



LA SÛRETÉ DES CENTRALES NUCLÉAIRES: PRINCIPES ET TECHNIQUES

par Michel DURR,
Ingénieur à Electricité de France
Ancien élève de l'école Polytechnique

LA SÛRETÉ DES CENTRALES NUCLÉAIRES

Définition de la sûreté

Le terme sûreté recouvre l'ensemble des dispositions qui sont prises pour protéger le public d'une part, le personnel d'exploitation d'autre part contre les dangers présentés par l'utilisation des réactions nucléaires.

Deux aspects intimement liés sont à traiter, nous les séparons pour les besoins de l'exposé :

- **L'exploitation courante :** les centrales nucléaires rejettent normalement des effluents radioactifs liquides ou gazeux et les parties actives de leurs réacteurs émettent des rayonnements ionisants.

Par ailleurs leur combustible après usage constitue une source radioactive puissante et son transport doit être assuré jusqu'aux usines de retraitement.

La sûreté dans ces conditions va constituer à mettre en œuvre tous les dispositifs nécessaires pour réduire en dessous des valeurs admissibles les rejets et les émissions de rayonnement. La sûreté correspond alors aux mesures de protection contre les radiations.

Les valeurs maximales admissibles en exploitation normale se réfèrent aux recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (C.I.P.R) et sont définies en France par le Ministre du Travail. Les contrôles sont de la compétence du Ministre de la Santé et plus précisément de son Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants (S.C.P.R.I.).

- **Les situations exceptionnelles :** ces

situations correspondent aux cas d'incidents qu'on pourrait qualifier de courants dans les installations industrielles, aux cas d'accidents internes à la centrale, et enfin aux catastrophes d'origine extérieure : chute d'avion, tremblement de terre, etc.

La sûreté va alors se manifester de deux façons :

- prévention des accidents et des incidents,
- limitation des conséquences de ces incidents ou accidents.

La sûreté mettra en œuvre un exemple de dispositions techniques à prendre à tous les stades de la conception de la construction, de la mise en service, de l'exploitation et de l'arrêt des installations nucléaires.

Méthodologie de la sûreté

L'analyse par barrières successives

Cette analyse part de la constatation que la protection des travailleurs et du public contre les conséquences d'un relâchement exceptionnel de produits radioactifs est basée sur l'interposition d'une série de barrières entre les sources radioactives et l'homme. On commencera par identifier les sources possibles de rayonnement ou de produits radioactifs et on définira ensuite les barrières à interposer.

C'est ainsi que dans le cas des réacteurs PWR à eau légère, il y a trois barrières successives :

- La première barrière est la gaine de l'élément combustible. En effet les produits de fission des noyaux d'uranium 235 et le plutonium formé par irradiation des noyaux d'uranium 238 sont créés à l'intérieur même des pastilles frittées d'oxyde d'uranium.

Ces pastilles sont empilées dans un tube d'alliage spécial (zircaloy 4). Une partie des produits formés est sous forme solide, mais certains (Krypton, Xénon, Tritium) sont gazeux. Ils peuvent diffuser en partie dans le combustible et l'enveloppe du tube doit constituer pour eux une gaine qui les emprisonne.

La matière de l'alliage de cette gaine, son épaisseur, ses conditions de fonctionnement, sont choisis pour obtenir son étanchéité. Les contrôles de fabrication vérifient que cette étanchéité est bien obtenue. Malgré ces précautions et malgré les bons résultats obtenus en exploitation, on admet que le fonctionnement reste normal, c'est-à-dire à l'intérieur du domaine admissible, si moins de 0,25 % des gaines présentent des défauts et relâchent des produits radioactifs dans l'eau du circuit primaire donc par souci de sécurité, on dimensionnera tous les circuits

annexes en supposant que la fraction des gaines défectueuses atteint 1 % des gaines et que 1 % des produits de fission en sortent.

- La seconde barrière est l'enveloppe du circuit primaire. Elle enferme l'eau sous pression qui transfère la chaleur des éléments combustibles aux échangeurs où l'eau du circuit secondaire se vaporise. L'eau du circuit primaire contient les produits de fission ayant franchi la 1^{re} barrière, les produits d'activation de l'eau ou plutôt d'activation des éléments arrachés aux parois du circuit par la corrosion, ainsi que le tritium formé aux dépens du bore de l'acide borique qui sert au réglage neutronique et du lithium de la lithine qui règle le P_H.

Cette seconde barrière est constituée pour l'essentiel par la cuve et les tuyauteries du circuit primaire. Elle est en acier légèrement allié et a une vingtaine de centimètres d'épaisseur.

Tous les joints de grand diamètre sont soudés sauf le couvercle de la cuve qui est boulonné à celle-ci.

- La troisième barrière est constituée par l'enceinte de confinement. C'est une enceinte en béton précontraint de 0,85 m d'épaisseur munie d'une peau d'étanchéité en acier pour les tranches de 900 MW. Pour les tranches de 1 300 MW c'est une enceinte à structure double: une première en béton précontraint, un espace d'aspiration des fuites, une seconde enceinte extérieure en béton armé. Elle enferme le circuit primaire et retient à son intérieur les fuites à l'atmosphère de ce circuit ainsi que les fuites aux pénétrations de petit diamètre sur les circuits annexes.

L'enceinte elle-même est spécifiée, construite et éprouvée pour limiter à une valeur suffisamment faible les fuites à travers elle de l'intérieur à l'extérieur.

Ayant défini les barrières, on examine ensuite les conséquences de la rupture de chacune d'elles sur les deux autres. On est ainsi amené à un examen particulier de la 2^e barrière qui, en cas de rupture, crée des sollicitations particulières sur les deux autres barrières. Nous reviendrons plus loin sur ce point quand nous traiterons de l'accident de référence.

Indiquons simplement qu'on définit ainsi des conditions supplémentaires auxquelles devront satisfaire la 1^{re} et la 2^e barrière, c'est-à-dire la gaine du combustible et l'enceinte de confinement.

La défense en profondeur

Pour s'assurer de la validité de chacune des barrières et de son fonctionnement correct dans les conditions normales et accidentelles, on utilise le concept de défense en profondeur et nous citons à ce sujet M. Bourgeois, Adjoint au Chef du SCSIN (article paru dans la revue "les Annales des mines" de janvier 1974):

"Ce type d'analyse permet de faire ressortir le caractère progressif de la sûreté, en distinguant trois étapes successives, mais non indépendantes:

- **la prévention:** la validité de chaque barrière doit être démontrée par le choix des matériaux, leur adaptation aux conditions de fonctionnement et le maintien dans le temps des caractéristiques imposées. Il est essentiel de mettre en évidence les limites technologiques de manière à définir en toute connaissance de cause les marges réelles entre les conditions de fonctionnement et ces limites,
- **la surveillance:** elle est destinée à

détecter toute sortie à l'extérieur des marges précédemment définies afin d'être en mesure, dans ce cas, de déclencher à temps une action correctrice, automatique ou manuelle, pour revenir aux conditions normales,

- **l'action de sécurité:** elle a pour but, en cas de dépassement accidentel des limites technologiques de prévenir l'émission de produits radioactifs ou d'en limiter l'importance.

La défense en profondeur est ainsi organisée au niveau de la conception du projet et de l'action en fonctionnement. Elle est complétée au cours de la construction de la centrale et de la fabrication des composants par un contrôle sévère des fabrications et par des essais de réception des composants et de la centrale.

Toutes ces dispositions interviennent dans le cadre d'un programme dit d'assurance de la qualité qui vérifie:

- que les études, les spécifications, les plans ont effectivement pris en compte les prescriptions de sûreté,
- que les contrôles de fabrication, les essais de qualification ou de réception ont fait l'objet d'une procédure de définition et que cette procédure a été respectée,
- que les essais de mise en service ont bien été faits et ont donné les résultats escomptés.

L'analyse du fonctionnement

Le domaine de fonctionnement normal

Les installations et plus particulièrement les barrières ont été définies en vue d'assurer un certain service qui correspond pour elles à un domaine de variation normal des paramètres. Dans ce domaine, les coefficients ou les marges de sécurité prises en compte assurent de l'intégrité des barrières.

Pour fixer les idées, ce domaine normal va correspondre pour la gaine du combustible à une plage de température, de pression de l'eau du circuit primaire, de flux de chaleur sortant du combustible.

Pour le circuit primaire le domaine sera défini par la température et la pression de l'eau primaire, avec en outre pour les échangeurs de chaleur la température et la pression dans le circuit secondaire; pour les pompes primaires il faudra y ajouter la tension et la fréquence d'alimentation électrique, etc.

On met ainsi en évidence des paramètres fondamentaux qui feront l'objet d'une surveillance en service. La conception des installations devra maintenir les barrières dans leur domaine de fonctionnement normal dans tous les cas d'exploitation habituels aux installations industrielles: régimes transitoires de démarrage, d'arrêt, de modifications de charge, régimes permanents d'exploitation, fonctionnement perturbé. (Voir § suivant).

La sûreté en fonctionnement perturbé

Après avoir défini le fonctionnement normal des installations, on définit la conduite à tenir si une des grandeurs à surveiller s'écarte de la plage autorisée. Pour la ramener dans le domaine normal et y maintenir les autres paramètres, on sera amené soit à intervenir dans la marche de l'installation (à la ramener à un état sûr qui peut être

l'arrêt), soit à revoir la conception même de l'installation.

On définit un fonctionnement perturbé des installations qui va supposer systématiquement la panne ou la défaillance des composants. Dans la plupart des cas, la sûreté sera alors obtenue par l'usage de systèmes redondants. (La redondance, exemple des systèmes électriques, les voies A et B, page 6).

Les cas d'accidents étudiés, les accidents types

Nous avons jusqu'ici défini les dispositions nécessaires pour rester dans le domaine de fonctionnement normal même en cas de défaillance d'un système. Nous examinons ensuite ce qui se passerait si les systèmes de secours du fonctionnement normal étaient défaillants et si malgré toutes les dispositions prises un accident arrivait. Nous définissons alors un

système dit de sauvegarde du réacteur qui fonctionnerait dans ce cas et qui limiterait les conséquences de l'accident de manière acceptable.

Nous dressons pour cela une liste d'accidents types retenus comme particulièrement significatifs et graves. On vérifie que les autres accidents possibles s'inscrivent à l'intérieur des conditions des accidents types. Citons par exemple pour les réacteurs à eau sous pression la rupture d'un tube de générateur de vapeur, la rupture d'une tuyauterie de vapeur, l'éjection d'une grappe de contrôle, la perte des alimentations électriques extérieures, etc.

L'étude des accidents est faite dans le régime de fonctionnement de la centrale la plus défavorable, et on admet la simultanéité avec l'accident :

- d'une défaillance unique d'un composant actif d'un système de sécurité (par exemple non démarrage du moteur d'une pompe qui reçoit l'ordre de se mettre en route à la suite de l'accident),
- d'une transgression active unique par l'opérateur des consignes écrites d'exploitation (c'est la défaillance de l'opérateur qui aggrave par une fausse manœuvre l'accident envisagé).

Enfin un accident fait l'objet d'une étude encore plus poussée c'est ce qu'on appelle l'accident de référence (voir ci-après).

L'accident de référence des réacteurs à eau préssurisée

Cet accident correspond à la rupture d'une tuyauterie du circuit primaire dans les conditions d'environnement les plus graves qu'on puisse rencontrer (séisme majoré et perte du réseau extérieur d'alimentation électrique).

Dans ces conditions, l'eau du circuit primaire s'échappe par la brèche et se répand en vapeur dans l'enceinte de confinement et la pression baisse dans le circuit primaire.

Deux actions de sauvegarde sont déclenchées :

- un circuit dit d'aspersion arrose l'intérieur de l'enceinte avec de l'eau froide chargée en acide borique et puisée dans un réservoir extérieur à l'enceinte. Cette opération fait baisser la température et la pression dans l'enceinte de confinement et maintient la 3^e barrière, c'est-à-dire l'enceinte dans les conditions pour laquelle elle a été calculée.

Lorsque le réservoir est vide, des pompes d'aspersion reprennent l'eau dans

les puisards du fond du bâtiment réacteur, où elle s'est écoulée.

- un circuit d'injection de secours dans le cœur envoie de l'eau chargée d'acide borique dans le cœur : successivement au fil de la baisse de pression, trois pompes d'injection haute pression injectent une solution très concentrée d'acide borique (21000 ppm) dans le circuit primaire. Ensuite trois accumulateurs sous pression contenant de l'eau boriquée à 2000 ppm se déchargent dans le circuit primaire quand la pression tombe en dessous 42 bar. Si la pression continue à baisser en dessous de 8 bar absolus deux pompes à basse pression et à grand débit pompent de l'eau dans le réservoir de remplissage de la piscine et l'injectent dans les branches froides du circuit primaire. Quand le réservoir est vide elles reprennent l'eau des puisards de l'enceinte de confinement.

Pendant les diverses phases de l'accident, l'évolution du cœur est la suivante :

- phase de décompression monophasique (environ une seconde) début d'ébullition, montée en température de la gaine, arrêt de la réaction neutronique par modification du coefficient de vide dû à l'ébullition.

- décomposition en phase eau et vapeur (15-20 secondes) avec écoulement très violents par la brèche, perte d'une bonne partie du débit des accumulateurs et contournement éventuel du cœur par l'espace entre cuve et enveloppe du cœur si la rupture est sur une branche froide. A la fin de cette phase le niveau d'eau est sous le cœur qui monte en température.

- remplissage par les accumulateurs (20 secondes) jusqu'à la base des éléments combustibles. Montée en température du cœur sensiblement adiabatique sous l'effet de la puissance résiduelle.

- renoyage du cœur par les accumulateurs (pendant environ 40 secondes) puis par les pompes basse pression (pompes ISBP). Production d'une grande quantité de vapeur qui tend à s'écouler par les G.V., les pompes et la brèche, et entre en interférence avec l'injection de l'eau. La température du combustible se stabilise 60 à 90 secondes après le défaut de l'accident et commence à décroître.

- refroidissement en convection naturelle : les pompes basse pression font circuler l'eau et le circuit d'aspersion arrose la vapeur.

Tous ces circuits ont pour rôle de

maintenir la température de gaine en dessous de 1205 °C et de limiter l'oxydation de la gaine par la réaction zirconium-eau à moins de 17% de l'épaisseur initiale.

De plus le circuit d'aspersion maintient la température et la pression dans l'enceinte de confinement en dessous de 139° et 5 bars. L'enceinte de confinement elle-même retient en son intérieur tous les produits relâchés éventuellement.

En résumé, lors de l'accident de référence, les dispositifs mis en œuvre protègent la 1^{re} barrière en limitant la température de la gaine de l'élément combustible en assurant son renoyage et l'arrêt de la réaction en chaîne (par le coefficient de vide-sûreté intrinsèque et par l'injection d'acide borique dans l'eau de renoyage); ils protègent aussi la 3^e barrière, l'enceinte de confinement en limitant par l'aspersion la température et la pression dans l'enceinte.

Ces dispositifs dits de sauvegarde ne permettent pas de maintenir la 1^{re} barrière, c'est-à-dire la gaine des éléments combustibles, dans le domaine normal, mais ils assurent son intégrité en cas d'A.D.R. Ils maintiennent l'enceinte dans son domaine normal.

Les agressions extérieures

- Séisme : la France est divisée en zones d'intensité sismique donnée. Cette intensité correspond au séisme le plus violent signalé dans l'histoire. Une étude géologique faite sur chaque site vérifie que les conditions locales sont bien cohérentes avec la zone de séisme.

La chaudière nucléaire est construite pour continuer à fonctionner sans dommage pour le séisme maximum observé dans la zone. De plus elle est construite pour pouvoir être mise à l'arrêt sans danger pour les populations en cas de séisme d'intensité double du séisme précédent (séisme majoré).

- Chutes d'avion et missiles internes : une étude détaillée des chutes d'avions est faite pour chaque centrale et prend en compte la circulation générale, la circulation d'affaires ou de tourisme, l'aviation militaire. On en déduit la protection à mettre en œuvre contre cette agression. On fait aussi une étude détaillée des possibilités d'émission de missiles internes (ruptures de turbines, de pompes, etc.).

Si la probabilité d'atteinte d'un bâtiment jugé nécessaire pour la sauvegarde de la chaudière est inférieure à

10^{-8} par an on ne prend pas en compte l'éventualité d'une atteinte du bâtiment par un missile ou un avion; si cette probabilité est supérieure à 10^{-6} par an, on installe une protec-

tion. Si cette probabilité est comprise entre 10^{-6} et 10^{-8} , par an, on examine plus loin les conséquences de l'atteinte du bâtiment avant de décider de l'installation d'une protection.

• Sabotages : des dispositions sont prises qui ne peuvent être commentées. Elles comportent à la fois des mesures contre les saboteurs et des mesures contre les sabotages eux-mêmes.

La sûreté au niveau de la conception (exemples)

La redondance.

Exemple des systèmes électriques des voies A et B

La redondance va consister pour une fonction de sécurité à être obtenue par 2 systèmes complètement indépendants. Dans les réacteurs à eau sous pression la redondance est obtenue en doublant à l'identique les appareils et les circuits, dans d'autres types de réacteurs, les réacteurs à eau bouillante par exemple, elle peut être obtenue par substitution d'un système différent.

Notons que selon la disposition de sûreté recherchée, la redondance peut conduire à des dispositions différentes. Par exemple pour assurer la sûreté de la fermeture d'un circuit de fluides (qui doit être fermé en position de sécurité) il faudra disposer 2 vannes en série se fermant sur manque de tension. Pour assurer la sûreté à l'ouverture d'un circuit de fluide, il faudra installer 2 vannes en parallèle s'ouvrant sur manque de tension.

Pour les systèmes de sécurité, c'est-à-dire ceux qui sont destinés à maintenir le cœur et les barrières dans le domaine normal de fonctionnement quelles que soient les situations, la redondance exigée est d'ordre 2.

Elle se traduit sur les systèmes d'alimentation électrique par une organisation en 2 voies indépendantes A et B.

L'alimentation moyenne tension 6,6 kV est doublée; nous verrons plus loin les sources 6,6 kV; intéressons-nous à la distribution. Cette distribution est organisée à partir de 2 jeux de barres dont l'un alimente les auxiliaires de sécurité de la voie A, le second ceux de la voie B.

Parmi ces auxiliaires citons par exemple les pompes I.S.B.P. (injection de sécurité basse pression) dont les

moteurs sont en 6,6 kV. Ils alimentent aussi chacun un réseau 380 V par l'intermédiaire d'un transformateur 6,6 kV/380 V et ce réseau lui-même alimente les auxiliaires 380 V. Les réseaux d'alimentation continue 48 V et 125 V pour le contrôle et la commande du relayage des automatisme et des cellules de démarrage et d'arrêt des machines sont eux aussi doublée et rattachée à une voie et à l'autre.

La redondance.

Exemple des systèmes électriques des sources internes et externes

Pour obtenir la redondance au niveau de l'alimentation 6,6 kV, nous devons disposer de 2 sources externes (réseau extérieur) et de 2 sources internes distinctes (diesels entraînant des alternateurs).

Les 2 sources externes sont: un piquage en 20 kV entre l'alternateur principal et le transformateur 380 kV/20 kV qui le relie au réseau extérieur, permet d'alimenter un transformateur à 3 enroulements 20 kV/6,6 kV/6,6 kV, au moyen du réseau 380 kV à l'arrêt ou au démarrage et directement par la puissance fournie par l'alternateur principal en régime normal. Les défauts sur le transformateur et la ligne de réseau sont jugés assez improbables pour brancher les voies A et B sur le même transformateur par 2 enroulements accolés identiques.

Une 2^e source externe est constituée par une ligne 63 kV ou 220 kV alimentant un transformateur à 3 enroulements 225 kV ou 63 kV/6,6 kV/6,6 kV. Chacun des enroulements secondaires alimente le jeu de barres A ou B. En cas de perte du réseau

380 kV, on baisse la puissance de l'alternateur et on tente l'opération d'ilotage qui consiste à faire débiter l'alternateur sur les auxiliaires de la centrale seuls. Cette opération réussit 2 fois sur 3. Si elle rate, on coupe l'alimentation par le soutirage et on bascule sur l'alimentation extérieure auxiliaire.

Si on vient à perdre aussi cette alimentation, on alimente les voies A et B par leur diesel qui est maintenu réchauffé en permanence. Un seul des diesels est capable d'assurer le fonctionnement des systèmes de sûreté.

La redondance

La chasse aux points communs

Une préoccupation constante est de vérifier l'absence de mode commun de défaut, c'est-à-dire de disposition ou de circonstance qui viendrait à faire perdre les 2 voies à la fois.

Le mode commun de défaut peut provenir d'une cause extérieure: chutes d'avions, tremblement de terre, etc., il est pris en compte dans les situations à examiner.

Le mode commun de défaut peut provenir d'une cause interne: incendie par exemple ou encore point commun à deux circuits. Il faudra enfin vérifier qu'aucun accident survenant à un circuit d'une voie ne risque d'entraîner la perte de l'autre voie (incendie, éjection de missile, fuite de vapeur ou d'eau, etc.). Outre la chasse aux points communs sur les schémas de principe, on sépare soigneusement dans des salles ou bâtiments différents les matériels des 2 voies et on veille à respecter des règles de distance ou de protection minimum entre deux circuits appartenant à deux voies différentes.

La sûreté au niveau de l'exécution du projet

Les critères de sûreté et les codes

L'obtention de la sûreté a été obtenue d'abord pragmatiquement et elle se formalise d'une façon présentée plus rationnellement depuis quelques

années. Les autorités américaines ont joué et jouent encore un rôle directeur important dans ce domaine et leurs prescriptions sont toutes prises en compte en France avec éventuellement des adjonctions lorsque la loi

française est plus sévère.

Les prescriptions se traduisent essentiellement:

• dans les critères de l'U.S.A.E.C. (le C.E.A. américain), recueil de règles

pour la plupart très générales sur la conception des centrales. Des critères plus précis sont pris en compte pour l'E.C.C.S. (injection de sécurité),

- dans les règles et critères de l'I.E.E.E. (The Institute of Electrical and Electronics Engineers),

- dans l'utilisation de codes de calcul ou de dimensionnement comme le célèbre code ASME section III, code de calcul et de dimensionnement américain pour les installations nucléaires sous pression et les enceintes de confinement.

Les regulatory guides

Outre les codes, l'A.E.C. et son successeur N.R.C. ont publié des regulatory guides et des safety guides qui rentrent beaucoup plus encore dans le détail.

Les prescriptions des safety guides et des regulatory guides sont indicati-

ves, mais il convient de démontrer au cas où on ne les suit pas, que les dispositions retenues ont un caractère de sûreté au moins équivalent.

Ces documents sont repris dans des Standard Review Plan (S.R.P.) qui donnent la liste des points jugés importants pour la sûreté, posent les questions auxquelles le rapport de sûreté devra répondre, et de plus donnent des indications sur les dispositions à observer.

L'arrêté du Service des Mines sur les chaudières nucléaires (1974)

Cet arrêté particulièrement important prescrit de vérifier la tenue de la chaudière nucléaire vis-à-vis des déformations en utilisant des chargements majorés par rapport aux situations de toute sorte qui peuvent se présenter. (On appelle chargement l'ensemble

des sollicitations auxquelles est soumise la chaudière: pression, température, poids, etc...). Il fixe aussi les conditions d'épreuve des composants et des circuits après montage.

Les règles d'installation: par exemple pour la séparation physique des voies

Les lois et règlements en vigueur

Il est bon de le rappeler, bien que ce soit évident. C'est important notamment pour les prescriptions relatives à la radioprotection et aux rejets radioactifs. Remarquons toutefois que les valeurs retenues pour la radioprotection sont très inférieures à l'application stricte de la loi. Citons encore les règlements sur les rejets thermiques bien qu'il ne s'agisse plus de sûreté.

La sûreté pendant la construction l'assurance de qualité

L'assurance de qualité recouvre l'ensemble des actions destinées à garantir que le niveau de qualité acquis a bien été obtenu. En simplifiant beaucoup, on peut dégager les principes suivants:

- toutes les opérations sur un matériel comportant l'assurance qualité doivent être décrites en détail sur un manuel d'assurance de qualité regroupant l'ensemble des procédures des spécifications et des contrôles.

- toutes les opérations de contrôle doivent faire l'objet d'un compte rendu écrit; l'histoire réelle du matériel doit pouvoir être retrouvée, il faut savoir quel soudeur a fait tel joint soudé et quel lot d'électrodes il a utilisé, quelles étaient les caractéristiques de contrôle de ces électrodes, quelles

étaient les caractéristiques de la soudure obtenue, etc...

Tous ces documents entrent dans le dossier de qualité qui sera remis avec le matériel lors de sa livraison. L'assurance de qualité doit être obtenue par un effort de toutes les entreprises concernées qui doivent mettre en place une organisation de qualité si elles n'en disposent pas jusque là.

- L'assurance de qualité est complétée par un double contrôle:

- contrôle interne à l'intérieur du service ou de l'entreprise,
- contrôle externe fait hors hiérarchie d'exécution, ou confié à un organisme indépendant (Véritas par exemple).

- Les contrôles internes et externes ne sont pas exhaustifs, ils ont pour but de

s'assurer que le programme d'assurance de qualité est effectivement suivi.

- Une procédure de recyclage des observations faites sur les difficultés ou sur les défauts constatés doit être mise en place et scrupuleusement observée. Elle assure l'amélioration constante des spécifications depuis la conception en se servant de l'expérience accumulée.

- L'assurance de qualité et les contrôles de qualité s'étendent des études aux fabrications, montages et essais.

L'obtention d'un niveau de qualité convenable doit procéder d'un état d'esprit et tous les participants doivent comprendre leur niveau de responsabilité dans l'obtention de la qualité.

La sûreté assurée par les essais - les épreuves - les contrôles en exploitation

Avant la mise en service on vérifie que la sûreté a été obtenue en procédant à des essais qui sont des phases de fonctionnement dans des conditions normales de fonctionnement

permanent ou transitoire. Au cours de ces essais, on mesure tous les paramètres intervenant dans la sûreté: débits, pressions, températures, déplacements, contraintes...

On procède aussi à des épreuves qui ne correspondent pas à des cas de fonctionnement mais qui sont destinées à vérifier la qualité des installations et notamment des barrières:

- épreuve hydraulique à 1,25 fois la pression normale du circuit primaire,
- épreuve de l'enceinte de confinement à 1,15 fois la pression d'A.D.R.

Au cours de ces épreuves on vérifie le comportement élastique des barrières et leur étanchéité.

En cours d'exploitation, on procède en fonctionnement à des contrôles des paramètres intervenant dans la sûreté et on mesure ceux-ci pour déceler toute évolution anormale ou toute anomalie.

On procède aussi périodiquement à la

mise en service des auxiliaires des circuits redondants ou des auxiliaires hors service en marche normale.

Enfin, lors des arrêts annuels, on procède à une inspection détaillée de la centrale et notamment du circuit primaire et de la cuve du réacteur.

La procédure de sûreté - le rapport de sûreté - les organismes de sûreté

La pyramide des organismes de sûreté et des procédures est assez complexe et il conviendrait, pour plus de détails, de se reporter à la brochure "les dossiers de l'énergie n° 4 - La sûreté nucléaire en France" éditée par le ministre de l'Industrie.

En résumant beaucoup, disons qu'E.D.F. après avoir établi un projet doit, pour une centrale, demander une autorisation de création puis de mise en service pour le démarrage, et enfin une autorisation d'exploitation de la centrale.

Ces demandes s'accompagnent de dossiers de sûreté de plus en plus détaillés: l'étude préliminaire de sûreté, le rapport provisoire de sûreté avant le démarrage, le rapport définitif qui contient les résultats des essais de mise en service.

Ces demandes sont envoyées au Service Central de Sûreté des Installations Nucléaires qui les transmet aux Ministres intéressés, notamment au

Ministre de la Santé. Le Chef du S.C.S.I.N. transmet aussi le rapport de sûreté pour étude à un groupe permanent chargé de la sûreté des réacteurs qui lui donne son avis après instruction.

Pour cela, le groupe permanent reçoit l'assistance du Département de sûreté nucléaire du C.E.A. qui prend les contacts nécessaires avec E.D.F. et joue auprès du groupe permanent le rôle de rapporteur. Au vu des propositions du groupe permanent, des résultats de l'enquête locale, des observations éventuelles des Ministres et notamment du Ministre de la Santé et de son Service Central pour la protection contre les rayonnements ionisants, et des observations du Chef de l'arrondissement minéralogique concerné, le S.C.S.I.N. établit, en collaboration avec la Direction du Gaz, de l'Electricité et du Charbon, le projet de dépôt d'autorisation de création et en saisit la Commission Interministérielle des installations nucléaires de base.

Après avis de la C.I.I.N.B. et avis conforme du Ministre de la Santé, le décret est mis à la signature du Premier Ministre après contreseing du Ministre de l'Industrie.

Ensuite, le S.C.S.I.N. et la Direction du Gaz et de l'Electricité notifient le décret à E.D.F. en même temps, s'il y a lieu, que des recommandations particulières.

Pour la mise en service et la mise en exploitation normale, la procédure s'arrête au Chef du S.C.S.I.N. qui agit sur délégation du Ministre.

Les modifications ultérieures des installations si elles touchent les prescriptions techniques notifiées pour l'exploitation normale, doivent être soumises à l'accord préalable du Chef du S.C.S.I.N.

C.I.I.N.B.: Commission Interministérielle des Installations Nucléaires de Base.

S.C.S.I.N.: Service Central de Sûreté des Installations Nucléaires.