

9 Sûreté nucléaire

9.1 Introduction

Il ne fait aucun doute que le risque pour la population associé aux produits de fission radioactifs générés par une centrale nucléaire est bien réel. Les centrales dont l'exploitation est autorisée doivent s'assurer que ce risque demeure extrêmement faible. La gestion du risque (qui consiste à le maintenir à un faible niveau) est inhérente à la notion de sûreté nucléaire. La sûreté nucléaire se rapporte à la manière dont la centrale est conçue, aménagée, exploitée et entretenue. Elle correspond au matériel, aux procédés et à la gestion administrative d'une centrale nucléaire. Le présent chapitre contient un bref aperçu des notions fondamentales et des pratiques d'exploitation d'une centrale nucléaire.

9.2 Unités de l'exposition au rayonnement

L'exposition d'une personne à de grandes quantités de rayonnement présente un risque extrêmement élevé. Cependant, lorsqu'il s'agit de faibles niveaux de rayonnement, les opinions sont partagées. En fait, nous sommes exposés à de faibles niveaux de rayonnement chaque jour. Avant de discuter des sources de rayonnement, nous allons définir les unités de l'exposition au rayonnement. Les mesures initiales du rayonnement étaient l'énergie absorbée par une masse unitaire de tissu vivant. L'unité a été baptisée Roentgen, du nom d'un des premiers scientifiques à avoir effectué des expériences avec la matière radioactive. L'ancienne unité Roentgen porte maintenant le nom de rad.

Les dommages causés à l'être humain par le rayonnement ne sont pas seulement fonction de l'énergie absorbée, mais également de l'endroit où ont été causés les dommages. Un joule d'énergie provenant d'une source émettrice gamma cause moins de dommages qu'un joule d'énergie provenant d'une source émettrice alpha. L'énergie provenant de la source alpha se déposera dans une zone bien précise du corps. L'énergie provenant du rayonnement gamma sera quant à elle répartie dans un volume plus grand et causera ainsi moins de dommages. Une deuxième unité qui tient compte de l'énergie absorbée et du type de rayonnement ayant causé les dommages porte le nom de rem (Roentgen-equivalent-man). Le rem est l'unité normalisée de mesure du rayonnement.

Avec l'arrivée du système d'unités internationales (SI), le rad a été remplacé par le gray et le rem par le sievert. Le gray équivaut à 100 rads et le sievert équivaut à 100 rem. Comme le rem est une unité très grande, dans la pratique les doses de rayonnement dans une

centrale sont mesurées en millirem. Si les unités SI officielles sont employées, on utilisera l'unité pratique qu'est le micro-sievert.

Les doses reçues sont l'une des principales préoccupations considérées dans la conception et la construction d'une centrale. Pour obtenir un permis, une société doit présenter une conception de centrale ayant fait ses preuves et démontrer que, durant une année, la dose reçue par une personne vivant à proximité de la clôture délimitant le terrain de la centrale ne recevra pas de dose importante. En outre, il a été démontré que la probabilité que la personne reçoive à la clôture la dose maximale admissible est très faible. Tout élément ayant une incidence sur l'émission de rayonnement ou sur le risque d'émission de rayonnement doit être considéré dans la sûreté nucléaire.

9.3 Rayonnement

Nous allons maintenant examiner la notion de rayonnement naturel dans l'environnement. La connaissance du rayonnement naturel est essentielle pour mieux comprendre les dangers d'irradiation.

Le rayonnement naturel est émis par un certain nombre de sources naturelles et artificielles. Le rayonnement naturel provient des éléments radioactifs, qui existent sur la Terre depuis ses origines. Tous les éléments naturellement présents dont le numéro atomique est supérieur à 82 sont radioactifs, de même que certains isotopes d'éléments dont le numéro atomique est plus bas. En outre, la Terre est assujettie au bombardement constant du rayonnement cosmique, qui génère certains radionucléides dans l'atmosphère, comme le tritium (hydrogène 3, ou H^3) et le carbone 14 (^{14}C). Le rayonnement artificiel est imputable aux programmes d'essais d'armes nucléaires, à l'utilisation de techniques médicales utilisant le rayonnement ionisant, à certains produits de consommation comme les montres luminescentes, les appareils de télévision et les terminaux à écran de visualisation, ainsi que les centrales nucléaires.

L'un des sous-produits de la production d'électricité d'origine nucléaire est la grande quantité de matière radioactive contenue dans les réacteurs. Des problèmes peuvent survenir si le rayonnement s'échappe dans l'environnement. La source la plus importante de radioactivité, qui présente par conséquent le plus grand risque d'irradiation aiguë est le combustible irradié. Il s'agit du combustible contenu dans le réacteur qui renferme des éléments radioactifs issus de la fission. Nous verrons au chapitre suivant comment éviter ce danger d'irradiation aiguë ainsi que les dangers d'irradiation chronique. Les dangers d'irradiation chronique peuvent être causés par :

- le volume relativement important de déchets radioactifs de faible activité et d'activité moyenne provenant des centrales, comme l'équipement de procédé, l'équipement de protection personnelle et les matériaux de nettoyage;
- la radioactivité de faible niveau (principalement le tritium) émise par la centrale de manière plus ou moins continue est une conséquence normale de l'exploitation.

La figure 9.1 présente la dose de rayonnement annuelle prévue reçue par le public en général en provenance des sources figurant dans la liste. Veuillez prendre note qu'il s'agit de moyennes; ces moyennes ont été établies en tenant compte de circonstances diverses. Cependant elles permettent d'avoir une idée de la signification des nombres.

Sources de rayonnement	Millirem/Année
Rayonnement naturel (rayons cosmiques, potassium 40, matériaux de construction, radon, etc.)	202
Expositions médicales	110
Retombées des essais d'armes nucléaires	2
Milieu professionnel	4
Produits de consommation	2
Énergie nucléaire	0,3

Figure 9.1 Exposition individuelle annuelle au rayonnement naturel en Ontario (moyenne pour la population ontarienne)

Comme on peut le constater, la contribution de l'énergie nucléaire à l'exposition au rayonnement du grand public est extrêmement faible. L'exposition des travailleurs du secteur nucléaire est plus importante. La limite d'exposition établie par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) pour les travailleurs du secteur nucléaire est de 5000 millirems/année. (Pour les travailleurs autres que les travailleurs du secteur nucléaire, la limite est de 500 millirems/année.) Ce nombre représente la quantité de rayonnement qu'une personne peut recevoir année après année sans ressentir d'effets mesurables. Pour comparer ce nombre avec les expositions réelles dans une centrale nucléaire ou à proximité d'une centrale, consulter la figure 9.2.

À proximité de la centrale	Rayonnement annuel Dose supérieure au rayonnement naturel	Valeur relative
Personnel d'exploitation de la centrale	400 millirems/année	5000 millirems/année (limite de la CCSN)
Personnel administratif de la centrale	20 millirems/année	Équivalent à passer 4 mois à Denver (Colorado) ¹
Personne se trouvant à la clôture délimitant la centrale	0,3 millirem/année	Équivalent à effectuer un aller-retour entre Toronto et Vancouver
Zone résidentielle à 1 kilomètre de la centrale	0,1 millirem/année	Équivalent à l'exposition au radon reçue pendant 2 mois dans un immeuble en briques

Figure 9.2 Expositions au rayonnement courantes dans une centrale ou à proximité d'une centrale

À noter que la dose courante pour le personnel d'exploitation (incluant le personnel d'entretien) dans une centrale est de 400 millirem/année, ce qui est de beaucoup inférieur à la limite réglementaire. À mesure que la distance au réacteur augmente, le rayonnement diminue considérablement jusqu'à la clôture délimitant la centrale, où l'exposition potentielle courante est de 0,3 millirem/année.

¹ Le rayonnement naturel est plus élevé en haute altitude en raison de la réduction du blindage dans l'atmosphère protégeant contre le rayonnement cosmique.

En conclusion, l'écart entre le rayonnement reçu par le grand public et imputable à l'énergie nucléaire, comparativement au rayonnement reçu imputable au rayonnement naturel, est très faible. Les risques médicaux à ces faibles doses ne peuvent pas être déterminés avec précision. Dans le pire des cas, on estime que l'effet du rayonnement est directement proportionnel à la dose (p. ex. la moitié de la dose donne lieu à la moitié des effets). Cependant, il existe des preuves à l'effet que cette hypothèse ne correspond pas exactement au risque réel. Par exemple, l'incidence des cancers au sein de la population vivant à Denver (Colorado), où les niveaux de rayonnement naturel sont importants, est moins élevée que dans d'autres régions des États-Unis. Cela ne veut pas dire que de faibles niveaux de rayonnement soient avantageux, mais cela permet de comprendre que les effets des faibles niveaux de rayonnement ne sont pas bien compris.

Même dans le cas du personnel d'exploitation, pour lequel l'exposition courante est de 400 millirem/année, les employés reçoivent beaucoup moins que la dose minimale considérée dangereuse pour la santé. Dans l'industrie du nucléaire, on cherche toujours à trouver des moyens d'effectuer des travaux en réduisant au minimum l'exposition au rayonnement.

9.4 Sûreté classique

Les centrales nucléaires possèdent des programmes de sûreté classique exhaustifs. Il est impossible de travailler en toute sûreté dans un endroit et qu'ailleurs la sûreté ne soit pas assurée au maximum. Afin de promouvoir un milieu de travail sûr, les compagnies d'électricité favorisent la sûreté dans tous les aspects du travail et même en dehors des activités professionnelles.

Les premières centrales nucléaires avaient établi des limites qui étaient deux fois plus rigoureuses que celles des usines industrielles classiques. Les limites de sûreté se sont améliorées au fil du temps, alors maintenant le seuil de tolérance est de 0 pour ce qui est du temps perdu par accident et non de 1.

9.5 ALARA – la réduction des dangers

Les dangers d'irradiation associés aux centrales sont réels. Les méthodes de contrôle et de confinement sont conçues pour éviter tout dommage au public. Le principe observé consiste à réduire les niveaux de manière sûre au **niveau le plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre** (ALARA). L'application pratique du principe ALARA permet de réduire la dose de rayonnement reçue par les personnes qui travaillent dans le secteur exploitation de la centrale

d'un facteur de 10 environ pendant la durée de vie de 40 à 50 ans des centrales au Canada.

9.6 Auto-vérification

La plupart des incidents ont des causes multiples, mais l'une des causes principales est l'erreur humaine. On tente au sein de l'industrie de limiter au maximum l'erreur humaine. L'une des façons de maintenir le taux d'incidents à un faible niveau consiste à procéder à l'auto-vérification. Cette technique est conçue pour réduire le nombre de mesures inadéquates qui pourraient donner lieu à un incident, en aidant le personnel à se concentrer consciencieusement sur les détails de la tâche à accomplir. Un examen attentif de l'action prévue et de la réponse prévue permet souvent d'identifier un problème potentiel avant que celui-ci ne se manifeste. Ce ne sont pas toutes les actions qui ont le potentiel de causer des problèmes graves.

9.7 Sûreté du réacteur

Il existe un danger d'irradiation aiguë posé par les matières radioactives contenues dans les centrales nucléaires. Afin de réduire au minimum la menace potentielle associée à ces matières, un certain nombre de principes ont été élaborés et intégrés à la conception et à l'exploitation des centrales nucléaires. Collectivement, ces principes sont connus sous le nom de sûreté du réacteur. La règle d'or de la sûreté du réacteur est la suivante :

LE RISQUE POUR LE PUBLIC ET L'ENVIRONNEMENT CAUSÉ PAR LE COMBUSTIBLE DU RÉACTEUR EST MINIMAL, ÉTANT DONNÉ QUE, EN TOUT TEMPS :

- LA PUISSANCE DU RÉACTEUR EST CONTRÔLÉE;
- LE COMBUSTIBLE EST REFROIDI;
- LA RADIOACTIVITÉ EST CONFINÉE.

Cette règle est souvent abrégée comme suit : CONTRÔLE, REFROIDISSEMENT ET CONFINEMENT. La présente section comporte une brève introduction à certaines notions clés de la sûreté du réacteur. Elle examine les notions de fiabilité fondamentale, le modèle de la défense en profondeur et le rôle de la documentation de centrale.

9.8 Défense en profondeur

Il existe différentes façons de respecter la règle d'or (CONTRÔLE, REFROIDISSEMENT ET CONFINEMENT). Bon nombre d'entre elles ont été intégrées dans un concept important appelé défense en profondeur. Cela comprend la conception, la construction, la mise en

service et l'exploitation d'un réacteur CANDU. L'une des façons de présenter ce concept est le modèle à cinq éléments illustré à la figure 9.3.

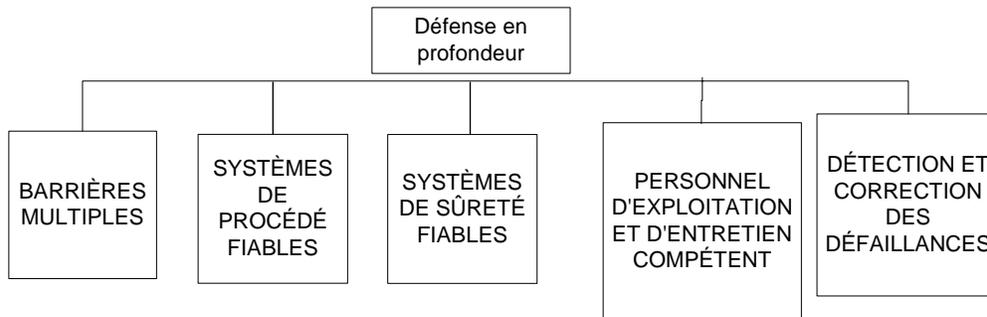


Figure 9.3 Modèle de défense en profondeur

La défense en profondeur suppose que :

1. la conception de la centrale nucléaire comporte des défauts.
2. l'équipement subit occasionnellement des défaillances.
3. le personnel d'exploitation fait parfois des erreurs.

La clé consiste à s'assurer que la défense en profondeur est suffisante et que les défauts, défaillances et erreurs peuvent être compensés sans augmenter le risque ou les conséquences d'un accident. Examinons maintenant les différents éléments du modèle.

9.8.1 Systèmes de procédé fiables

Les systèmes de procédé sont les systèmes qui permettent d'accomplir une fonction continue pendant l'exploitation normale de la centrale. Par exemple, le circuit caloporteur primaire est un système de procédé qui est continuellement actif et permet d'évacuer la chaleur provenant du combustible. Le système de régulation du réacteur est un système de procédé qui est continuellement actif et qui assure le contrôle normal de la puissance du réacteur. Les systèmes de procédé fiables permettent de s'assurer que la chaleur est produite et que de l'électricité est générée tout en assurant le contrôle, le refroidissement et le confinement.

9.8.2 Systèmes de sûreté fiables

Ce sont les systèmes de sûreté à l'équilibre qui fonctionnent seulement pour compenser la défaillance de procédé. Ils permettent de mettre à l'arrêt le réacteur afin de reprendre le contrôle (système d'arrêt d'urgence), en permettant un refroidissement additionnel du combustible (système d'injection de refroidissement d'urgence) et en confinant la radioactivité qui s'est échappée du combustible (système de confinement). La fiabilité dans ce contexte signifie que dans les rares cas où ces systèmes interviendront, ils seront en mesure d'accomplir la tâche prévue.

9.8.3 Barrières multiples

La démarche des barrières multiples intégrée à la conception de centrale permet d'éviter ou d'empêcher le rejet de radioactivité en provenance du combustible vers le grand public. Il existe cinq barrières passives (se reporter à la figure 9.4) qui sont disponibles de manière continue :

1. le combustible (uranium), qui se présente sous la forme de pastilles de combustible céramique dont le point de fusion est élevé, et qui retient la plupart des produits de fission.
2. la gaine de combustible, qui est constituée d'un métal soudé à intégrité élevée (zircaloy) et qui contient les pastilles céramique.
3. le circuit caloporteur, qui est constitué de tubes de force à haute résistance, de conduites et de cuves, et qui contient les grappes de combustible.
4. le système de confinement, qui fournit une enveloppe relativement hermétique maintenue légèrement en deçà de la pression atmosphérique. Ce vide partiel favorise l'entrée d'air, ce qui permet d'éviter le rejet de radioactivité hors du circuit caloporteur.
5. la zone d'exclusion d'au moins un kilomètre de rayon autour du réacteur, qui permet d'assurer que tous les rejets radioactifs en provenance de la centrale sont bien dilués avant d'atteindre la frontière.

Pour que la radioactivité provenant du combustible atteigne le grand public, il faudrait qu'il y ait une brèche dans chacune des cinq barrières. Cela assure un grand degré de protection du grand public.

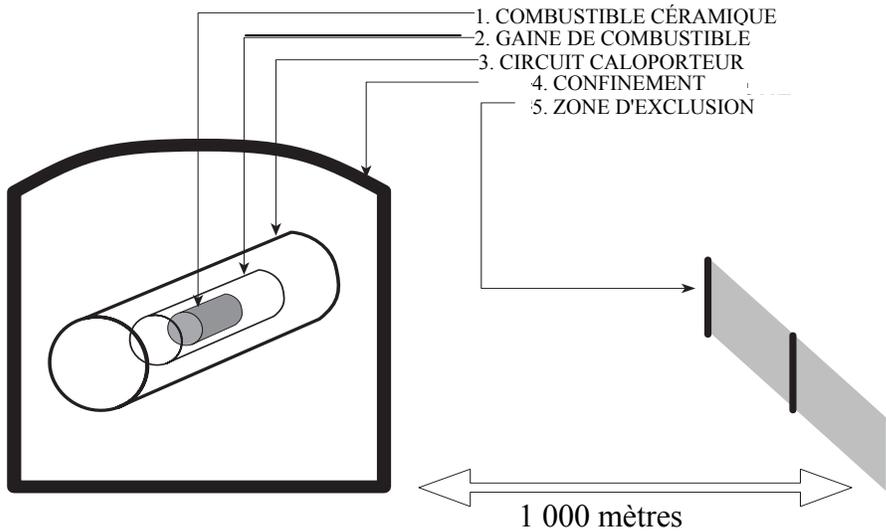


Figure 9.4
Barrières physiques

9.8.4 Personnel d'exploitation et d'entretien compétent

Les systèmes de sûreté sont conçus pour fonctionner automatiquement et les cinq barrières passives sont toujours en place, mais la notion de défense en profondeur ne permet pas d'assurer la fiabilité de l'équipement et des systèmes afin d'éviter les accidents. Il est important que le personnel d'exploitation et d'entretien connaissent les conditions des circuits, déclenchent une alerte dans tous les cas où les systèmes ou l'équipement s'approchent de la défaillance, et qu'ils agissent rapidement afin d'éviter les conséquences de ces défaillances, ou à tout le moins de réduire au minimum ces conséquences. Pour atteindre un niveau élevé de compétence, les critères de qualification pour chaque groupe d'emplois sont clairement définis. Un effort considérable est déployé dans la formation du personnel basé sur la performance afin de respecter ces critères et de maintenir la qualification.

9.8.5 Détection et correction des défaillances

La détection et la correction adéquates des défaillances nécessitent non seulement du personnel compétent, mais également des procédés et procédures que le personnel doit effectuer de manière systématique. Par exemple, un programme d'essai courant pour les systèmes de sûreté permet de respecter les objectifs en matière de disponibilité. Un programme de surveillance opérationnelle, associé à un programme d'entretien préventif planifié permet de s'assurer que l'équipement et les systèmes sont surveillés, inspectés et réparés avant la défaillance. Les défaillances, lorsqu'elles se produisent, font l'objet d'une enquête

exhaustive et des solutions sont appliquées par le biais d'un processus d'approbation rigoureux des changements. Il existe des procédés de contrôle du travail élaborés qui permettent de signaler rapidement toute lacune, d'établir les priorités et d'effectuer les réparations qui s'imposent.

9.9 Notions de fiabilité fondamentales

La fiabilité se rapporte au fonctionnement global de la centrale nucléaire. En plus du personnel motivé et ayant reçu une formation, la fiabilité globale de la centrale dépend de la fiabilité des systèmes et de l'équipement. La fiabilité est un élément critique du modèle de défense en profondeur et, par conséquent, est critique pour l'exploitation sûre des réacteurs. Nous allons examiner les notions fondamentales de fiabilité se rapportant à l'équipement et aux systèmes CANDU.

9.9.1 Définitions

La fiabilité est définie comme étant la probabilité qu'un dispositif fonctionne adéquatement pendant la période prévue dans les conditions opérationnelles rencontrées.

La fiabilité est une probabilité possédant une valeur numérique se situant entre 0 (absence de fiabilité) et 1 (fonctionne toujours au moment prévu). Si on estime qu'une pompe a une fiabilité de 0,99 pendant sa première année de fonctionnement (selon des données historiques pour ce type de pompe), cela signifie que pour 1000 heures de fonctionnement, la pompe ne sera pas disponible pendant plus de 10 heures.

La fiabilité intervient également lorsqu'un composant d'un système de procédé risque de subir une défaillance. En ce qui concerne les systèmes à l'équilibre, la préoccupation est que l'on espère que le système ou le composant sera disponible au moment où on le fait fonctionner. Le système de procédé est un système qui fonctionne lorsque la centrale génère de l'électricité. Le système à l'équilibre est un système qui ne fonctionne pas avant qu'un événement spécifique soit déclaré. Dans votre voiture, le système de refroidissement du moteur est un système de procédé, et le sac gonflable est un système à l'équilibre.

La disponibilité est liée à la fiabilité, mais est définie comme étant une fraction du temps pendant lequel un dispositif est disponible si on le fait fonctionner.

La disponibilité a une valeur se situant entre 0 (jamais disponible) et 1 (toujours disponible) et s'exprime généralement en années par année

ou en heures par année. Cependant, la valeur que l'on rencontre le plus fréquemment est celle de la non-disponibilité. Par exemple, si un système à l'équilibre a une cible de non-disponibilité de 10^{-3} années/année, cela signifie qu'il ne sera pas disponible pendant plus de 8 heures au cours de l'année (une année = 8760 heures et $8/8760$ correspond approximativement à 10^{-3}).

9.9.2 Concepts

La fiabilité et la disponibilité élevées sont obtenues en accordant une certaine attention aux principes de fiabilité durant la conception et l'exploitation d'une centrale.

Redondance

Si un seul composant est voué à une fonction particulière, lorsqu'il subit une défaillance, c'est tout le système qui en subit les conséquences. Ce problème peut être atténué en installant des composants additionnels, de manière à ce que s'il y a une défaillance, un autre composant prendra la relève. En d'autres mots, une fiabilité plus élevée peut être obtenue en assurant la présence d'un composant de secours (ou redondant). Il est important de comprendre que cette redondance vise essentiellement à assurer le fonctionnement fiable, et non à permettre un entretien plus pratique. Le fait de mettre hors service l'équipement redondant réduira la fiabilité du système.

Examinons le programme de la navette spatiale, car il représente un bon exemple en ce sens. Le système de commande informatisé dans chaque navette contient plus d'un ordinateur. Une redondance est assurée en appliquant le programme de contrôle des logiciels dans plusieurs ordinateurs. Si l'un des ordinateurs subit une défaillance, un autre sera immédiatement disponible pour prendre les commandes.

Indépendance

L'indépendance est la séparation physique des systèmes ou des composants, de manière à ce qu'un défaut présent dans un système n'ait aucune incidence sur les autres systèmes. Toujours dans la navette spatiale, à titre d'exemple, l'indépendance pourrait correspondre à la séparation des sources d'alimentation électrique pour chacun des ordinateurs. De cette manière, la défaillance d'une source d'alimentation électrique raccordée à un ordinateur ne mettra pas hors service au même moment les autres ordinateurs.

Diversité

La diversité permet de s'assurer qu'il existe plus d'une façon d'effectuer un travail. Si l'on se reporte encore à l'exemple de la navette spatiale, la diversité correspond à l'application de différents programmes de contrôle de logiciel sur différents ordinateurs dans le but d'atteindre les mêmes objectifs. Le logiciel est même créé par une équipe de conception différente. Cela permet d'assurer qu'un bogue survenant dans un logiciel ne soit pas reproduit dans un autre, de manière à ce que l'erreur ne puisse compromettre le fonctionnement de plus d'un ordinateur.

Essai périodique

Lorsqu'un composant dans un système de procédé subit une défaillance, les effets se font sentir immédiatement. La défaillance d'un système à l'équilibre, par ailleurs, n'apparaît pas sur-le-champ et peut seulement être déterminée par des essais. Étant donné qu'il est impossible de déterminer à quel moment la défaillance s'est produite, la non-disponibilité est considérée comme correspondant à la moitié du temps qui s'est écoulé depuis le dernier essai du système (plus le temps requis pour effectuer les réparations). Ainsi, la non-disponibilité peut être maintenue à un faible niveau grâce à la réalisation d'essais fréquents. La fréquence des essais doit cependant tenir compte des points suivants :

- Usure et détérioration du système et des composants causées par les essais;
- La non-disponibilité due au retrait des composants du service pendant la durée de l'essai;
- Le risque (erreur humaine) présenté par le fait de laisser le système dans un état de détérioration après un essai;
- Le danger d'activer le système durant le processus d'essai.

Fonctionnement à sécurité intégrée

Un système ou un composant est dit à sécurité intégrée si après une défaillance, il laisse le reste du système dans un état plus sûr. Par exemple, les locomotives sont dotées d'un frein de sécurité. Celui-ci doit être enfoncé par le mécanicien de locomotive afin de permettre à la locomotive d'avancer. Si le mécanicien tombe et n'est plus en mesure de conduire, son pied appuiera sur le frein et la locomotive s'arrêtera.

Surveillance opérationnelle

La surveillance opérationnelle est un procédé de surveillance continue et de suivi des paramètres de procédé et de l'équipement dans le but de détecter les problèmes potentiels avant qu'ils ne deviennent des problèmes réels. Ainsi, des mesures correctives peuvent être prises avant que ne surviennent un problème important. Par exemple, mentionnons la surveillance des vibrations d'un équipement rotatif. Si des vibrations inhabituelles sont détectées, l'équipement peut être arrêté et réparé avant que les vibrations ne causent des dommages graves.

Entretien préventif

Les données relatives à la fiabilité pour différents types d'équipement permettent d'estimer le moment où les défaillances sont susceptibles de se produire. En planifiant leur emplacement ou l'entretien avant qu'une détérioration appréciable se produise, qui pourrait contribuer à la défaillance anticipée, il est possible de réduire le nombre de pannes non prévues et les pertes de production qui en découlent. On peut avoir l'impression de mettre de côté de l'équipement qui fonctionne encore, mais les statistiques relatives à la fiabilité indiquent que l'équipement risque probablement de subir une défaillance sous peu et qu'il deviendra probablement inadéquat (loi de Murphy).

Entretien anticipé

La forme la plus intéressante d'entretien préventif est l'entretien anticipé, qui est basé sur l'état de l'équipement. L'entretien ou leur emplacement est effectué seulement lorsque des résultats d'essai de diagnostic (comme la surveillance des vibrations) indiquent la détérioration de l'équipement.

9.10 Documentation

L'exploitation d'une centrale nucléaire est régie par un permis octroyé par l'organisme de réglementation nucléaire fédéral, la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN). Pour appuyer la demande de permis, les concepteurs de la centrale doivent préparer un rapport sur la sûreté qui décrit les caractéristiques physiques de la centrale et les aspects relatifs à la protection du public, de l'environnement et des employés. Le rapport sur la sûreté analyse également la capacité de la centrale à faire face à un certain nombre de scénarios d'accident précisé par la CCSN. Le rapport sur la sûreté est mis à jour tous les trois ans. Lorsque le permis d'exploitation de centrale est octroyé, il constitue le contrat entre la société d'électricité et la CCSN et définit les limites générales à l'intérieur desquelles la centrale sera exploitée.

Dans le permis, une des clauses précise que l'exploitation de la centrale sera régie par des lignes de conduite pour l'exploitation (LCE). Les LCE permettent d'assurer l'exploitation sûre de la centrale en définissant des limites relatives à l'exploitation de cette dernière. Ces limites sont soit qualitatives ou quantitatives. Les LCE comprennent les bonnes pratiques d'exploitation fondées sur des principes de sûreté du réacteur. Par exemple, les LCE définissent les exigences relatives au programme d'entretien, aux essais périodiques et aux limites de puissance du réacteur. Toute infraction aux LCE placerait la centrale dans un état n'ayant pas été analysé dans le rapport sur la sûreté et qui serait par conséquent non sécuritaire. Le fait d'exploiter la centrale tout de même dans ces conditions risque de compromettre la capacité de la centrale à réagir adéquatement en cas d'accident.

Dans le cadre des LCE, les procédures d'exploitation de centrale, qui comprennent les manuels d'exploitation et les manuels d'entretien définissent les aspects détaillés de l'exploitation et de l'entretien d'une centrale. Ces procédures sont préparées, vérifiées et approuvées de manière rigoureuse.

Afin de s'assurer que la centrale est exploitée à l'intérieur des limites précisées dans les LCE, tout en laissant place aux améliorations, chaque centrale dispose d'un processus de contrôle des changements ayant pour but de s'assurer que tous les écarts prévus dans l'exploitation ou la conception de la centrale sont analysés adéquatement et approuvés. Sur une base quotidienne, le processus d'autorisation de travail joue à peu près le même rôle en permettant au personnel de la salle de commande de surveiller les travaux afin de s'assurer que ceux-ci demeurent à l'intérieur des limites précisées dans les LCE. Le processus permet également de protéger les travailleurs qui accomplissent ces tâches.

Le permis d'exploitation n'est pas le seul contrat qu'un service d'électricité a avec les organismes de réglementation. Un organisme gouvernemental provincial accorde des certificats d'approbation qui régissent l'exploitation des installations non nucléaires dans les centrales comme les usines de traitement d'eau, ou limite la différence de température entre les entrées et sorties d'eau de refroidissement des centrales de production d'électricité. Ce sont des contrats entre les services d'électricité et l'organisme de réglementation (en Ontario, il s'agit du ministre de l'Environnement) qui se rapportent aux processus classiques dans les centrales.

9.11 Émissions radioactives des centrales nucléaires

En ce qui concerne l'obligation de l'industrie du nucléaire à contrôler les émissions radioactives émises par les centrales nucléaires, les normes imposées par la CCSN ont toujours été respectées. Habituellement, les services d'électricité contrôlent les rejets de manière à les maintenir à moins de 1 % des limites réglementaires établies par la CCSN. Les services d'électricité contrôlent les émissions en suspension dans l'air renfermant du tritium, de l'iode, des gaz rares et des matières particulaires, ainsi que les émissions en suspension dans l'eau renfermant du tritium et de la radioactivité brute.

Les faibles quantités de radioactivité rejetées par les centrales sont dirigées soit vers l'atmosphère ou vers des lacs. À l'intérieur d'une centrale, un rejet atmosphérique peut être réduit de manière importante par dilution dans l'air environnant. Pour ce qui est du grand public, la dilution accrue est assurée par une zone d'exclusion (la dernière des cinq barrières) autour des centrales. Dans tous les cas, la quantité et le type de radioactivité rejetée sont contrôlés et surveillés avec soin. Habituellement, la cible des émissions internes d'un service d'électricité correspond à 1 % des émissions tolérables pour la substance radioactive.

Afin de s'assurer que les objectifs en matière d'exploitation sont atteints et maintenus, un programme exhaustif de surveillance environnementale a été établi. Des échantillons sont prélevés à des endroits fixes autour des sites de centrale nucléaire à intervalles réguliers. Des mesures sont également prises sur les sites d'échantillonnage de l'air et de l'eau. On prélève en outre des échantillons de sédiments de lac, de poissons, de fruits et de légumes. En plus de la surveillance effectuée par le service d'électricité, les organismes de réglementation fédéraux et provinciaux procèdent également à un échantillonnage indépendant.

9.12 Rôle des titulaires de poste autorisé dans les centrales nucléaires.

Les centrales nucléaires sont exploitées dans le cadre du permis d'exploitation de centrale octroyé par la CCSN. La CCSN a la responsabilité de vérifier si l'exploitation est effectuée conformément au permis. Dans le permis, les postes suivants qui figurent au sein de l'organisation de la centrale doivent être approuvés ou autorisés par la CCSN :

- Superviseur de quart;

- Opérateur de salle de commande accrédité (le titre varie selon les services d'électricité).

Pour obtenir une accréditation de la part de la CCSN relativement à ces postes, les personnes doivent suivre une formation rigoureuse et un processus d'examen. Le processus est surveillé et vérifié par la CCSN. En fait, la CCSN surveille la formation de tous les employés; le programme visant les opérateurs de salle de commande est le plus exhaustif. L'approbation de certains gestionnaires de département nécessite habituellement une expérience antérieure à titre de superviseur de quart et exige également une entrevue officielle avec des représentants de la CCSN. Ces exigences sont précisées dans le permis d'exploitation.

Le superviseur de quart est un poste supérieur. Ce poste confère au titulaire la responsabilité ultime de la gestion de la centrale (à la fois l'exploitation et l'entretien) afin de s'assurer que le permis de centrale, les LCE et d'autres procédures de niveau élevé sont respectés. Dans les grandes centrales à plusieurs tranches, il existe un troisième poste accrédité, appelé superviseur de quart de la salle de commande. Le superviseur de quart de la salle de commande est redevable au superviseur de quart et a la responsabilité de superviser les opérations en salle de commande dans toutes les tranches. Cela comprend les opérations de surveillance et l'entretien effectué dans la centrale, dans le but de s'assurer que ces opérations sont conformes aux LCE.

L'opérateur de salle de commande accrédité effectue les opérations conformément à des procédures approuvées. L'opérateur de salle de commande accrédité exerce un contrôle direct sur une tranche de la centrale. Chaque tranche comprend un réacteur, des turbines connexes, un générateur ainsi que tous les systèmes de soutien connexes. L'opérateur de salle de commande accrédité a la responsabilité d'effectuer les opérations de commande, de diriger les opérations sur le terrain ainsi que l'entretien de la tranche. L'opérateur de salle de commande accrédité autorise la plupart des travaux effectués dans la tranche, mais une approbation de la part du gestionnaire de quart est parfois requise en plus. Les travaux effectués sur des systèmes spéciaux de sûreté ou sur les dispositifs de contrôle de la réactivité (dispositifs servant à contrôler la puissance du réacteur) nécessitent habituellement ce type d'approbation. Il s'agit d'une barrière procédurale visant à éviter toute infraction aux LCE. Les LCE ainsi que les procédures d'exploitation indiquent quel niveau d'approbation est requis.

L'une des caractéristiques importantes de chacun des postes précités est que, en plus des responsabilités de supervision habituelles, ils sont directement autorisés par la CCSN afin d'assurer que l'exploitation de la centrale est effectuée à l'intérieur des limites du permis d'exploitation. Pour cette raison, ces postes sont requis sur le plan juridique et comprennent les travaux effectués par la plupart des groupes de travail de la centrale suivant un processus d'approbation du travail.

9.13 Exercices

1. Expliquer les grands principes de la sûreté des réacteurs contenus dans les notions de contrôle, de refroidissement et de confinement.
2. Préciser le but de l'auto-vérification.
3. Définir l'auto-vérification.
4. Quels sont les trois hypothèses de base sur lesquelles repose le concept de défense en profondeur?
5. Nommer les cinq éléments du modèle de défense en profondeur et décrire brièvement le but de chacun.
6. Énumérer dans l'ordre les cinq barrières principales conçues pour éviter le rejet de produits de fission dans l'environnement en provenance du combustible.
7. Expliquer la différence entre les adjectifs fiable et disponible.
8. Les centrales CANDU possèdent deux types différents de système d'arrêt automatique. À quel principe doit-on la présence de deux systèmes différents?
9. Donner un exemple de l'indépendance des systèmes.
10. En quoi la redondance contribue-t-elle à une fiabilité plus grande pour un système?
11. En quoi la présence des essais influence-t-elle la non-disponibilité d'un système à l'équilibre?
12. Nommer au moins deux raisons pour lesquelles la fréquence des essais des systèmes de sûreté doit être limitée.
13. Un échangeur de chaleur nécessite un débit de refroidissement en tout temps. Une vanne située en amont de l'échangeur de chaleur contrôle le débit de refroidissement. Quelle serait la position à sûreté intégrée de cette vanne?
14. En quoi le rapport sur la sûreté appuie-t-il le permis d'exploitation?

15. À part les conséquences juridiques, quel est le danger de commettre une infraction à une limite définie dans les LCE?
16. Quels sont les rôles du permis d'exploitation et des certifications d'approbation?
17. Nommer les quatre types d'émissions en suspension dans l'air et les deux types d'émissions en suspension dans l'eau qui sont surveillées dans les centrales nucléaires.
18. Pourquoi la CCSN autorise-t-elle directement plusieurs postes de supervision dans les centrales?
19. Comment le superviseur de quart de la salle de commande surveille-t-il les travaux en cours dans la centrale, afin de s'assurer que le permis d'exploitation est respecté?