

ET SI JAMAIS ?

ORIENTATIONS DE LA CIPR EN MATIÈRE D'EXPOSITION POTENTIELLE AUX RAYONNEMENTS

JACK VALENTIN

La réglementation mondiale en matière de radioprotection s'appuie sur les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), qui est basée en Suède. Dans les années 90, les experts ont porté une attention particulière à l'inattendu – à savoir à l'analyse de ce qui se passerait en cas de situation théoriquement susceptible d'exposer la population à des sources potentiellement dangereuses de rayonnements.

Normalement, des expositions potentielles ne sont pas censées survenir, mais elles peuvent être anticipées, et la probabilité de leur survenue peut être prévue. Les premières théories de la CIPR à ce sujet ont été élaborées dans le contexte de l'élimination définitive des déchets radioactifs à longue période, et de graves accidents tels que des catastrophes nucléaires.

La CIPR a depuis envisagé une troisième situation : les accidents touchant une ou quelques personnes seulement (mais avec, parfois, de graves conséquences pour les personnes touchées). Si de tels accidents ne perturbent pas autant le fonctionnement de la société qu'un redoutable accident nucléaire, ils n'en surviennent pas moins avec une régularité effrayante et peuvent avoir des effets dévastateurs sur les personnes touchées.

Le présent article examine le cadre conceptuel, les critères et la méthodologie de la CIPR en matière de radioprotection contre certaines expositions potentielles. La protection contre ces expositions potentielles "limitées"

commence par une analyse structurée de scénarios faisant appel à des méthodes qui, jusqu'à présent, étaient peut-être plus familières aux ingénieurs de sécurité qu'aux spécialistes de la radioprotection. Étant données les probabilités déduites de ces analyses, il est possible de calculer les dommages escomptés d'expositions potentielles. Ce risque peut être comparé à une contrainte de risque, qui ne doit pas nécessairement être particulièrement compliquée pour les accidents de faible échelle envisagés ici. Après cette analyse initiale, on peut appliquer un processus d'optimisation itérative pour s'assurer que le risque ou l'exposition potentielle, ainsi que les doses encourues, sont les plus faibles qu'il est raisonnablement possible d'atteindre.

LE CADRE CONCEPTUEL

D'après la Publication 60 de la CIPR, intitulée *Recommandations 1990 de la Commission internationale de protection radiologique*, une exposition normale liée à une pratique risque de survenir avec une quasi-certitude d'opérations réalisées comme prévu ou d'événements involontaires, de probabilité élevée, mais aux faibles conséquences. En revanche, une exposition potentielle n'est pas certaine de survenir. Elle résulte d'événements imprévus tels qu'une panne d'équipement ou un non-respect de modes opératoires spécifiés. Ces événements ne peuvent être prévus précisément, mais on peut

les prévoir théoriquement et leur affecter une probabilité de survenue.

Les limites de doses ne s'appliquent pas aux expositions potentielles. Elles doivent être complétées par des contraintes de risque. La base théorique d'un tel instrument a été développée dans la Publication 64 de la CIPR intitulée *Protection from Potential Exposure: A Conceptual Framework*. Un rapport plus récent, la Publication 76 de la CIPR intitulée *Protection from Potential Exposures: Application to Selected Radiation Sources*, vise à démontrer comment cet instrument pourrait s'appliquer dans la pratique à des "accidents limités" tels que l'entrée sans protection dans une salle d'irradiation.

Dans de tels cas, le nombre d'individus touchés est faible. Le dommage se limite largement aux effets sur la santé des personnes réellement exposées. Les processus conduisant à l'exposition potentielle sont relativement simples et peuvent représenter la menace prédominante liée à la pratique.

En revanche, des catastrophes telles que des accidents nucléaires entraînent des dommages qui vont au delà des personnes exposées (restrictions agricoles,

M. Valentin est secrétaire scientifique à la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) à Stockholm (Suède). Le présent article s'appuie sur un rapport publié précédemment par le National Radiological Protection Board (Royaume-Uni) dans son Radiological Protection Bulletin.

contrôle de la consommation alimentaire, etc. et coûts très importants). Le Groupe consultatif international pour la sûreté nucléaire (INSAG) s'est penché sur ces problèmes. L'élimination définitive de déchets à longue période confère une nouvelle dimension aux expositions potentielles dans l'avenir lointain. Cette question a été traitée dans la Publication 46 de la CIPR intitulée *Radiation Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste*, et la CIPR prépare actuellement un amendement à ce rapport.

CRITÈRES D'ACCEPTABILITÉ

Dans ses publications 60 et 64, la CIPR recommandait que les risques sanitaires dus aux expositions potentielles soient limités et contenus dans la même mesure que ceux impliqués par les limites et contraintes de dose applicables aux expositions normales. Ces risques sanitaires font intervenir deux distributions de probabilités différentes. Premièrement, l'exposition survient avec une probabilité spécifique, disons P . Étant donné l'exposition, la probabilité conditionnelle d'effets sanitaires stochastiques et/ou déterministes est fonction de la dose, disons $f(E)$. La probabilité inconditionnelle d'effets néfastes sur la santé est donc le produit de ces deux probabilités, soit $P \cdot f(E)$ (soit $P \cdot AE$). Cette quantité devrait être maintenue à un niveau inférieur ou égal à un risque de référence, disons R . Pour les accidents limités envisagés ici, R peut être considéré comme une contrainte de risque individuelle liée à la source.

L'ampleur de la contrainte de risque ne sera pas nécessairement fixée une fois pour toutes. Elle pourrait être fonction de chaque cas et ajustée pour diverses raisons. Cependant, la Publication

LA MISSION DE LA CIPR

La Commission internationale de protection radiologique (CIPR), organisme à but non lucratif dont les origines remontent à 1928, fournit des orientations générales sur les sources de rayonnements provenant des nombreuses applications de l'énergie nucléaire. Ses recommandations, qui couvrent tous les aspects de la protection contre les rayonnements ionisants, forment aujourd'hui la base des normes de sûreté radiologique dans le monde entier, y compris les normes et orientations publiées par l'AIEA. Pour tout renseignement, s'adresser au Secrétariat scientifique de la CIPR, qui est établi à Stockholm (SE-171, 16 Stockholm, Suède). Le numéro de fax est le +46-8-729-729-8 et l'adresse électronique est : scient.secretary@icrp.org. On peut également consulter le site Internet de la CIPR à l'adresse : www.icrp.org.

76 de la CIPR propose une contrainte de risque générique qui pourrait être utilisée comme point de départ lorsque l'on choisit des contraintes spécifiques. Pour les expositions professionnelles, cette contrainte générique se fonde sur une dose efficace annuelle de 5 mSv. Dans plusieurs opérations optimisées, les doses annuelles normales maximales sont de cet ordre. Si l'on utilise le coefficient de risque de décès par cancer pour exposition professionnelle de $4 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$, le risque de référence générique de décès R devient $2 \cdot 10^{-4} \text{ a}^{-1}$.

Il est alors possible d'évaluer si la probabilité P d'événements dangereux est suffisamment faible, et si les procédures de sûreté et d'exploitation de l'installation sont acceptables. Par exemple, si l'événement étudié est l'entrée sans protection dans une salle d'irradiation où les débits de dose sont suffisamment élevés pour que cette entrée entraîne systématiquement un décès (c'est-à-dire $f(E) = 1$), la probabilité P doit être maintenue inférieure à R . Si, lors de l'analyse, P se révèle excéder R , des mesures complémentaires doivent être prises pour améliorer la sûreté.

En raison de la nature limitée des accidents évoqués ici, l'exposition du public ne pose pas toujours un problème. Dans certains scénarios, toutefois, par

exemple en cas de perte ou de vol de sources de rayonnements scellées, l'exposition d'un ou de plusieurs membres du public peut devenir le principal événement étudié. Les doses normales maximales reçues par le public seraient généralement maintenues au dessous d'environ $10^{-4} \text{ Sv a}^{-1}$, et le coefficient de risque de décès par cancer pour une exposition du public est de $5 \cdot 10^{-2}$, de sorte que le risque de référence générique de décès R appliqué à l'exposition du public serait de $5 \cdot 10^{-6}$.

Dans l'analyse, il convient de rappeler que parfois, en fonction des caractéristiques physiques de la source, la perte de contrôle d'une source comporte également un risque de contamination généralisée et d'exposition de nombreux membres du public. Si un tel scénario semble possible, la situation psychologique et économique peut se rapprocher de celle de catastrophes nucléaires (en moins dramatiques), et les méthodes décrites ici peuvent se révéler trop simplistes.

ÉTABLISSEMENT DES SCÉNARIOS

Une analyse visant à estimer la probabilité P de survenue d'événements dangereux doit recenser tous les types de scénarios qui pourraient contribuer grandement à une exposition potentielle. En

principe, la procédure est très simple : on s'assoit et on énumère les différentes façons dont on pense que des accidents peuvent survenir. Il est aisé, cependant, de négliger certaines possibilités ; une démarche structurée est donc conseillée. Il existe plusieurs méthodes pour formaliser l'analyse : études de risques et d'exploitabilité, analyse des modes de panne et de leurs effets, etc. Ces différentes méthodes portent sur des questions telles que la façon d'assurer l'exhaustivité des déclarations, les mots-guides à utiliser pour établir une liste d'événements, etc. Il s'agit là de questions qui peuvent sembler ressortir du "bon sens commun", mais qui concernent précisément les points où des pannes ont si souvent, par le passé, entraîné des accidents.

Dans chaque scénario, on sollicitera un système de protection. L'analyse vise à déterminer si le système tombe en panne lorsqu'il est sollicité. Les sollicitations seront à la fois des opérations "normales" mettant systématiquement à l'épreuve le système, et des événements "aléatoires" (défaillances humaines ou techniques).

Une fois que l'on estime que tous les scénarios ont été envisagés, il faut déterminer leur structure logique. Ce type d'analyse est bien connu en ingénierie. Généralement, cette structure se présente sous la forme d'arbres d'événements ou d'arbres de pannes.

Les arbres d'événements commencent par solliciter un système, puis testent ses réactions successives, décrivant le résultat en termes de réussite ou d'échec de chaque mesure et dispositif. Les arbres de pannes commencent par l'autre extrémité, par un résultat indésirable spécifié, et remontent pour analyser comment un tel résultat a pu se produire. À titre d'exemple,

considérons un système de verrouillage très simple équipé de deux capteurs indépendants et d'un vérin contrôlant l'accès à une salle d'irradiation. La position par défaut du vérin consiste à maintenir la porte verrouillée. Il ne peut être déverrouillé que si aucun des deux capteurs n'indique la présence de rayonnements. Le doublement des capteurs a pour but d'assurer une redondance, c'est-à-dire une fonction de secours en cas de panne du premier capteur. Ce simple système peut facilement être décrit soit comme un arbre d'événements, soit comme un arbre de pannes.

Sur le plan conceptuel, l'analyse mathématique d'arbres d'événements ou de pannes est simple, car elle repose sur la théorie élémentaire des probabilités. Il est souvent très difficile, cependant, d'appliquer cette théorie dans la pratique en raison du grand nombre de résultats étudiés. C'est pourquoi l'on recommande, sauf dans les cas les plus simples, de recourir à un traitement informatique pour obtenir un calcul correct.

OPTIMISATION DE LA PROTECTION

Les méthodes formelles d'analyse de l'optimisation de la protection contre les expositions potentielles restent, à ce jour, largement infructueuses, surtout lorsque les probabilités sont faibles et les conséquences importantes. C'est pourquoi, dans sa *Publication 76*, la CIPR a recommandé de recourir à une méthode indirecte pour fixer l'objectif d'optimisation.

Conformément à cette procédure, la protection contre les expositions normales est assurée d'emblée au moyen des méthodes traditionnelles (allant du bon sens commun à des techniques quantitatives

complexes). On obtiendra ainsi une dose normale moyenne escomptée. Le risque de décès par cancer lié à cette dose normale optimisée est ensuite utilisé comme valeur de risque de référence dans l'optimisation contre les expositions potentielles. L'optimisation proprement dite consistera en un processus itératif d'étude du rapport coût-efficacité et de la viabilité de diverses modifications apportées à la conception, aux dispositifs de sûreté et aux procédures.

Dans ce contexte, il est d'usage de suivre une "séquence de précedence de sûreté". Cette séquence est, dans l'ordre : 1) conception favorisant un risque minimum, 2) réduction des risques grâce à des dispositifs de sécurité (verrouillages), 3) dispositifs d'alarme (alarme rayonnements), 4) procédures et formation des travailleurs, et 5) recensement des risques résiduels à des fins d'examen de la gestion.

ERREUR HUMAINE ET DÉFENSE EN PROFONDEUR

La séquence de précedence de sûreté montre qu'on préfère généralement les niveaux techniques de défense – commençant, bien entendu, par la minimisation du risque d'accident – au recours à l'intervention humaine. Cela s'explique par le fait que les erreurs humaines sont souvent les principales causes d'exposition potentielle.

Malheureusement, elles sont également très difficiles à quantifier. Elles dépendent fortement de la situation et de ce que l'on appelle des "facteurs de performance" (disposition du lieu de travail, volume sonore, distractions et niveau de stress). La probabilité d'erreur humaine répétée peut également augmenter dans le temps si, en une première occasion, une erreur

donnée n'a pas eu de conséquences fâcheuses.

La défense en profondeur est un principe de radioprotection important en vertu duquel on impose à un système des mesures de sûreté redondantes à la mesure du risque posé par la source. L'application pratique de ce principe prend la forme à la fois d'une "redondance", plusieurs exemplaires ou versions de la même couche de protection étant disponibles en parallèle, et d'une "diversification", différents modes de protection étant disponibles pour un problème donné.

Ce principe bien établi vaut aussi bien pour les petites opérations que pour les grandes installations. Considérons, par exemple, la gamma-radiographie industrielle mobile, qui peut très bien être une activité menée par une seule personne utilisant un appareil unique. Après l'utilisation de l'appareil, la source est conçue pour être rangée dans son compartiment blindé, qui forme une première niveau de défense contre une exposition accidentelle.

Comme deuxième niveau de défense, il existe généralement un indicateur de position destiné à indiquer la réussite ou l'échec du retrait de la source. Parfois, il peut y avoir deux indicateurs, qui assurent une redondance à ce stade. Un troisième niveau de défense est que même si aucune indication d'échec n'apparaît, l'opérateur doit, s'il respecte la procédure, vérifier le lieu de travail au moyen d'un instrument de contrôle.

À titre de diversification, l'opérateur doit également porter un dosimètre équipé d'une alarme sonore. Enfin, si soit les indicateurs, soit le contrôle du lieu de travail indiquent que la source n'a pas été correctement extraite, l'opérateur doit interdire temporairement l'accès à ce lieu tant que la source n'a pas été retrouvée.

QUELQUES COMPLICATIONS

Lorsqu'on envisage de modifier des dispositifs éprouvés "sur le terrain", il existe un risque considérable d'exposition potentielle en raison de la probabilité d'erreur humaine. Sauf dans les situations d'urgence où des mesures immédiates s'imposent, aucune modification ne doit s'effectuer tant qu'une étude de sûreté approfondie n'a pas été réalisée et tant que la modification proposée et l'étude ne sont pas clairement documentées.

Parfois, la réduction d'un type particulier d'exposition peut résulter d'un compromis se caractérisant par l'augmentation d'une autre exposition. Par exemple, des contrôles sont effectués régulièrement pour détecter des défauts avant qu'ils n'entraînent une panne. Le contrôle plus fréquent, par exemple, d'un accélérateur peut améliorer le taux de détection précoce de défauts et, partant, réduire la probabilité d'exposition potentielle.

Cependant, en raison des champs de rayonnements présents dans une telle installation, cela entraînerait également une exposition professionnelle accrue. Dans une optimisation de la protection, il faut donc tenir compte des deux types d'exposition.

En radiologie médicale, une autre complication est que non seulement des doses excessives, mais également des doses insuffisantes peuvent être dangereuses pour le patient, ce qui peut interdire de comparer le dommage escompté au moyen du critère de risque R. Cependant, une analyse structurée est toujours utile pour recenser les principaux facteurs de risque. On pourra envisager les mesures que l'on pourrait prendre pour

réduire le risque encouru par le patient.

Les considérations ci-dessus concernent la probabilité P d'exposition. La probabilité $f(E)$ de dommage, pour une dose donnée, peut également poser un problème. Par exemple, les situations d'exposition potentielle peuvent se traduire par des doses suffisamment élevées pour entraîner un décès certain imputable à des effets déterministes. On encourt donc une perte de vie supérieure à celle qu'entraînerait un décès ayant des causes stochastiques, survenant plus tard dans la vie. Vu l'incertitude générale des calculs de probabilité, aucune pondération supplémentaire pour décès prématuré ne semble cependant justifiée.

De surcroît, dans certaines pratiques et environnements opérationnels, la principale menace sera représentée par les effets déterministes localisés d'expositions potentielles. Pour les expositions situées dans les limites de dose actuelles, les effets déterministes sont quasiment exclus.

C'est pourquoi la CIPR a expressément choisi de ne pas tenir compte de ce dommage pour les expositions normales.

Pour les expositions potentielles, cependant, il faudra impérativement évaluer le dommage causé par les effets déterministes. Dans le même temps, même s'il convient d'en tenir compte, la perte d'un doigt, par exemple, ne peut bien évidemment pas être comparée à un décès. Il faut donc pondérer la gravité. La *Publication 76* de la CIPR suggère un facteur de pondération générique de 0,25. Cette position, qui s'appuie sur divers programmes d'assurance et d'indemnisation, tient compte de la nécessité d'appliquer des facteurs de pondération génériques raisonnablement simples. □