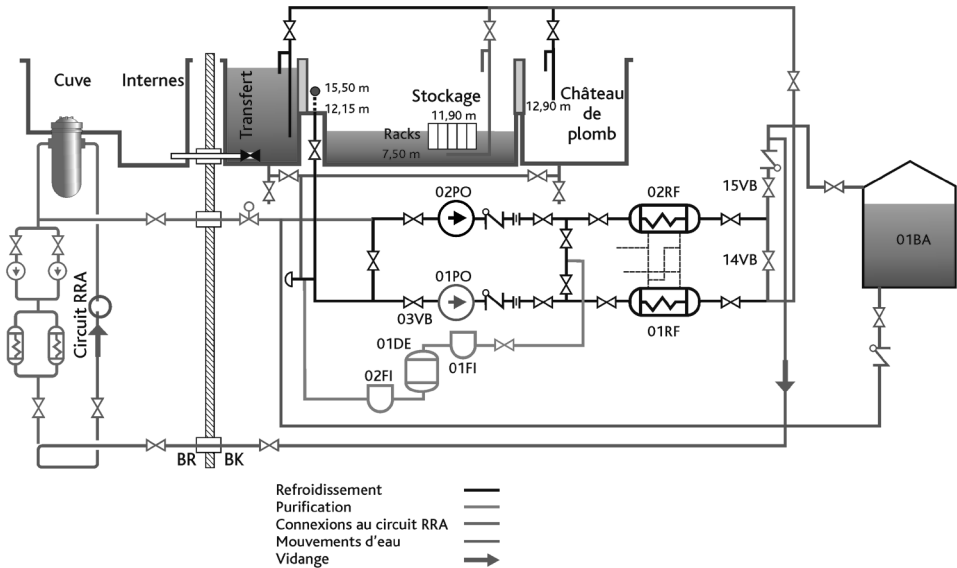


Figure 15.5. Risque de poursuite de la vidange par siphonnage en cas d'arrêt de la pompe PTR 01 PO. IRSN.

Par ailleurs, lors du réexamen global du début des années 2000, Électricité de France a pris l'engagement de mettre en œuvre des contrôles périodiques de l'absence d'obstruction du casse-siphon de la tuyauterie de refoulement du circuit PTR. Toutefois, à la suite de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, les contrôles réalisés ont montré l'absence de casse-siphon dans cette tuyauterie pour les réacteurs n° 2 et n° 3 de la centrale nucléaire de Cattenom, anomalie qui datait de la mise en service de ces réacteurs (détectée le 21 décembre 2011, elle a été classée au niveau 2 de l'échelle INES).

Malgré les dispositions précitées, la possibilité d'une défaillance à la sollicitation d'un dispositif casse-siphon lors d'une vidange accidentelle de la piscine d'entreposage du combustible subsistait; cela pouvait être traité par une diversification fonctionnelle de ce dispositif (par exemple par l'ajout d'un clapet anti-retour dans la partie terminale de la ligne de refoulement) ou par une modification de conception permettant d'éviter que la tuyauterie de refoulement du circuit PTR ne plonge en dessous du niveau haut des assemblages combustibles entreposés. Électricité de France a décidé en 2017⁴⁹⁷ d'ajouter, sur la ligne terminale de refoulement du circuit de refroidissement PTR,

497. Dans le cadre des quatrièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe et des modifications post-Fukushima.

un clapet antiretour qui, en cas de défaillance du dispositif casse-siphon, arrêtera la vidange.

15.2.2.3. Défaillance d'une tpe d'obturation d'une tuyauterie du circuit primaire

Des tapes d'obturation (d'un diamètre de l'ordre de 900 mm) sont mises en place, au cours des arrêts de tranches, dans les tuyauteries primaires connectées aux générateurs de vapeur pour pouvoir réaliser les contrôles de leurs tubes et les éventuelles réparations associées pendant les opérations de déchargement ou de rechargement des assemblages combustibles. En cas d'« effacement » (rupture par exemple) de l'une de ces tapes, le diamètre de la brèche qui en résulterait serait équivalent au diamètre du trou d'homme d'accès au générateur de vapeur concerné (environ 450 mm). Pour un réacteur de 900 MWe du palier CPY en cours d'arrêt pour rechargement du cœur, avec le tube de transfert ouvert, la cinétique de baisse du niveau d'eau dans les deux piscines (celle du bâtiment du réacteur et celle du bâtiment BK) serait alors de 40 cm/min et, dans ces conditions, le niveau de l'eau atteindrait le haut d'un assemblage combustible en cours de manutention au bout d'un peu plus de 4 minutes. La tuyauterie d'aspiration du circuit PTR serait totalement dénoyée au bout de 11 minutes environ. Au bout de 17 minutes (voir la figure 15.6), l'eau serait descendue au niveau du seuil de la porte de séparation du compartiment de transfert (12,15 mètres, soit 25 cm au-dessus du sommet des râteliers d'entreposage des assemblages combustibles).

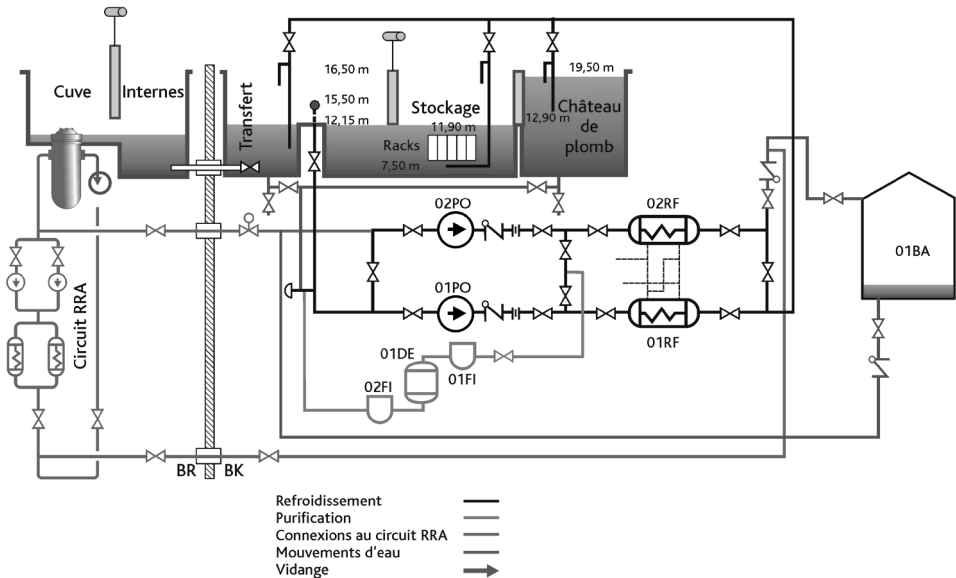


Figure 15.6. Risque de vidange des piscines en arrêt pour manutention d'assemblages en cas d'« effacement » d'une tpe de générateur de vapeur (la fuite d'eau est symbolisée par le cercle rouge). IRSN.

Ce scénario constitue l'accident enveloppe à l'égard du risque de dénoyage d'un assemblage combustible en cours de manutention (la « rupture » du tube de transfert entre le bâtiment du réacteur et le bâtiment du combustible conduirait à des conséquences équivalentes). Compte tenu du débit de vidange et des délais calculés, aucune disposition ne permettrait d'éviter le dénoyage d'un ou de deux assemblages en cours de manutention (l'un dans le bâtiment du réacteur, l'autre dans le bâtiment BK). Ces assemblages s'échaufferaient et, au bout de quelques heures (le délai dépend de la puissance résiduelle des assemblages), ils subiraient une oxydation violente et très exothermique qui détruirait le squelette des assemblages et pourrait provoquer un début de fusion du combustible.

L'eau restante dans le compartiment d'entreposage entrerait en ébullition au bout de quelques heures. L'évaporation correspondante pourrait toutefois être compensée par la mise en service d'un appoint de secours par le réseau d'eau de lutte contre l'incendie de la centrale (le poste de vannage, situé à +20 mètres dans le BK, serait accessible), mais la circulation du fluide dans les râteliers et les conséquences des vides qui se créeraient au sein des assemblages sont mal connues. L'irradiation au niveau du plancher de service des piscines serait très importante et interdirait toute action au niveau de ce plancher. Si un assemblage était dénoyé dans le bâtiment du réacteur, la voie de fuite ne serait pas isolable du fait de l'irradiation et l'assemblage ne pourrait pas être remis sous eau (l'enceinte de confinement ne pourrait pas être isolée au niveau du tube de transfert dans tous les cas envisageables).

Les tapes d'obturation des tuyauteries du circuit primaire utilisées jusqu'en 2011 étaient dimensionnées pour une pression de service de 1,3 bar et une pression d'épreuve de 2 bars. Aucune sollicitation de surpression accidentelle n'avait été prise en compte pour leur conception.

Or plusieurs événements de décharge intempestive d'un accumulateur du système d'injection de sécurité (système RIS) ont été constatés sur le parc lors d'arrêts de tranches. En effet, la mise en pression de ces accumulateurs par le réseau d'air de travail (système SAT dont la pression de service maximale est de 8 bars) est nécessaire pour les vidanger lors d'opérations de maintenance. Selon des études réalisées en 2005 par l'IRSN, la décharge d'un accumulateur RIS avec une pression d'air de 8 bars pourrait produire une onde de surpression de l'ordre de 5 bars au niveau d'une tape de générateur de vapeur.

La conception des tapes a été améliorée de telle sorte qu'elles résistent aux sollicitations accidentelles envisageables (notamment à une surpression de 5 bars). Les nouvelles tapes sont désormais utilisées sur l'ensemble du parc électronucléaire.

15.2.2.4. Rupture d'une tuyauterie connectée à la piscine d'entreposage du combustible

Même si le circuit PTR n'est pas un circuit de « haute énergie », la rupture d'une tuyauterie de ce circuit doit être envisagée. Les sollicitations susceptibles de conduire à une telle défaillance pourraient résulter, par exemple, du blocage du rotor d'une pompe,

de la chute d'une charge sur une tuyauterie ou d'un séisme. Un événement significatif à signaler dans ce cadre se rapporte à la mise en place dans les quatre tranches de la centrale de Dampierre-en-Burly d'une protection biologique⁴⁹⁸ (constituée de briques de plomb), non dimensionnée au séisme, au-dessus du tube de transfert; la chute de cette protection biologique aurait pu provoquer la rupture d'une tuyauterie connectée à une piscine. Cette non-conformité a été découverte en 2004 lors de contrôles réalisés par Électricité de France dans le cadre d'une application de l'approche « séisme événement ».

L'expérience montre également que, dans certaines installations, des tassements différentiels non négligeables du sol se sont produits sous le bâtiment du réacteur et le bâtiment du combustible; ces tassements ont un impact sur les déplacements admissibles du tube de transfert en cas de séisme. En effet, les deux bâtiments sont construits sur des radiers différents. Le tube de transfert est fixé au génie civil du bâtiment du réacteur tout en étant relié à la peau métallique d'étanchéité de la piscine du bâtiment du combustible. Même si la conception de la liaison permet un certain déplacement du tube, les tassements différentiels du sol entre les deux bâtiments réduisent les déplacements admissibles en cas de séisme.

Le retour d'expérience de ces événements a conduit Électricité de France⁴⁹⁹ à vérifier le dimensionnement aux sollicitations sismiques des tubes de transfert des installations concernées en prenant en compte les tassements différentiels du sol observés. Ces études ont été complétées par la mise en œuvre d'un programme d'inspections périodiques des tubes de transfert⁵⁰⁰. De plus, la prise en compte de la possibilité d'une rupture d'une tuyauterie principale du circuit PTR a conduit Électricité de France à redimensionner le dispositif casse-siphon de la ligne de refoulement de ce circuit au débit de vidange enveloppe à envisager (par le doublement du diamètre de la tuyauterie du dispositif).

15.3. Réexamens

Comme cela a été mentionné précédemment, Électricité de France a déposé en 1994 une demande de dérogation pour une augmentation de la limite de puissance résiduelle dans les piscines d'entreposage du combustible des réacteurs de 900 MWe et de 1 300 MWe. Cela a conduit à mener une réévaluation de la sûreté de ces piscines (réexamen global).

Le dossier établi à cette fin par Électricité de France entre 1996 et 2002 traitait principalement des conséquences d'une perte incidentelle ou accidentelle du refroidissement d'une piscine d'entreposage du combustible, et proposait la mise en place

498. Modification décidée par le CNPE dans le but d'améliorer la radioprotection du personnel.

499. Les dispositions qui suivent ont été décidées avant la mise en œuvre des actions post-Fukushima.

500. Ce programme d'inspection a été demandé par l'ASN dans le cadre des troisièmes visites décennales des réacteurs de 1 300 MW et des quatrièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe. À ce jour, seuls quelques tubes ont été inspectés.

d'un certain nombre d'améliorations concernant la prévention, la détection et la limitation des conséquences d'une telle situation.

Ces dispositions s'appuyaient notamment sur une stratégie de conduite applicable en cas de défaillance totale ou partielle du refroidissement (hors situations de vidange), permettant de faire face au scénario le plus pessimiste retenu (perte de la source froide pendant 100 heures). Les objectifs retenus par Électricité de France pour l'étude de ce scénario ont été les suivants :

- obtenir des doses à la limite du site suffisamment faibles – il s'agit des doses reçues du fait des rejets résultant de l'ouverture de la porte du hall de la piscine donnant sur l'extérieur en vue d'éviter une mise en pression du bâtiment du combustible par la vaporisation de l'eau de la piscine ;
- assurer l'accessibilité aux moyens d'appoint et aux différents locaux du bâtiment du combustible, en dehors du hall de la piscine ;
- assurer le caractère opérationnel des matériels nécessaires à la gestion et à la récupération d'une situation prolongée d'ébullition de l'eau de la piscine ;
- assurer que, à la reprise du refroidissement, le circuit PTR n'aspire que du fluide sous-saturé, condition nécessaire à son bon fonctionnement et au retour à l'état sûr de l'entreposage du combustible en piscine ;
- assurer l'étanchéité des portes et des batardeaux de la piscine, ainsi que du circuit PTR pour une température de 100 °C ;
- prendre en compte un débit de fuite de la peau d'étanchéité de la piscine en situation accidentelle ($3 \text{ m}^3/\text{h}^{501}$) pour le dimensionnement des moyens d'appoint et des réseaux de collecte et de traitement de cette fuite.

Les dispositions mises en place à la suite de cette étude (à partir de 2002), pour renforcer la sûreté de l'entreposage du combustible en piscine de désactivation à l'égard d'un accident de perte de refroidissement sont pratiquement identiques pour tous les réacteurs en exploitation du parc électronucléaire français⁵⁰². Elles comprennent :

- le renforcement et la qualification aux conditions d'ambiance de l'instrumentation de niveau et de température de l'eau de la piscine, en assurant une redondance fonctionnelle ;
- des modifications des supports des tuyauteries du circuit PTR en vue d'assurer leur tenue à la température et aux conditions d'ambiance en situation accidentelle ;
- le renforcement des spécifications techniques d'exploitation concernant la disponibilité des moyens d'appoint d'eau, la disponibilité des sources électriques en

501. Valeur forfaitaire qui prend en compte l'ouverture d'un certain nombre de défauts préexistants dans les quelque 900 m de soudure de la peau d'une piscine et l'inétanchéité des structures de béton à la suite d'un accident de perte de refroidissement conduisant à l'ébullition de la piscine.

502. Pour le réacteur EPR, les risques de perte de refroidissement et de vidange ont été pris en compte à la conception.

état d'arrêt de tranche, les condamnations administratives à poser pour éviter une vidange..., ainsi que des programmes de maintenance du système PTR;

- comme cela a été indiqué au paragraphe 15.2.1.3, l'ajout d'une crépine à l'aspiration du circuit PTR afin d'éviter une perte de la fonction de refroidissement par mode commun en cas d'aspiration d'un corps étranger;
- la fiabilisation de la réalimentation électrique des pompes PTR lors des interventions réalisées sur les tableaux électriques au titre de la maintenance préventive menée au cours des arrêts de tranche;
- la mise en place d'un poste de vannage, accessible même en cas d'ébullition de l'eau de la piscine, permettant de compenser les pertes d'eau de la piscine dues à l'évaporation grâce à un appoint par les systèmes d'eau déminéralisée ou de protection contre l'incendie; ce poste de vannage resterait accessible en cas d'incendie ou d'inondation;
- le renforcement de l'isolement entre le hall de la piscine et les locaux adjacents (ajout de registres d'isolement dans les conduits de ventilation, modifications des portes...);
- pour les tranches où le circuit PTR est muni d'une crosse à l'aspiration (cas des tranches de 1300 MWe et de 1450 MWe), la mise en place d'une ligne d'appoint à la piscine conçue de façon à pouvoir également refroidir la ligne d'aspiration et éviter la formation d'une poche de vapeur risquant de désamorcer ou d'endommager les pompes ou d'autres organes du circuit PTR; par ailleurs, des modifications ont également été mises en œuvre pour pouvoir éventer ces crosses avant le redémarrage des pompes;
- la création d'un exutoire du hall de la piscine de désactivation vers l'extérieur (ouverture d'une porte ou d'une trappe) permettant l'évacuation de la vapeur d'eau en situation accidentelle.

À partir de 2005 (études de la réévaluation de sûreté associée aux troisièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe), les réexamens périodiques ultérieurs ont conduit à examiner attentivement les possibilités de vidange d'une piscine d'entreposage du combustible, sachant que les conséquences d'une telle vidange pourraient être plus immédiates et plus graves que celles d'une perte totale du refroidissement d'une piscine intègre.

Les modifications correspondantes mises en œuvre lors des troisièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe – et reconduites au fur et à mesure des visites décennales des réacteurs de 1300 MWe et de 1450 MWe, voire anticipées – comprennent :

- un renforcement des prescriptions applicables en fonctionnement normal pour prévenir les possibilités de vidange et assurer la disponibilité des moyens de limitation des conséquences (contrôles et essais périodiques, maintenance, condamnations administratives, spécifications techniques d'exploitation), notamment pour diminuer les risques d'erreurs de lignage;

- l'établissement d'une procédure de conduite spécifique concernant le cas d'une vidange accidentelle de la piscine du bâtiment du combustible ou de la piscine du bâtiment du réacteur;
- l'utilisation, comme cela a été indiqué au paragraphe 15.2.2.3, d'un nouveau modèle de tapes de générateur de vapeur – ce nouveau modèle de tape est dimensionné pour résister notamment à une surpression de 5 bars;
- le dimensionnement du dispositif casse-siphon de la ligne de refoulement du circuit PTR au débit de vidange enveloppe à envisager (rupture complètement débattue d'une tuyauterie principale);
- l'arrêt automatique des pompes du circuit PTR et l'isolement automatique de la ligne d'aspiration de ce circuit en cas de détection d'une baisse de niveau d'eau dans la piscine d'entreposage du combustible.

Plus récemment, dans le cadre des modifications prévues à l'occasion des quatrièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe, Électricité de France met en place des dispositions permettant le raccordement (par des raccords pompiers) d'un circuit de refroidissement de secours (« PTR bis », voir la figure 15.7) à l'extérieur du bâtiment du combustible comprenant des équipements mobiles, afin de retrouver, au-delà de 24 heures, un refroidissement de la piscine d'entreposage en cas d'agression (incendie ou inondation) ayant durablement endommagé le circuit de refroidissement. Dans ce cadre, Électricité de France équipera la ligne d'aspiration du circuit de refroidissement des piscines d'entreposage du combustible d'une deuxième vanne d'isolement motorisée et la ligne de refoulement d'un clapet anti-retour.

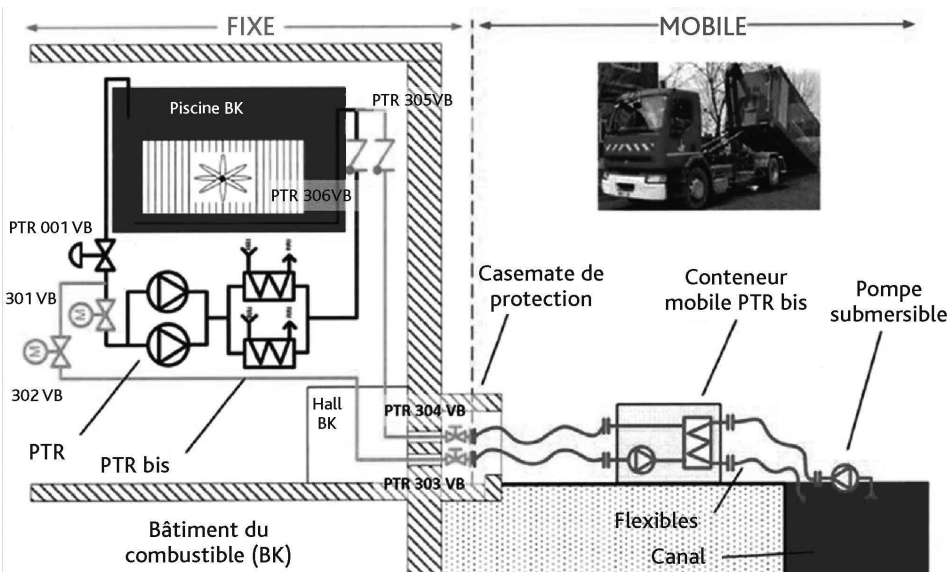


Figure 15.7. Schéma de principe montrant le circuit de refroidissement de secours « PTR bis ». IRSN.

15.4. Retour d'expérience de l'accident qui a affecté la piscine du réacteur n° 4 de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi

15.4.1. Événements survenus

L'analyse et les enseignements tirés de l'accident qui a affecté la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi équipée de six réacteurs à eau bouillante – à la suite de l'inondation du site due au tsunami qui a atteint les côtes japonaises le 11 mars 2011 à 15 h 40 min et à la perte totale des alimentations électriques qui s'ensuivit – font l'objet du chapitre 36. On se limitera ici à évoquer le cas de la piscine d'entreposage du combustible du réacteur n° 4. Lors de l'accident, le cœur du réacteur n° 4 était complètement déchargé; l'ensemble des assemblages combustibles se trouvait dans la piscine d'entreposage, avec une puissance résiduelle estimée à 2,3 MW.

Le 15 mars 2011 à 6 h 10 min, une explosion (imputée à de l'hydrogène) a endommagé le cinquième niveau du bâtiment du réacteur n° 4 (niveau de la piscine d'entreposage du combustible) et soufflé une partie des cloisons extérieures de ce bâtiment.

Le 16 mars 2011 au petit matin, il a été fait état par l'exploitant TEPCO d'un « feu » qui affecterait l'angle nord-ouest du bâtiment du réacteur n° 4 (angle dans lequel est située la piscine), mais les messages qui suivirent indiquèrent ne plus détecter de trace de ce phénomène. D'importants niveaux d'irradiation étaient par contre détectés à proximité de la piscine du réacteur n° 4 (par exemple, 400 mSv/h dans les escaliers d'accès aux niveaux supérieurs du bâtiment du réacteur n° 4). Vers 12 h, le 16 mars 2011, la télévision japonaise a diffusé des images (assez imprécises car prises à grande distance par hélicoptère) montrant d'importantes bouffées de vapeur au-dessus du réacteur n° 4. Vers 18 h (heure japonaise), l'U.S.NRC a annoncé que, selon les éléments de compréhension dont elle disposait, il n'y aurait plus d'eau dans la piscine d'entreposage du combustible du réacteur n° 4⁵⁰³. Le 17 mars, à la mi-journée, la chaîne de télévision NHK a annoncé que des observations faites la veille depuis un hélicoptère ayant survolé le réacteur n° 4 montraient que les assemblages combustibles étaient toujours sous eau même si le niveau d'eau dans la piscine semblait être inférieur d'environ 3 mètres au niveau normal de remplissage.

Du 16 au 20 mars 2011, aucun événement notable n'a été signalé après la rupture de l'étanchéité de la porte de séparation entre la piscine de désactivation et la piscine du réacteur. Cette porte est autoclave lorsque la pression dans le compartiment d'entreposage est supérieure à celle qui règne dans le compartiment de la piscine du réacteur; la baisse du niveau d'eau dans le compartiment d'entreposage a rendu cette

503. Les États-Unis ont alors conseillé à leurs ressortissants d'évacuer la zone située dans un rayon de 50 miles (80 km) autour de la centrale.

porte inétanche et l'eau du compartiment de la piscine du réacteur s'est déversée dans la piscine d'entreposage du combustible.

Par la suite, à partir du 20 mars 2011, des appoints d'eau importants dans la piscine du réacteur n° 4 seront réalisés à l'aide d'un camion-pompe.

Le compartiment d'entreposage de la piscine du réacteur n° 4 a une surface de 120 m² et une profondeur de 11,8 mètres. Compte tenu de la puissance résiduelle du combustible (2,3 MW), une ébullition de l'eau de la piscine n'a pu se produire qu'après environ 48 h (début de l'ébullition dans l'après-midi du 13 mars). À ce moment-là, la cinétique d'évaporation de l'eau calculée pour des conditions adiabatiques est inférieure à 80 cm par jour. La cinétique réelle observée par l'exploitant du 28 avril au 5 mai 2011, après un arrêt volontaire des appoints à la piscine de désactivation, est d'environ 55 cm par jour (voir la figure 15.8). Or la baisse de niveau indiquée par TEPCO pour la période du 14 au 16 mars 2011 est plus rapide que ces estimations – sachant que, au cours de cette période, de l'eau du compartiment de la piscine du réacteur s'est déversée dans la piscine d'entreposage du combustible (voir la figure 15.9).

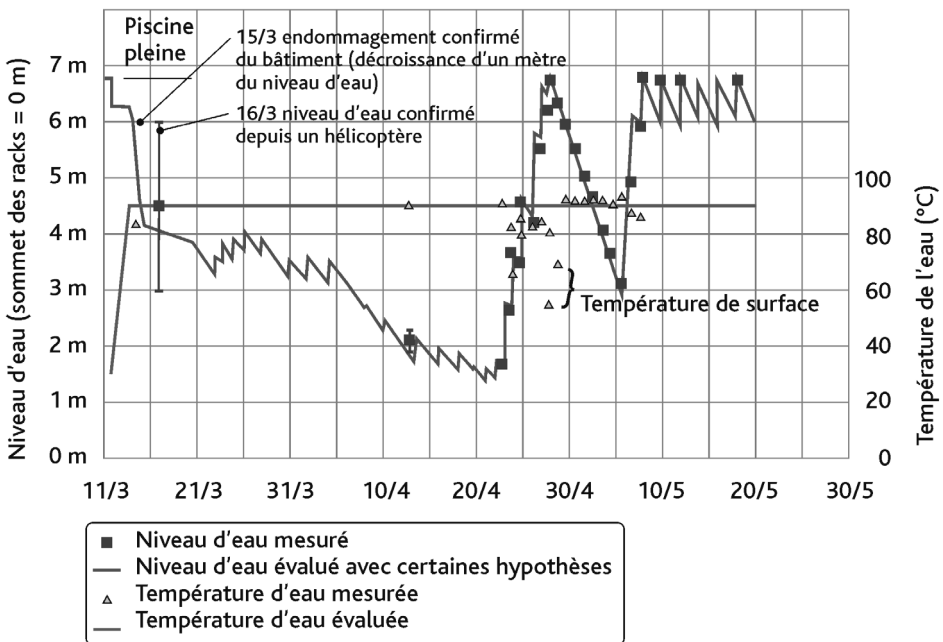


Figure 15.8. Évolution du niveau et de la température de l'eau dans la piscine de désactivation du réacteur n° 4, mesurés ou estimés par TEPCO (du 11 mars au 30 mai). Tokyo Electric Power Company, Inc. (TEPCO).

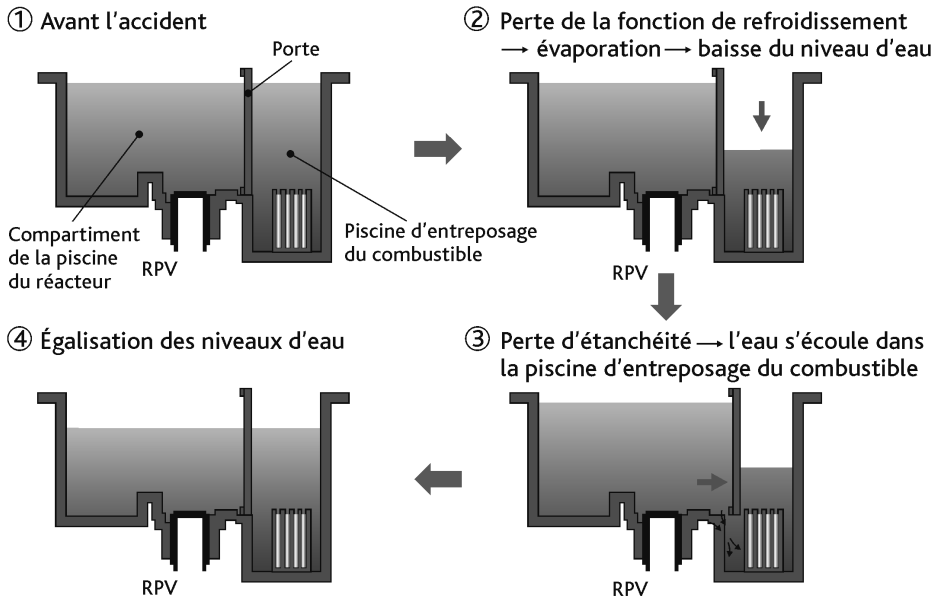


Figure 15.9. Déversement de l'eau du compartiment du réacteur dans la piscine de désactivation du fait de la perte d'étanchéité de la séparation entre ces piscines. Tokyo Electric Power Company, Inc. (TEPCO).

15.4.2. Évaluations complémentaires de sûreté menées en France

Dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté réalisées après l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi (elles sont développées au chapitre 36), Électricité de France a examiné les conséquences d'une agression naturelle extrême sur les systèmes prévus pour assurer l'évacuation de la puissance résiduelle des combustibles entreposés en piscine, en examinant les conséquences d'une perte totale de la source froide ou des alimentations électriques et en supposant que la piscine d'entreposage reste intègre. Le scénario accidentel majorant en termes de conséquences est la perte totale des alimentations électriques externes et internes.

Dans ce cadre, Électricité de France a étudié des dispositions permettant, dans le cas d'une agression naturelle extrême :

- de réaliser un appoint d'eau dans la piscine d'entreposage du combustible par un moyen d'ultime secours,
- de fiabiliser le fonctionnement de l'exutoire du bâtiment du combustible⁵⁰⁴ afin de garantir l'ouverture du hall de la piscine vers l'extérieur en situation de perte totale de refroidissement de la piscine,

504. Cet exutoire évite la mise en pression du bâtiment du combustible et limite la propagation de vapeur d'eau du hall de la piscine vers d'autres locaux.

- de réalimenter électriquement le moyen de pompage de l'appoint ultime⁵⁰⁵ et l'instrumentation des moyens de surveillance du niveau d'eau et de la température de la piscine par un groupe électrogène d'ultime secours,
- d'assurer la mise en position sûre d'un assemblage combustible en cours de manutention dans la piscine du bâtiment du combustible en cas de perte totale des alimentations électriques, grâce à l'utilisation d'outillages électriquement autonomes (équipés de batteries).

L'IRSN a examiné ces dispositions dans le cadre de la mise en œuvre du concept de « noyau dur » développé au chapitre 36. La principale question de l'IRSN a concerné l'hypothèse d'intégrité de la piscine en cas d'agression extrême.

De façon schématique, deux cas de vidange accidentelle d'une piscine par perte d'intégrité de sa structure ou de celle des circuits qui lui sont connectés peuvent être distingués :

- une vidange du compartiment d'entreposage qui induirait directement un dénoyage des assemblages combustibles entreposés,
- une vidange partielle d'une piscine s'arrêtant au niveau du seuil bas des portes de communication entre compartiments du bâtiment du combustible (soit quelques dizaines de centimètres au-dessus du sommet des râteliers d'entreposage des combustibles) et, pour le bâtiment du réacteur, au niveau du bas des tuyauteries du circuit primaire.

Dans le premier cas, le dénoyage des assemblages combustibles entreposés pourrait être la conséquence d'une perte de l'intégrité structurelle du compartiment d'entreposage – ou d'un siphonnage – de ce compartiment non compensable par des moyens d'appoint en eau. Afin de pouvoir exclure ce type de situation, dont les conséquences seraient très importantes, Électricité de France s'est engagé à vérifier la résistance structurelle des compartiments des piscines.

Dans le second cas, une vidange partielle pourrait conduire à des effets importants tels qu'une dégradation de l'ambiance radiologique dans le bâtiment du combustible ou le bâtiment du réacteur, le dénoyage d'un assemblage combustible supposé bloqué en position haute de manutention et une ébullition importante de l'eau restant dans la partie basse du compartiment d'entreposage ou dans la cuve du réacteur.

À cet égard, Électricité de France a prévu⁵⁰⁶ de mettre en place un dispositif d'isolement automatique de la ligne d'aspiration du circuit PTR répondant aux exigences applicables au « noyau dur », ainsi qu'un dispositif d'isolement automatique des vannes de vidange des compartiments de la piscine du réacteur qui doivent rester ouvertes lors des manutentions de combustible. En complément, l'Autorité de sûreté nucléaire

505. Cet appoint ultime serait réalisé par pompage d'eau dans la nappe ou dans des bassins de grande capacité dimensionnés au séisme extrême (« séisme noyau dur », précisé au chapitre 36). Ce moyen de pompage est indépendant de l'appoint de secours pouvant être réalisé par le réseau d'eau d'incendie de la centrale.

506. Dans le cadre de la phase 3 des modifications post-Fukushima (voir le chapitre 36).

a demandé à Électricité de France d'étudier les modifications matérielles ou des conditions d'exploitation qui permettraient de prévenir le dénoyage d'assemblages en cours de manutention ou une baisse rapide du niveau d'eau au-dessus des assemblages combustibles entreposés, qui résulteraient d'une brèche dans le tube de transfert situé entre les piscines des bâtiments du réacteur et du combustible. Électricité de France a retenu la solution de double enveloppe, qu'il ne souhaite mettre en œuvre que dans les réacteurs pour lesquels il n'aura pas pu démontrer la tenue du tube de transfert au séisme extrême.

Par ailleurs, l'IRSN a étudié la possibilité d'accident de criticité qui résulterait d'une ébullition de l'eau dans une piscine de désactivation, entraînant une vaporisation dans la zone d'entreposage des combustibles. En effet, les effets d'un tel accident de criticité pourraient expliquer certains phénomènes observés ou supposés lors de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi :

- les importantes bouffées de vapeur libérées au-dessus du réacteur n° 4,
- les niveaux d'irradiation importants relevés à proximité du réacteur n° 4 ou dans le bâtiment correspondant les 15 et 16 mars 2011,
- la baisse rapide du niveau d'eau dans la piscine entre le 15 mars et le 16 mars (voir la figure 15.8), qui aurait provoqué la perte d'étanchéité de la porte de séparation entre le compartiment du réacteur et la piscine de désactivation (figure 15.9), puis la stabilisation relative de la situation jusqu'à la mise en œuvre d'un appoint d'eau notable à partir du 20 mars,
- un surcroît de production d'hydrogène par radiolyse, source possible de l'explosion dans le réacteur n° 4.

Selon la conception des râteliers d'entreposage, l'atteinte d'une situation critique ne peut pas être exclue en cas de vaporisation de l'eau dans les alvéoles. Pour autant, les phénomènes d'ébullition et de production d'hydrogène ne peuvent être significatifs que si l'état critique est maintenu de façon continue ou cyclique pendant plusieurs minutes. Cela paraît peu probable du fait de l'instabilité des paramètres qui gouvernent cette réaction nucléaire.

L'explication privilégiée par TEPCO pour l'explosion du bâtiment du réacteur n° 4 est un transfert d'hydrogène lors de la dépressurisation de l'enceinte de confinement du réacteur n° 3 par la ligne d'éventage à la cheminée commune aux réacteurs n° 3 et n° 4⁵⁰⁷.

Néanmoins, l'IRSN poursuit des essais ainsi que le développement de logiciels de simulation en vue de mieux appréhender les phénomènes physiques pouvant se produire lors d'un accident qui affecterait une piscine d'entreposage du combustible, avant ou après le découverture d'assemblages entreposés. La phase de remise en

507. L'explication privilégiée par TEPCO est toutefois discutable. La contamination des caissons de filtration de la ligne de ventilation du réacteur n° 4 par lequel les gaz d'éventage du réacteur n° 3 auraient dû transiter est très faible : les débits de dose mesurés le 25 août 2011 sont inférieurs à 7 mSv/h alors que des débits de dose supérieurs à 10 000 mSv/h ont été relevés les 1^{er} et 2 août 2011 à proximité d'une tuyauterie d'éventage de l'enceinte du réacteur n° 1.

service d'un système de refroidissement est également à étudier car, transitoirement, l'eau froide injectée dans une piscine peut modifier des boucles de convection établies et conduire à des échauffements localisés. Un programme d'études et de recherches (dénommé DENOPI) a été défini, en s'appuyant pour partie sur des travaux déjà engagés dans le cadre de coopérations internationales.

15.5. Dispositions retenues pour le réacteur EPR

Dans le document « directives techniques pour la conception et la construction de la prochaine génération de réacteurs nucléaires à eau sous pression » (voir le chapitre 17), transmises à Électricité de France en 2004, figurent les exigences suivantes relatives à l'entreposage des combustibles irradiés (usés) :

- la perte totale du système de refroidissement de la piscine doit être étudiée au titre des conditions de fonctionnement avec défaillances multiples (catégorie A de réduction du risque (RRC-A) – voir le paragraphe 13.5). Le concepteur doit prévoir des dispositions permettant la maîtrise d'une telle situation tout en maintenant la fonction de confinement; dans le cas contraire, la vraisemblance d'une ébullition de l'eau de la piscine d'entreposage des combustibles irradiés doit être réduite par des améliorations adéquates, notamment des systèmes supports du système de refroidissement de la piscine;
- dès lors que la piscine d'entreposage des combustibles irradiés n'est pas située dans l'enceinte de confinement, il doit être démontré que les situations de fusion de combustibles irradiés dans la piscine sont « pratiquement éliminées ». Cette démonstration doit considérer le cas d'un séisme.

L'option de conception consistant à entreposer les combustibles usés dans un bâtiment distinct du bâtiment du réacteur a été reconduite pour le réacteur EPR. Le bâtiment d'entreposage du combustible fait l'objet, comme ceux des réacteurs précédents du parc électronucléaire, d'un confinement dynamique, sans exigence d'étanchéité; un exutoire (disque de rupture) doit être ouvert vers l'extérieur en cas d'accident conduisant à une élévation anormale de la température de l'eau de la piscine. En revanche, il a été placé dans une « coque » assurant une résistance aux chutes d'aéronefs.

À l'égard des accidents de fusion de combustible dans le bâtiment du combustible, l'approche retenue par les concepteurs du réacteur EPR vise à « pratiquement éliminer » les situations de dénoyage d'un ou de plusieurs assemblages combustibles.

Le réacteur EPR Flamanville 3 a dès lors bénéficié dès sa conception d'améliorations résultant de la nouvelle démarche de sûreté appliquée aux piscines d'entreposage du combustible.

Le système de refroidissement de la piscine utilisé en fonctionnement normal comporte deux voies complètement indépendantes et physiquement séparées. Chacune de ces voies est équipée de deux pompes, secourues électriquement par la même « division » électrique de sauvegarde, et d'un échangeur de chaleur. En cas de

perte totale de la source froide, un circuit de refroidissement de secours, refroidi par une source froide diversifiée (eau pompée en mer par une canalisation débouchant à 600 mètres de distance de la station de pompage), permet de maintenir la température de l'eau de la piscine inférieure à 95 °C.

Les accidents pouvant conduire à une vidange accidentelle de la piscine d'entreposage du combustible ont été pris en compte à la conception en cohérence avec les règles relatives aux conditions de fonctionnement accidentelles de référence (PCC – voir le focus du paragraphe 8.1). Il est à noter que le circuit de refroidissement de la piscine utilisé en fonctionnement normal ainsi que le circuit de refroidissement de secours sont totalement indépendants des autres systèmes fluides, de sorte qu'une erreur de lignage sur ces circuits de refroidissement ne peut pas entraîner une vidange de la piscine.

L'implantation retenue pour les tuyauteries connectées au compartiment d'entreposage des combustibles usés est telle que, en cas de brèche, la vidange s'arrêterait avant le dénoyage d'un assemblage combustible manutentionné, sans intervention d'un système actif d'isolement. Pour certaines tuyauteries reliées aux parties basses des compartiments adjacents au compartiment d'entreposage des combustibles (tube de transfert et tuyauteries de vidange), la démonstration de l'absence de découverture d'un assemblage combustible en cas de brèche repose soit sur des dispositifs d'isolement automatiques, soit sur un haut niveau d'exigences de conception, de fabrication et d'exploitation visant à rendre très improbable, avec un haut niveau de confiance, une brèche sur certains tronçons de tuyauteries. Toutefois, la conception est encore en cours d'évolution; Électricité de France envisage d'ajouter au niveau des orifices des lignes de vidange des compartiments des piscines soit des bouchons, soit des filtres ayant une perte de charge calibrée qui seraient mis en place dans les états à risque (lorsque ces compartiments sont en communication avec le compartiment d'entreposage du combustible). Ces dispositions permettraient de maîtriser un accident de rupture guillotine de ces lignes avec les règles d'études des accidents de référence.

Un système d'appoint d'eau de secours (dont le débit est de 150 m³/h) et un appoint d'ultime secours (dont le débit est de plus de 35 m³/h) permettraient de compenser l'évaporation de l'eau d'une piscine ainsi que certaines fuites (jusqu'à concurrence du débit des circuits d'appoint d'eau). Ces systèmes, combinés à l'ouverture d'un exutoire vers l'extérieur dans les parois du hall de la piscine, permettraient de stabiliser l'inventaire en eau de la piscine de désactivation et d'évacuer la puissance résiduelle des combustibles entreposés par vaporisation. À terme, un circuit de refroidissement doit pouvoir être mis en service pour amener l'installation dans un état sûr (donc durablement).

15.6. Recommandations pour la conception de nouveaux réacteurs

Plus récemment, dans le guide ASN n° 22 pour la conception des réacteurs à eau sous pression, déjà évoqué dans les précédents chapitres, un certain nombre de

recommandations ont été formulées pour ce qui concerne la sûreté de l'entreposage des combustibles. Quelques-unes d'entre elles (concernant l'entreposage sous eau) sont indiquées ci-après.

► Événements à prendre en compte et objectifs généraux de sûreté

Il est recommandé dans le guide ASN n° 22 d'étudier, pour la conception de la piscine d'entreposage du combustible et la démonstration de sûreté associée, des événements initiateurs uniques pouvant conduire à une absence de refroidissement de cette piscine ou à une diminution de la quantité d'eau présente dans un compartiment dans lequel un ou plusieurs assemblages de combustible sont présents.

Pour les conditions de fonctionnement de référence (DBC) de catégories 2 à 4 (déterminées à partir des événements initiateurs uniques), il convient que :

- les dispositions prises au titre de la maîtrise des réactions nucléaires en chaîne garantissent l'absence de criticité dans la piscine d'entreposage ;
- un état contrôlé⁵⁰⁸ soit atteint, puis, durablement, un état sûr⁵⁰⁹ ;
- le refroidissement et le confinement des combustibles entreposés ou entretenus en piscine soient maîtrisés ; en particulier, les assemblages combustibles restent sous eau et les éventuels rejets radioactifs sont filtrés.

Pour les situations relevant du domaine de conception étendu et plus spécifiquement DEC-A (situations ne menant pas à la fusion du combustible, caractérisées par des défaillances multiples), il convient qu'une attention appropriée soit notamment à porter aux situations plausibles de :

- perte de longue durée des alimentations électriques externes et des alimentations électriques internes (celles nécessaires pour la maîtrise des conditions de fonctionnement de référence),
- perte de longue durée des systèmes assurant l'évacuation de la puissance résiduelle vers la source froide dans les conditions de fonctionnement de référence,
- perte totale du système de refroidissement des piscines d'entreposage des assemblages combustibles,
- cumul d'une condition de fonctionnement de référence avec la défaillance de dispositions prévues pour en limiter les conséquences.

508. La sous-criticité, l'évacuation de la puissance résiduelle et le confinement des substances radioactives sont assurés à court terme. Pour la piscine d'entreposage des assemblages combustibles, l'inventaire en eau est stabilisé (voire croissant) et sans découverture d'assemblage.

509. La sous-criticité, l'évacuation de la puissance résiduelle et le confinement des substances radioactives sont assurés durablement. Pour la piscine d'entreposage des assemblages combustibles, il n'y a pas de découverture d'assemblage et l'évacuation de la puissance résiduelle du combustible entreposé par la source froide principale est privilégiée.

Pour les conditions DEC-A, les objectifs sont les suivants :

- la réactivité doit être maîtrisée, en particulier la sous-criticité doit être assurée sur le long terme ;
- l'évacuation de la puissance résiduelle dans la piscine d'entreposage du combustible par ébullition peut être temporairement acceptable si un niveau d'eau suffisant est maintenu dans la piscine ;
- le confinement des substances radioactives est assuré ; à cette fin, la conception vise à éviter les rejets radioactifs dans l'environnement ;
- l'installation doit être autonome pendant une durée compatible avec les possibilités d'intervention extérieure au site, notamment au regard de son alimentation électrique et de sa source froide, pour pouvoir gérer les conditions de fonctionnement de référence et complémentaires, y compris celles de longue durée affectant à la fois les réacteurs et les piscines d'entreposage des assemblages combustibles ; une bonne pratique consiste à viser une autonomie d'au moins 72 heures.

Pour les accidents relevant des conditions DBC et DEC-A, sans fusion de combustible, les conséquences radiologiques doivent être aussi faibles que raisonnablement possible et, en tout état de cause, elles ne doivent pas conduire à la nécessité de mettre en œuvre des mesures de protection des populations (pas de mise à l'abri, pas de prise d'iode stable, pas d'évacuation).

Les recommandations en matière de conception, qui sont précisées ci-après, conduisent à ne pas devoir prendre en compte des situations avec fusion de combustible (DEC-B) en piscine d'entreposage.

► **Recommandations en matière de conception**

Il est souligné dans le guide ASN n° 22 que les assemblages de combustible doivent être conçus pour conserver leur intégrité dans les situations d'entreposage, de transport et de manutention avant et après irradiation en réacteur. Si la conception du combustible doit permettre d'éviter les pertes d'étanchéité en réacteur (en fonctionnement normal et incidentel), la présence possible en fonctionnement normal de quelques défauts de gainage doit être prise en compte dans la démonstration de sûreté ainsi que pour les opérations relatives au combustible après son irradiation en réacteur.

L'entreposage des assemblages combustibles doit être conçu de manière à garantir l'absence de toute situation de criticité, avec des marges spécifiées, dans les conditions normales d'entreposage, ainsi que lors d'incidents et d'accidents. Il doit également être conçu pour garantir l'absence de découverture d'assemblages combustibles (usés) entreposés sous eau ou en cours de manutention.

L'entreposage des assemblages de combustible est conçu de manière à garantir un niveau d'irradiation dans le bâtiment compatible avec les activités des travailleurs et des intervenants extérieurs prévues dans les conditions normales d'entreposage, ainsi que lors d'incidents et d'accidents.

Dans les conditions de fonctionnement de référence, lors d'une agression de référence et lors de conditions DEC-A impliquant la seule perte du système de refroidissement principal de la piscine, la conception de l'installation doit permettre de maintenir l'eau de la piscine à une température inférieure à la température d'ébullition avec une marge suffisante compte tenu de la fréquence estimée de l'événement considéré.

Dans le cas de la perte totale des systèmes de refroidissement de l'eau de la piscine (condition DEC-A), un (ou des) système(s) doit (doivent) permettre :

- d'éviter le découvrément des assemblages de combustible en compensant suffisamment la perte d'eau par ébullition,
- de maintenir un niveau d'eau dans la piscine suffisant pour la remise en service d'un système de refroidissement.

La mise en œuvre et le fonctionnement d'un système de refroidissement de la piscine d'entreposage des assemblages combustibles doivent être possibles après une perte de refroidissement prolongée ayant conduit à l'ébullition et permettent d'atteindre et de maintenir un état sûr.

La piscine d'entreposage du combustible doit disposer de moyens de détection et de collecte d'éventuelles fuites.

Aucune fuite ou brèche survenant sur un circuit connecté à la piscine d'entreposage des assemblages combustibles ne doit conduire, par conception, à un découvrément des assemblages combustibles entreposés ou en cours de manutention. En tout état de cause, la partie basse du (ou des) compartiment(s) abritant les râteliers d'entreposage des assemblages combustibles ne doit comporter aucune ligne connectée et ne doit pas pouvoir être vidée par siphonnage ni dénoyée par une perte d'eau affectant un compartiment adjacent.

Il convient que le dimensionnement des éléments structurels des compartiments d'entreposage présente des marges importantes au regard des chargements susceptibles d'être rencontrés (séisme, chute de charge, contraintes thermiques dues à une ébullition...). Les éléments structurels doivent avoir une résistance suffisante pour que le compartiment d'entreposage assure ses fonctions de sûreté en cas de séisme du domaine de conception étendu.

De façon générale, les fonctions de sûreté doivent permettre d'éviter la fusion de combustible en piscine d'entreposage à l'égard des agressions naturelles du domaine de conception étendu.

15.7. Nouvelles modalités d'entreposage des combustibles usés

Au-delà des améliorations déjà mises en œuvre par Électricité de France, un renforcement de la sûreté de l'entreposage et de la manutention sous eau des combustibles

usés en piscine de désactivation des réacteurs en exploitation, jusques et y compris ceux du palier N4, est recherché dans le cadre des discussions relatives à la prolongation de leur durée de fonctionnement (projet « DDF »), l'objectif étant de se rapprocher, autant que raisonnablement possible, des exigences retenues pour les réacteurs de type EPR. À cet égard, deux modifications prévues dans le cadre des quatrième visites décennales des réacteurs de 900 MWe ont été indiquées plus haut, visant à assurer une redondance fonctionnelle de l'isolement de la ligne d'aspiration du circuit de refroidissement de la piscine d'entreposage du combustible et un secours à ce circuit (« PTR bis »).

Par ailleurs, les capacités d'entreposage de combustibles usés des piscines des réacteurs en exploitation et de l'établissement Orano de La Hague sont apparues⁵¹⁰ trop faibles (notamment dans l'optique d'une prolongation de la durée de fonctionnement des réacteurs au-delà de 40 ans). C'est pourquoi l'Autorité de sûreté nucléaire a demandé en juin 2013 à Électricité de France de « réviser sa stratégie en matière de gestion et d'entreposage du combustible usé⁵¹¹, en proposant de nouvelles modalités d'entreposage permettant d'une part de couvrir les besoins et d'autre part de renforcer la sûreté de l'entreposage du combustible ».

Électricité de France a prévu de construire⁵¹² une « piscine d'entreposage centralisé », permettant d'accueillir notamment les assemblages combustibles issus des réacteurs à eau sous pression du parc électronucléaire⁵¹³, qui pourrait comporter plusieurs tranches (ou bassins).

Au mois de juillet 2019, à la suite de l'instruction technique menée par l'IRSN et d'une réunion du Groupe permanent d'experts pour les laboratoires et usines, l'Autorité de sûreté nucléaire a transmis à Électricité de France son avis⁵¹⁴ sur le dossier d'options de sûreté (DOS) de la piscine d'entreposage centralisé, qu'Électricité de France avait transmis au mois d'avril 2017. Dans cet avis, un élément important concerne les risques de vidange accidentelle de la piscine centralisée à la suite d'une brèche. Sur ce sujet, Électricité de France a prévu de réaliser une étude justifiant que, pour un scénario postulé de vidange soudaine d'un bassin, la configuration de la zone située sous le bassin permettrait d'éviter le découverture des assemblages combustibles (zone d'implantation des plots de soutènement parasismiques); l'ASN a précisé comme suit les objectifs qu'il convenait de viser pour cette justification: elle estime en effet « nécessaire que [dans la demande d'autorisation de création de la piscine centralisée]

510. Constat partagé par EDF et Areva, notamment à l'occasion de réunions des groupes permanents d'experts consacrés au cycle du combustible (en 2001 et 2010): les piscines de La Hague pourraient être pleines à l'horizon 2030.

511. Cette stratégie s'appuyait sur un projet de densification de l'entreposage dans les piscines d'entreposage du combustible des réacteurs de 900 MWe (palier CPY). Après examen par l'IRSN, cette stratégie n'a pas été jugée satisfaisante par l'ASN.

512. Sur un site non encore défini à la date de la finalisation du présent ouvrage.

513. Ainsi que ceux du réacteur SUPERPHENIX (centrale nucléaire de Creys-Malville), entreposés sur le site dans l'atelier pour l'évacuation du combustible (APEC).

514. Cet avis a fait l'objet du courrier de l'ASN référencé CODEP-DRC-2019-033736 du 29 juillet 2019.

EDF définit des dispositions pour maintenir sous eau de manière passive les assemblages entreposés ou manutentionnés dans le bassin d'entreposage et dans le canal de transfert, pour un scénario postulé de vidange accidentelle massive d'un bassin d'entreposage ou d'un canal de transfert de l'installation à la suite d'une brèche dans une structure assurant leur intégrité, pendant une durée compatible avec le délai de mise en œuvre des moyens de gestion de cette situation d'urgence ».