

Chapitre 13

Domaine complémentaire d'événements

Il a été vu dans les chapitres précédents comment ont été progressivement introduites, dans l'étude et le dimensionnement général des centrales nucléaires, des défaillances pouvant résulter d'agressions d'origine interne ou externe qui n'étaient pas considérées (ou étaient insuffisamment considérées) au moment du choix de la filière des réacteurs à eau et de la construction des premières tranches. L'introduction de références probabilistes pour juger du caractère acceptable des dispositions prises à l'égard de certains risques comme ceux qui sont liés aux turbines, aux avions ou aux explosions d'origine externe a également été présentée.

Ces évolutions ont conduit à compléter le dimensionnement initial sans toucher à la partie la plus structurée, à savoir l'étude des événements (incidents, accidents) d'origine interne sous forme de conditions de fonctionnement résultant d'initiateurs « uniques » ou « simples », faite en suivant la démarche formalisée et illustrée dans les chapitres 6 à 10. Ces études seront progressivement complétées par celle d'un « domaine complémentaire » d'événements⁴⁶¹, qui fait l'objet de la suite du présent chapitre.

Il convient de rappeler que, comme cela est indiqué au paragraphe 6.5, ce « domaine complémentaire » et l'étude de situations avec fusion du cœur sont maintenant englobés (guide ASN n° 22, textes de l'association WENRA) dans ce qui est appelé le domaine de conception étendu (DEC). Ce DEC englobe lui-même aussi bien

461. Ou de « situations », terme aussi utilisé.

les événements internes liés aux équipements (avec la catégorie DEC-A pour les défaillances multiples d'équipements et la catégorie DEC-B pour les situations avec fusion du cœur) que des agressions internes et externes plus sévères que celles qui ont été retenues dans le cadre du dimensionnement de base.

13.1. Origine des études du « domaine complémentaire »

Dès 1973, les organismes de sûreté américains se sont posé des questions sur la possibilité et les conséquences éventuelles d'une défaillance de l'arrêt d'urgence lors d'un transitoire qui conduit à sa sollicitation, situation désignée sous le sigle anglo-saxon d'ATWS (*Anticipated Transient Without Scram*). Or l'arrêt automatique du réacteur est, dans toutes les centrales, un système qui répond au critère de défaillance unique. Après 1975, les organismes de sûreté français, élargissant la question, ont souhaité qu'Électricité de France étudie les probabilités et les conséquences de la défaillance complète d'ensembles de systèmes importants pour la sûreté utilisés de manière permanente ou fréquente; il s'agissait des alimentations électriques, de la source froide et des systèmes qui y sont associés, ainsi que du refroidissement du cœur par l'intermédiaire des générateurs de vapeur.

Les alimentations électriques nécessaires au maintien de la sûreté comprenaient deux réseaux externes relativement indépendants, la possibilité d'un îlotage en cas de perte de ces réseaux externes, enfin deux générateurs à moteur diesel dont un seul suffisait pour alimenter les matériels nécessaires à la sûreté de la tranche.

Pendant le fonctionnement du réacteur, le refroidissement du cœur était assuré grâce à l'alimentation en eau des générateurs de vapeur, système redondant. En cas de défaillance de ce système ou d'indisponibilité de la turbine, le réacteur était arrêté et l'alimentation en eau des générateurs de vapeur était assurée par un système d'alimentation de secours, le système ASG, lui-même redondant. Le critère de défaillance unique était donc respecté.

Les premiers travaux sur les défaillances de ces ensembles de systèmes ont été qualifiés d'études « hors dimensionnement » ou « en limite du dimensionnement », expressions réservées aux études d'accidents sérieux mais de probabilités très faibles. Il s'agissait en fait d'études relatives à des combinaisons de défaillances « laissées hors du champ du dimensionnement conventionnel ».

Pour évaluer l'intérêt et l'importance de ces études, il était important de disposer d'une base d'appréciation, qui sera fondée sur des références probabilistes.

13.2. Historique du « domaine complémentaire »

Sur des propositions de l'IPSN, la notion de combinaisons de défaillances faisant partie de ce qui, ultérieurement, prendra le nom de « domaine complémentaire » ainsi qu'une première liste de tels d'événements a historiquement été introduite en France par la lettre SIN 1076/77 du 11 juillet 1977 du Service central de sûreté

des installations nucléaires⁴⁶². Ces aspects ont ensuite été repris dans deux « lettres d'orientation » ministérielles, portant les références CAB 900-MZ du 3 septembre 1979 et CAB 1121-MZ du 6 octobre 1983, relatives respectivement à la conception des réacteurs de 1 300 MWe et à celle des réacteurs de 1 450 MWe.

Les points essentiels de ces lettres peuvent être résumés de la manière suivante :

- le dimensionnement des installations d'une tranche comportant un réacteur à eau sous pression devrait être tel que la probabilité globale que cette tranche puisse être à l'origine de conséquences inacceptables ne dépasse pas 10^{-6} par an⁴⁶³ ;
- il est souhaité que l'exploitant utilise une approche probabiliste pour le plus grand nombre possible d'événements ;
- l'utilisation d'approches probabilistes n'implique pas une démonstration du respect de l'objectif global énoncé ci-dessus, ni l'utilisation directe de méthodes probabilistes pour la conception des tranches ; ces approches peuvent par contre améliorer la démarche déterministe ;
- compte tenu de l'objectif global de 10^{-6} comme probabilité annuelle de conséquences inacceptables, une valeur de 10^{-7} peut être utilisée comme probabilité annuelle de conséquences inacceptables pour une famille d'événements, dès lors qu'une approche probabiliste est utilisée pour cette famille ;
- il est admis, en revanche, de ne pas retenir les familles d'événements dont la probabilité estimée est clairement inférieure à 10^{-7} par an ;
- des hypothèses et méthodes de calcul « réalistes » peuvent être utilisées pour l'étude des familles d'événements qui ont été retenues à la suite de cette approche complémentaire ;
- le cas des défaillances simultanées des voies redondantes des systèmes importants pour la sûreté doit être examiné dans ce cadre.

Ces principes appellent un certain nombre de commentaires :

- l'objectif global et l'objectif par famille d'événements ont été fixés en termes de « conséquences inacceptables », qui ne sont pas définies par un texte législatif ou réglementaire. Il s'agit, en fait, d'un objectif en termes politiques pouvant évoluer dans le temps. De manière pratique, chaque fois qu'une approche proba-

462. Lettre « relative aux grandes options de sûreté des tranches comportant un réacteur nucléaire à eau pressurisée du ministre chargé de l'industrie au directeur général d'EDF ». Cette lettre, complétée par la lettre SIN 576/78 du 16 mars 1978, ainsi que les deux lettres CAB citées, sont reproduites dans le recueil des textes publiés par la Direction de la sûreté des installations nucléaires, 4^e édition, de mai 1999 (Éditions des journaux officiels).

463. Une probabilité de 10^{-6} par an et par tranche correspond à une espérance mathématique de 2/1 000 d'avoir un tel accident pour un parc électronucléaire de 50 réacteurs exploités pendant 40 ans.

biliste est utilisée pour une famille d'événements, une traduction prudente et concrète de la notion de conséquences inacceptables est utilisée, sous la forme de critères de découplage⁴⁶⁴;

- la probabilité de 10^{-6} par an de conséquences inacceptables est une valeur maximale « objectif ». Il n'est pas demandé à l'exploitant de démontrer que cet objectif est atteint; de même, la probabilité de conséquences inacceptables de 10^{-7} par an n'est pas une valeur maximale impérative pour une famille d'événements, des compensations pouvant exister avec d'autres familles de probabilités plus faibles;
- les « dispositions complémentaires »⁴⁶⁵ qui peuvent se révéler nécessaires peuvent comprendre aussi bien des procédures particulières de conduite utilisant des équipements ou systèmes qui existent de par la conception déterministe conventionnelle que de nouveaux équipements ou systèmes à mettre en place, associés également à des procédures de conduite.

Cette approche a ainsi conduit à retenir plusieurs familles d'événements dont les évaluations probabilistes montraient l'importance, pour lesquelles des modifications de conception et d'exploitation apparaissaient nécessaires, avec, pour certaines, la mise en place de procédures de conduite dédiées (dites procédures H):

- la défaillance de l'arrêt automatique du réacteur lors d'un transitoire qui le sollicite. Cette défaillance a été étudiée pour toutes les conditions de fonctionnement de deuxième catégorie qui sollicitent l'arrêt automatique du réacteur. Les phénomènes préoccupants qui peuvent en résulter sont une surpression dans le circuit primaire et un sous-refroidissement des crayons combustibles. Électricité de France a mis en place un « palliatif ATWS », c'est-à-dire un système permettant de pallier cette défaillance en utilisant notamment des signaux, des logiques et des moyens de déclenchement de l'arrêt automatique du réacteur différents;
- la perte totale de la source froide ou la défaillance des systèmes assurant le transfert de chaleur vers celle-ci, pour laquelle Électricité de France a introduit la procédure H1;
- la perte totale de l'alimentation en eau des générateurs de vapeur, pour laquelle Électricité de France a introduit la procédure H2; c'est dans cette procédure qu'apparaît notamment le mode de refroidissement du réacteur en « gavé-ouvert », consistant à refroidir le cœur par une circulation d'eau assurée par une

464. Par exemple, pour les chutes d'avions, il est considéré que la perte de l'intégrité d'un bâtiment abritant les fonctions de sûreté conduit systématiquement à des conséquences inacceptables; pour ce qui concerne la défaillance totale des systèmes redondants, il est considéré comme inacceptable un début de découplage du cœur par l'eau de refroidissement sans possibilité de renoyage...

465. Expression introduite dans les lettres précitées.

injection d'eau dans le réacteur et une ouverture volontaire du circuit primaire au niveau des soupapes du pressuriseur⁴⁶⁶;

- la perte totale des alimentations électriques, pour laquelle Électricité de France a introduit la procédure H3 – l'analyse effectuée alors mérite d'être rappelée, ce qui est présenté dans le focus ci-après;
- la perte totale du système d'injection de sécurité ou du système d'aspersion d'eau dans l'enceinte de confinement, pendant la phase à long terme suivant un accident de perte de réfrigérant primaire, qui fait l'objet de la procédure H4; comme cela est précisé au paragraphe 17.8, la procédure H4 a été complétée par une procédure « ultime », U3, pour traiter le cas d'une perte totale des moyens de pompage d'eau;
- la protection de certains sites fluviaux à l'égard d'une crue supérieure à la crue millénaire, qui fait l'objet de la procédure H5.

#FOCUS.....

Analyse de la perte totale des alimentations électriques d'un réacteur à eau sous pression⁴⁶⁷

L'alimentation en énergie électrique nécessaire à la sûreté des centrales françaises peut être assurée par de nombreux moyens (voir la figure 13.1) que sont :

- deux sources externes constituées à partir du réseau national de transport d'électricité et relativement indépendantes l'une de l'autre; l'une de ces sources constitue la ligne d'alimentation électrique dite principale, qui permet l'évacuation de l'énergie électrique produite par le réacteur; l'autre ligne est dite auxiliaire;
- l'îlotage, pendant lequel une tranche, séparée des réseaux extérieurs, ne fonctionne que pour alimenter ses propres équipements;
- deux sources internes constituées chacune d'un groupe électrogène à moteur diesel.

Une seule de ces sources est suffisante pour fournir l'énergie électrique aux équipements nécessaires du point de vue de la sûreté. Cette énergie est distribuée par l'intermédiaire de deux tableaux électriques qui alimentent chacun une

466. L'eau sortant des lignes de décharge du pressuriseur est dirigée vers un réservoir de décharge, équipé d'une membrane; lorsque la membrane éclate, l'eau se déverse dans le bâtiment du réacteur et se retrouve dans les puisards situés au fond de l'enceinte de confinement.

467. Ces développements concernent les réacteurs de 900 MWe, 1 300 MWe et 1 450 MWe.

voie particulière. Chaque générateur à moteur diesel est affecté à l'un de ces deux tableaux électriques.

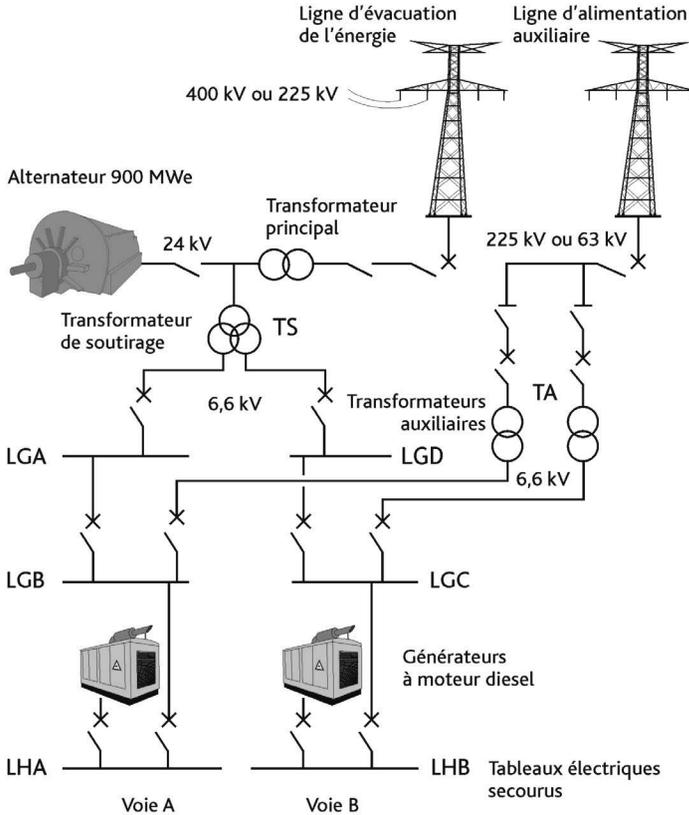


Figure 13.1. Alimentations électriques de puissance d'un réacteur de 900 MWe. Georges Goué/IRSN.

La perte totale de l'alimentation électrique des équipements nécessaires à la sûreté de la tranche peut provenir, soit de la défaillance simultanée de l'ensemble des sources, soit de celle des deux tableaux électriques.

Pour les réacteurs de 900 MWe, au début des années 1980, la probabilité de défaillance totale des alimentations électriques (pendant une durée d'une heure) a été estimée à quelques 10^{-5} par an et par réacteur, avec des contributions équivalentes de la défaillance des sources et des tableaux électriques secourus LHA et LHB. Il convenait donc d'en étudier les conséquences.

La perte totale des alimentations électriques entraîne :

- la chute des grappes d'arrêt et de contrôle,

- l'arrêt de toutes les motopompes,
- l'immobilisation des vannes motorisées dont certaines se seront mises en position sûre,
- la «perte» de l'air comprimé, au moins après dégonflage des ballons tampons qui se trouvent sur certains circuits,
- l'épuisement progressif des batteries et la «perte», au bout d'une heure, de toute information en salle de commande et de toute possibilité de commande.

L'arrêt du réacteur par chute des grappes absorbantes est favorable.

L'arrêt des pompes primaires, dotées de volants d'inertie adaptés, est prévu en cas d'arrêt automatique du réacteur ; ces volants d'inertie permettent le passage à une circulation naturelle du fluide de refroidissement.

L'évacuation de la puissance résiduelle est assurée par l'intermédiaire des générateurs de vapeur alimentés par la (ou les) turbopompe(s)⁴⁶⁸ de leurs alimentations de secours en eau à partir de la bêche du circuit ASG, la vapeur produite étant rejetée dans l'atmosphère, le condenseur étant indisponible. La bêche du circuit ASG permet de maintenir ce mode de refroidissement pendant une vingtaine d'heures.

En revanche, il est apparu que, pour les réacteurs de 900 MWe, les joints hydrodynamiques des pompes primaires pourraient se détériorer rapidement ; l'arrêt des pompes du circuit de contrôle chimique et volumétrique (RCV) interrompt l'injection d'eau à très haute pression dans ces joints, et l'arrêt du système de refroidissement intermédiaire (RRI) fait perdre l'alimentation en eau froide de la barrière thermique qui contribue à protéger ces joints. Ceux-ci ont alors une probabilité importante de se détériorer, ce qui conduirait à la création d'une brèche du circuit primaire. Or ni le système d'injection de sécurité, mis à part les accumulateurs, ni celui d'aspersion d'eau dans l'enceinte de confinement ne pouvaient fonctionner en l'absence d'alimentation électrique. On pouvait donc se trouver, au bout de quelques heures, face à un accident particulièrement grave (découvrement puis fusion du cœur, augmentation non maîtrisée de la pression dans l'enceinte de confinement pouvant éventuellement conduire à sa défaillance).

Certaines modifications d'installations et d'équipements ont alors été décidées par Électricité de France, accompagnées de la procédure de conduite correspondante (H3), pour :

- assurer une réalimentation automatique de l'injection d'eau aux joints des pompes primaires, dans un délai de 2 minutes, par la motopompe de test⁴⁶⁹

468. Entraînées par la vapeur des générateurs de vapeur.

469. La pompe de test permet la mise en pression du circuit primaire lors des épreuves réglementaires initiale et périodiques. C'est par les lignes d'alimentation des joints des pompes primaires que se font ces mises en pression.

(appartenant au système RIS) du circuit primaire, de faible débit, alimentée en électricité par un petit turboalternateur, dénommé LLS; ce turboalternateur est alimenté en vapeur grâce à un piquage sur la ligne d'alimentation de la turbopompe ASG. Cela a nécessité des modifications mécaniques (liaisons entre les systèmes RIS, RCV et RCP d'une part, LLS et ASG d'autre part) et électriques (pour la mise en service et le fonctionnement de façon autonome du « système » LLS – représenté sur la figure 13.2). Cette disposition a été retenue dès la conception des réacteurs de 1300 MWe et de 1450 MWe, puis adaptée pour les réacteurs de 900 MWe (chaque réacteur de 1300 MWe et de 1450 MWe dispose d'une pompe de test et d'un LLS, mais il n'y a qu'une pompe de test et un LLS pour chaque paire de réacteurs de 900 MWe);

- maintenir un minimum de moyens de contrôle-commande permettant la maîtrise de la pression et de la température de l'eau dans les circuits primaire et secondaire, le contrôle du remplissage du circuit primaire, la commande de la vitesse de la (ou des) turbopompe(s) de l'alimentation de secours des générateurs de vapeur et la commande des vannes de décharge de la vapeur à l'atmosphère. Le courant électrique nécessaire provient également du petit turboalternateur LLS.

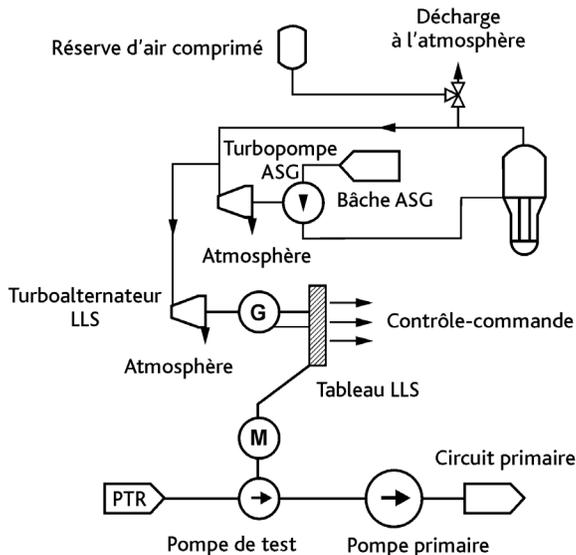


Figure 13.2. Traitement de la perte totale des alimentations électriques : le système LLS. IRSN.

En l'absence de décharge d'eau du circuit primaire, le pressuriseur se remplit par suite de l'injection d'eau aux joints des pompes primaires. La place nécessaire est obtenue par contraction progressive du fluide primaire en le refroidissant par l'intermédiaire des générateurs de vapeur (au début de l'accident à puissance

nominale, l'eau du circuit primaire, dont la température moyenne est de 286 °C, a une densité de 0,7 environ ; il est donc possible de gagner un volume de l'ordre de 100 m³). Les premières études ont montré la possibilité de maintenir le combustible dans un état satisfaisant pendant une vingtaine d'heures dans ces conditions (délai considéré comme suffisant pour permettre le rétablissement d'au moins une source électrique, ne serait-ce qu'à titre provisoire).

L'optimisation de la procédure de conduite H3 et l'examen des moyens de réalimenter la réserve d'eau de l'alimentation de secours des générateurs ont permis d'allonger encore ce délai.

La procédure de conduite H3 et les équipements associés permettent d'éviter tout dégât sur le combustible et tout rejet significatif de radioactivité.

Les délais sont alors suffisants pour retrouver une alimentation électrique par l'une des voies suivantes :

- une source externe alimentée par une tranche du site, un site voisin, un groupe hydraulique proche ;
- le démarrage d'une turbine à gaz (TAG) mobile ou d'un groupe d'ultime secours (générateur à moteur diesel) ; ces équipements sont venus, l'un ou l'autre, compléter les possibilités d'alimentation électrique de chaque site ;
- le raccordement à un groupe électrogène d'une tranche voisine, *via* le « stand » de raccordement de la TAG ;
- le contournement des deux tableaux électriques supposés défaillants en alimentant directement les matériels nécessaires du point de vue de la sûreté à l'aide de bretelles de raccordement utilisées lors des essais périodiques.

Toutes les tranches en service ont bénéficié de ces dispositions – les problèmes de fiabilité des équipements complémentaires étant progressivement résolus.

.....

13.3. Analyse des événements du « domaine complémentaire »

Électricité de France a pris l'option, pour la majorité des événements du domaine complémentaire (combinaisons de défaillances), d'effectuer une démonstration « physique » du bien-fondé des dispositions retenues ; il a été admis que ces études pourraient se faire avec des hypothèses présentant des « marges moindres de conservatisme » (pas d'aggravant, puissance résiduelle sans marge ou avec une marge réduite, temps d'action pour l'opérateur fixé à une valeur jugée raisonnable...).

Toutefois, la mise en œuvre d'une telle approche a soulevé de nombreuses questions, liées au manque de cohérence entre les hypothèses retenues dans les différentes approches.

Devant ce constat, il est apparu opportun de redéfinir une démarche pour déterminer la liste puis étudier les événements du domaine complémentaire, en visant notamment à obtenir une cohérence entre, d'une part les études déterministes de ces événements, d'autre part les études support utilisées dans les études probabilistes de sûreté.

Dans le cadre de l'instruction de la demande de mise en service de Chooz B1 (1996), après l'examen des événements du domaine complémentaire du palier N4, l'autorité de sûreté (DSIN) a demandé à l'exploitant Électricité de France :

- de réexaminer la liste des événements du domaine complémentaire selon une méthode à proposer et, le cas échéant, de la compléter en tenant compte des résultats des études probabilistes de sûreté réalisées pour le palier N4,
- de proposer une démarche sur le sujet en termes d'hypothèses retenues et de méthodes « réalistes », cette démarche devant permettre de s'assurer de l'absence d'effet « falaise », notamment à l'aide d'études de sensibilité sur les paramètres influant fortement sur les transitoires associés.

13.4. « Nouveau domaine complémentaire »

Ces demandes de l'autorité de sûreté ont conduit Électricité de France à proposer et appliquer une nouvelle approche pour la définition des événements à étudier, qui constituent le « nouveau domaine complémentaire ».

Ce nouveau domaine complémentaire est construit sur la base des résultats des études probabilistes de sûreté (EPS) de niveau 1: la vérification du niveau de sûreté qu'elles permettent conduit, le cas échéant, à la mise en place de parades pour ramener le risque lié à l'exploitation de l'installation à un niveau jugé acceptable.

Il est possible de prendre en compte dans les EPS des matériels ou des systèmes qui ne sont pas pris en considération (retenus, ou « valorisés ») dans les études déterministes des conditions de fonctionnement de dimensionnement (ou de référence), et qui peuvent avoir un effet bénéfique pour la sûreté. Ces matériels et systèmes peuvent être des matériels ou des systèmes qui assurent un rôle dans le fonctionnement normal de la tranche (par exemple le système de contournement de la turbine vers le condenseur ou vers l'atmosphère [GCT-c et GCT-a], l'appoint d'eau au circuit primaire par la charge du circuit de contrôle chimique et volumétrique [RCV]...) ou des systèmes ou fonctions spécifiques qui ne sont pas classés de sûreté à la conception. Le but des études du (nouveau) domaine complémentaire est de vérifier que l'ensemble des dispositions mises en œuvre permettent de ramener le risque lié à l'exploitation de l'installation à un niveau jugé acceptable. Cette vérification conduit à identifier, parmi les dispositions non « valorisées » dans le dimensionnement conventionnel de base, celles qui sont indispensables pour la sûreté – voire, le cas échéant, à définir des dispositions spécifiques complémentaires. Ces dispositions matérielles ou opératoires sont appelées dispositions complémentaires spécifiques à

la gestion de situations accidentelles non couvertes par le dimensionnement conventionnel de base.

Dans le nouveau domaine complémentaire, une « disposition complémentaire » peut se comprendre comme une disposition matérielle ou une action de l'opérateur, non préventive (à l'égard de l'initiateur), spécifique à la gestion des situations accidentelles non couvertes par le dimensionnement conventionnel de base et nécessaire à la vérification du niveau de sûreté de l'installation, eu égard aux objectifs probabilistes.

Les principales étapes de la démarche de définition du nouveau domaine complémentaire sont décrites sommairement ci-dessous :

1. Identification de « séquences fonctionnelles » sur la base de l'EPS représentative de l'état de conception de la tranche, *i.e.* sans prise en compte des dispositions complémentaires. Une séquence fonctionnelle est définie comme un ensemble de séquences élémentaires probables (fréquence supérieure à 10^{-8} par tranche et par an) du modèle EPS qui présentent des caractéristiques fonctionnelles communes et pour lesquelles une réduction de la probabilité de fusion du cœur peut être obtenue par la mise en œuvre d'une même disposition complémentaire. Cette réduction dépend en général d'un unique « paramètre EPS » (délai d'intervention d'un opérateur ou fiabilité d'un matériel).
2. À chaque séquence fonctionnelle retenue, est associé un événement ou « condition de fonctionnement complémentaire », dont l'étude permet au concepteur de déterminer une valeur maximale pour le « paramètre EPS », comme le délai maximal dont dispose l'opérateur pour enclencher l'action de conduite ou la fiabilité d'un matériel, considéré comme disposition complémentaire.
3. Justification probabiliste de la disposition complémentaire; elle consiste à montrer que la probabilité de fusion du cœur associée est ramenée à un niveau acceptable avec la disposition complémentaire.

Les critères de sûreté utilisés pour les études déterministes (thermohydrauliques et physiques) des événements du (nouveau) domaine complémentaire sont ceux des conditions de fonctionnement de dimensionnement de quatrième catégorie. Des critères de découplage plus restrictifs peuvent être retenus pour ce qui concerne l'intégrité des différentes barrières de confinement.

Les valeurs des paramètres physiques (grandeurs caractéristiques de l'état initial de la tranche, valeurs de réglage des seuils de protection enclenchant les actions automatiques, caractéristiques fonctionnelles des matériels et des systèmes sollicités, puissance résiduelle...) sont fixées comme suit :

- valeurs raisonnablement enveloppes (en général à 95 %) pour les paramètres dominants,
- valeurs nominales (sans incertitudes) pour les autres paramètres.

L'ensemble des matériels, systèmes et régulations importants pour la sûreté (IPS, « classés » ou « non classés » de sûreté), est pris en compte. Les matériels, systèmes et

régulations qui ne sont pas IPS peuvent être pris en compte au cas par cas, sous réserve d'une justification de leur aptitude à remplir leur mission.

Ce nouveau domaine complémentaire correspond aux dispositions de l'« arrêté INB », dont l'article 3.2 (paragraphe II) qui précise que, « *en complément des événements déclencheurs uniques postulés, la démonstration de sûreté nucléaire traite des situations plausibles de cumul d'événements déclencheurs, sélectionnés selon des critères justifiés notamment au regard des analyses et évaluations mentionnées aux articles 2.7.2 et 3.3.* ».

Cette démarche a permis d'identifier ou de confirmer les « dispositions complémentaires » suivantes pour les réacteurs de 900 MWe, à l'occasion de leur troisième réexamen périodique :

- l'isolement automatique de la décharge du circuit de contrôle chimique et volumétrique (RCV) sur un critère de température élevée;
- l'isolement du circuit d'eau de retour des joints des groupes motopompes primaires GMPP et de la ligne de débit nul des pompes RCV en cas de perte du refroidissement intermédiaire;
- la mise en service manuelle du mode de refroidissement en « gavé-ouvert » (voir plus haut);
- le fonctionnement du turboalternateur LLS;
- le système d'injection d'eau aux joints des pompes primaires en cas de perte des tableaux électriques secourus de 6,6 kV, dont la fiabilisation a été accrue à l'occasion des VD3;
- l'alimentation en eau des générateurs de vapeur par les pompes d'extraction d'eau du condenseur en secours de la turbopompe de secours de l'ASG en cas de perte des tableaux électriques secourus de 6,6 kV;
- l'appoint manuel gravitaire au circuit primaire lorsque celui-ci est suffisamment ouvert en état d'arrêt du réacteur pour intervention (API);
- l'appoint gravitaire d'eau à la bêche du système ASG par le système de distribution d'eau déminéralisée;
- l'appoint d'eau au circuit primaire par le système RCV de la tranche voisine;
- la « borication » manuelle du circuit primaire – cette disposition de conduite permet de transférer une solution d'acide borique à 21 000 ppm de bore;
- la disposition de conduite visant un refroidissement maximal du réacteur dans le cas d'une brèche du circuit primaire sans injection de sécurité à haute pression;
- la mise en service manuelle de l'injection de sécurité en cas de brèche du circuit primaire en état d'arrêt normal du réacteur avec refroidissement par les générateurs de vapeur (AN/GV);

- la mise en service manuelle de l'injection de sécurité à basse pression en cas de brèche du circuit primaire en état d'arrêt normal du réacteur avec refroidissement par le circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt (AN/RRA);
- l'appoint d'eau automatique au circuit primaire en cas de perte ou de brèche du RRA en API;
- la mise en service manuelle d'un appoint d'eau au circuit primaire en cas de perte ou de brèche du circuit RRA en API et d'échec de l'appoint automatique;
- le passage manuel en recirculation d'eau en cas de perte ou de brèche du RRA en API;
- les dispositions de protection antidilution automatique (voir le chapitre 35);
- le secours mutuel des pompes du circuit d'injection de sécurité (RIS) à basse pression et du circuit d'aspersion d'eau dans l'enceinte de confinement (EAS);
- l'appoint manuel d'eau à la piscine du bâtiment d'entreposage du combustible en cas de perte de refroidissement de cette piscine;
- le déclenchement en local des groupes RAM – ces groupes assurent l'alimentation électrique des mécanismes de commande des grappes absorbantes pour en permettre l'extraction ou l'insertion progressive⁴⁷⁰;
- le groupe électrogène d'ultime secours;
- le « palliatif ATWS »;
- l'arrêt automatique des GMPP en cas d'atteinte d'un seuil de haute température des paliers et des butées des moteurs.

Les dispositifs associés ont fait l'objet d'un classement de sûreté et d'exigences d'exploitation dans les règles générales d'exploitation (RGE).

13.5. Cas du réacteur EPR Flamanville 3

Comme pour les réacteurs de 900 MWe, 1300 MWe et 1450 MWe, des dispositions complémentaires sont définies pour le réacteur EPR; elles permettent de traiter les événements qui prennent le nom de conditions de fonctionnements avec défaillances multiples de catégorie RRC-A⁴⁷¹ (*Risk Reduction Catégorie – A*).

Une évolution de méthode a cependant été introduite par Électricité de France, justifiée par les dispositions des « directives techniques pour la conception et la construction de la prochaine génération de réacteurs nucléaires à eau sous pression »

470. *A contrario*, le déclenchement de ces groupes provoque la perte de l'alimentation électrique de ces mécanismes et ainsi la chute gravitaire des grappes jusqu'à leur insertion complète dans le cœur.

471. De plus, la prise en compte pour la conception des situations avec fusion du cœur sera introduite (catégorie désignée par RRC-B); elles sont abordées au chapitre 17.

et par la recherche d'une cohérence avec les pratiques internationales. Les principales évolutions de la démarche concernent :

- le choix d'une unique valeur probabiliste repère, fixée à 10^{-8} , pour les séquences fonctionnelles avec fusion du cœur ;
- les règles d'étude des conditions de fonctionnement avec défaillances multiples RRC-A : les modalités de prise en compte des actions des opérateurs sont similaires à celles qui ont été retenues pour l'analyse déterministe des conditions de fonctionnement de référence (PCC) ;
- la vérification probabiliste de l'efficacité des dispositions RRC-A, qui est apportée par des études probabilistes de sûreté.

Cette nouvelle démarche de définition du domaine complémentaire dit rénové est progressivement mise en œuvre pour les réacteurs en exploitation en commençant par les réacteurs de 900 MWe dans le cadre des études de réévaluation de sûreté associée à leurs quatrièmes visites décennales. Dans ce dernier cas, la mise en œuvre de la démarche a conduit, d'une part à confirmer les dispositions déjà identifiées dans le cadre des études du nouveau domaine complémentaire, d'autre part à retenir le diesel d'ultime secours (DUS), équipement installé par Électricité de France à l'égard de situations extrêmes (retour d'expérience de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi – voir le paragraphe 36.6), comme nouvelle disposition complémentaire permettant de réduire encore les risques liés aux événements internes aux réacteurs.