Contribution de la Société française de radioprotection aux réflexions actuelles sur les possibles améliorations du système de gestion du risque radiologique

J.F. LECOMTE*, C. SCHIEBER*

(Manuscrit reçu le 20 septembre 2000, accepté le 19 janvier 2001)

RÉSUMÉ

À la suite de l'invitation de l'IRPA à s'exprimer sur l'article du Pr. Roger Clarke intitulé « Control of Low Level Radiation Exposure : Time for a Change ? », le Conseil d'administration de la SFRP a décidé de créer un groupe de travail sur la « dose maîtrisable ». Ce dernier, qui a travaillé d'avril 1999 à juillet 2000, était composé d'une vingtaine de membres représentant les parties prenantes de la radioprotection en France : autorités, experts et professionnels des secteurs nucléaire, médical et de la recherche ainsi que mouvement associatif. Le présent article, qui a été approuvé par le Conseil d'administration de la SFRP, synthétise les conclusions du groupe de travail qui ont été présentées lors du congrès IRPA-10 en mai 2000. Après avoir constaté que les hypothèses de gestion du risque radiologique dans le système actuel étaient toujours valides, le groupe a répertorié sous forme de tableaux les différentes situations d'exposition générées par les rayonnements ionisants, avec leurs caractéristiques ; il a ensuite examiné dans quelles situations le système fonctionne bien, moins bien ou mal, à travers en particulier la mise en œuvre des principes généraux de la radioprotection ; il a enfin formulé quelques propositions destinées à la CIPR pour faire évoluer le système dans un sens plus opérationnel.

ABSTRACT

Contribution of the French society for radiation protection to the current reflections on the possible improvements of the radiological risk management system.

Following the invitation from IRPA to comment on the article written by Professor Roger Clarke entitled "Control of Low Level Radiation Exposure: Time for a Change?", the Board of the French Society for Radiation Protection (SFRP) decided to set up a working group on "controllable dose". The latter, which worked from April 1999 to July 2000, consisted of some twenty members representing the stakeholders involved in radiological protection in France: authorities, experts and professionals from nuclear, medical and research fields as well as associative movement. The present article, which has been approved by the Board of SFRP, summarises the findings of the WG presented during the IRPA-10 Congress in May 2000. The WG first examined the current hypothesis on radiological risk and noted their relevance for a practical management of such a risk. Then, a list of the different exposure situations and their associated characteristic was elaborated in a table

* Société française de radioprotection, BP 72, 92263 Fontenay-aux-Roses Cedex, France.

form, followed by a discussion on the situations when the system of radiological protection fits well, less well or bad, particularly through the implementation of the general principles of radiological protection. The WG finally made proposals to ICRP for an evolution of the system towards a more operational way.

Introduction

À la suite de l'invitation par l'International Radiation Protection Association (IRPA) à s'exprimer sur l'article du Pr. Roger Clarke intitulé « Control of low level radiation exposure: Time for a change? » (Clarke, 1999, traduit et publié dans *Radioprotection*, 1999), le Conseil d'Administration de la Société française de radioprotection (SFRP) a décidé de créer un groupe de travail (GT). Ce dernier, qui a travaillé d'avril 1999 à juillet 2000, était composé d'une vingtaine de membres représentant les parties prenantes de la radioprotection en France : autorités, experts et professionnels des secteurs nucléaire, médical et de la recherche ainsi que mouvement associatif (*cf. liste des membres in fine*).

L'élaboration des normes de radioprotection procède par cycles qui débutent par un récapitulatif de l'état de la science au niveau international et aboutissent plusieurs années plus tard à la mise à jour des réglementations nationales. Entre temps, plusieurs organisations internationales, gouvernementales ou non, se relayent pour recommander aux États des normes tenant compte du retour d'expérience, ainsi que des données scientifiques, techniques, économiques et sociales les plus récentes. La Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) occupe une place de choix dans ce processus puisque la réglementation de la plupart des Etats se réfère aux recommandations générales qu'elle publie régulièrement.

Le dernier cycle, marqué par la publication 60 de la CIPR (ICRP Publication 60, 1991), est en voie d'achèvement notamment, pour ce qui concerne les états membres de l'Union européenne, avec la transposition de la Directive 96/29/Euratom (Euratom, 1996) dans les réglementations nationales. Un nouveau cycle débute, qui débouchera sur la prochaine génération des recommandations générales de la CIPR dans quelques années. Dans ce cadre, il n'est pas sans intérêt de se reposer des questions sur le fonctionnement des précédents systèmes de protection radiologique, sans forcément les remettre totalement en cause.

L'article de Clarke a été reçu par le GT comme une première proposition destinée à ouvrir le processus d'élaboration des normes en engageant une concertation des acteurs au niveau international. Le GT s'est fixé comme objectif de formuler, à partir du texte de Clarke et de ses propres réflexions, des questions et des propositions destinées à la CIPR. Le GT n'a pas cherché à rompre complètement avec le passé mais à s'interroger sur la pertinence du système de radioprotection dans son

ensemble et sur les améliorations qu'il serait possible de lui apporter pour le rendre plus lisible et plus opérationnel.

Le GT est loin d'avoir épuisé le sujet, mais ses réflexions lui ont permis de contribuer, au nom de la SFRP, au débat international sur l'évolution du système de radioprotection, qui a été tenu lors du congrès IRPA 10 à Hiroshima en mai 2000 (Lecomte et Schieber, 2000). Cet article, approuvé par le Conseil d'administration de la SFRP, synthétise les conclusions du GT à la fin de son mandat.

1. Les fondements du système de gestion du risque radiologique

Le système de protection radiologique est fondé sur les connaissances scientifiques acquises sur les effets biologiques des rayonnements ionisants. Le GT constate que les effets des faibles doses de rayonnements continuent de faire l'objet d'une controverse scientifique, en particulier sur l'existence ou non d'un seuil dans la relation dose/effet (Académie des Sciences, 1999 ; OCDE, 1998). La science progresse et des orientations se dessinent mais il n'y a toujours pas consensus.

Dans son article, Clarke indique que « dans l'état actuel des connaissances, l'évidence penche plutôt en défaveur de l'existence d'un seuil à faible dose et en faveur de l'opinion actuelle selon laquelle le risque de tumeur augmentera en fonction de la dose, même à des doses et des débits de doses très faibles. Ceci ne signifie pas pour autant que des seuils de doses pour l'induction de tumeurs soient biologiquement exclus ». Il ajoute que « les systèmes de radioprotection doivent être aussi simples que possible et concentrés sur la cohérence générale de toutes les données applicables, et pas seulement sur les inévitables complexités et exceptions biologiques. »

Selon lui, « la CIPR juge que le poids de l'évidence penche actuellement en faveur de l'hypothèse selon laquelle ces irradiations peuvent entraîner des désordres à partir des doses les plus faibles. Et, bien que l'apoptose, la surveillance cellulaire et les réponses immunitaires et adaptatives soient toutes avérées, il est plus probable qu'elles modifient la forme de la courbe dose/effet plutôt que de donner lieu à un seuil ». Il en déduit que « la principale implication politique d'une relation sans seuil pour les effets stochastiques est qu'un certain degré de risque doit être accepté quel que soit le niveau de protection. Le risque zéro n'est pas une option possible, d'où les trois principes qui composent la politique actuelle de la Commission : justification [...], optimisation [...], limitation [...] ».

Cependant, Clarke souligne également que cette hypothèse doit être considérée à la lumière des aspects juridiques : « la science est de plus en plus souvent jugée devant les tribunaux plutôt qu'au sein des académies scientifiques nationales.

Le juge et les jurés sont de plus en plus souvent amenés à trancher la question et ce sont eux qui doivent être convaincus de l'existence ou non d'un seuil et, par conséquent, sur l'absence ou non de risques aux faibles doses de rayonnement ».

Le GT note que, en France, le recours au juge est moins fréquent que dans certains pays mais pourrait devenir plus courant, notamment avec l'introduction de la notion de mise en danger d'autrui dans le code pénal. À cet égard, les contentieux portent aussi bien sur la protection des travailleurs que celle du public.

Le GT observe en outre que les juges ne se prononcent généralement pas sur l'existence du risque mais sur les actions entreprises pour le gérer (notamment la mise en œuvre du principe de précaution). Par conséquent, même dans une perspective de contentieux, la détermination d'un seuil au-dessous duquel le risque serait considéré dans toutes les situations comme absent ou insignifiant apparaît moins pertinente que la démonstration de la mise en place de mécanismes conduisant à rendre ce risque acceptable par ceux qui y sont exposés.

La grande majorité du GT s'accorde à dire que l'hypothèse de la relation dose/effet linéaire sans seuil, qui correspond à une attitude de prudence, reste pertinente pour gérer le risque radiologique.

Cependant, pour l'ensemble du GT, le système de protection radiologique devrait séparer plus clairement ce qui relève de la science de ce qui relève de la gestion du risque. En particulier, il importe de préciser que la relation linéaire sans seuil est une hypothèse qui est susceptible d'être majorante ou minorante pour certaines expositions et qui a pour effet de supposer l'existence d'un risque pour des plages de doses auxquelles ce risque n'a été ni confirmé ni infirmé scientifiquement.

Par conséquent, la grande majorité du GT s'accorde avec Clarke sur la pertinence de conserver l'hypothèse de la relation linéaire sans seuil et en déduit les mêmes implications que lui pour la gestion du risque radiologique.

2. Les principes généraux de la radioprotection

Dans son article, Clarke propose des modifications substantielles des trois principes généraux de la radioprotection. Le GT a examiné la pertinence de ces trois principes et la façon dont ils sont mis en œuvre actuellement.

2.1. Le principe de justification

Bien que le principe de justification soit inscrit dans la réglementation, son application est floue, ne fait pas toujours l'objet d'une procédure formelle et n'est pas

toujours sanctionnée par une décision. Une pratique est-elle présumée justifiée dès lors qu'elle est soumise au contrôle réglementaire ? Qui détermine si une situation d'exposition est justifiée ? Dans les faits, ce n'est pas toujours une autorité publique. L'énoncé du principe dans la CIPR 60 peut être interprété comme une mise en équation des bénéfices et des inconvénients liés à la pratique. Or, ces éléments sont très difficilement quantifiables. En outre, la CIPR rappelle que, dans la plupart des cas, le détriment radiologique n'est que l'un des inconvénients liés à la pratique et qu'il pèse peu dans la décision de mettre celle-ci en œuvre (ICRP Publication 60, 1991).

Le GT note que la justification est souvent une question posée dans le cadre de l'optimisation. Les imbrications entre les principes de justification et d'optimisation lui semblent plus fréquentes en aval, c'est à dire au plus près des individus exposés (justification d'une tâche donnée au niveau d'un chantier), qu'en amont (justification d'une pratique qui peut être l'énergie nucléaire ou l'utilisation des rayonnements à des fins médicales). Ainsi, la justification d'une pratique paraît moins opérationnelle que la justification des expositions d'individus donnés.

Clarke propose un moyen de régler ce problème : « puisque la radioprotection joue un rôle mineur dans la plupart des décisions prises par un gouvernement pour justifier l'introduction ou la poursuite d'une utilisation donnée des rayonnements, il faudrait considérer la possibilité d'abandonner le principe de justification inscrit dans le système actuel de la CIPR ». Si cela signifie qu'il n'est pas nécessaire d'appliquer le principe de justification, les membres du GT se sentent mal à l'aise avec cette proposition. Même s'il est rarement appliqué, du moins de manière apparente, le principe reste utilement applicable dans de nombreux cas.

Par exemple, l'application du principe de justification à l'exposition du patient est un élément essentiel du système de gestion du risque dans le domaine médical, d'autant que les limites de dose ne s'appliquent pas. La CIPR a d'ailleurs déterminé trois niveaux d'application de ce principe dans ce domaine (ICRP Publication 73, 1996) :

- justification de l'utilisation des rayonnements en médecine ;
- justification d'une procédure médicale donnée ;
- justification de la mise en œuvre d'une procédure sur un patient donné.

Ce principe est également invoqué pour motiver l'interdiction de certaines pratiques, d'une façon générale (addition intentionnelle de substances radioactives dans la production de denrées alimentaires, de jouets, de parures ou de produits cosmétiques) ou particulière (radiographie des pieds pour déterminer la pointure, utilisation d'une source radioactive dans la jauge à grain de moissonneuses-batteuses, etc.).

En fait, dès lors qu'une nouvelle situation d'exposition est créée, la question devrait être posée, du point de vue de la radioprotection, de savoir si le même objectif pourrait être atteint avec une exposition moindre ou nulle et, sinon, si les bénéfices sont suffisamment élevés pour compenser le détriment radiologique. Faute de se poser spécifiquement la question de la justification, le système pourrait, à l'extrême, conduire à optimiser une situation non justifiée.

De l'avis du GT, bien que les éléments pris en considération dans le processus décisionnel comportent des considérations qui dépassent le cadre de la radioprotection, la justification reste un principe clé dans un système de gestion responsable du risque radiologique en tant qu'élément d'appréciation du risque permettant de rendre des comptes sur sa gestion. Ceci est particulièrement important dans un contexte où la justification des situations à risque, la transparence autour des modalités de leur gestion et, parfois, une participation plus active des parties prenantes au processus de décision, correspondent à une demande sociale de plus en plus pressante, comme autant de conditions d'acceptation du risque.

Le GT reconnaît néanmoins que la mise en œuvre du principe souffre de l'absence de procédures et de critères objectifs pour le rendre opérationnel.

Le GT invite la CIPR à proposer de tels critères et à s'interroger sur la mise en œuvre du principe dans des situations qui ne relèvent pas actuellement du système de radioprotection (expositions naturelles ou naturelles très peu renforcées). Par exemple, le GT considère que le principe de justification pourrait être plus compréhensible et plus opérationnel s'il était appliqué aux situations d'expositions (caractérisées par une source, un contexte et des individus exposés) davantage qu'aux pratiques.

2.2. Le principe d'optimisation

2.2.1. ALARA/ALARP

Clarke souhaite que le principe d'optimisation soit redéfini. Il propose de remplacer « aussi bas que raisonnablement possible » (ALARA), qui a été selon lui associé à l'analyse coût/bénéfice et à l'utilisation de la dose collective, par la formule « aussi bas que raisonnablement praticable » (ALARP).

Dans la culture française, la nuance entre ALARA et ALARP est peu perceptible. Le GT relève cependant que l'optimisation n'est pas associée aux seuls éléments cités par Clarke mais tient compte dans de nombreux cas d'autres critères, comme la dose individuelle, la faisabilité technique, etc. De plus, sa mise en œuvre

est intégrée dans une culture de radioprotection qui dépasse le cadre de l'analyse multi-critères.

2.2.2. L'individu le plus exposé

Clarke est d'avis que, dans la gestion du risque, la préoccupation principale est la protection de l'individu. Pour lui, « si l'individu est suffisamment protégé par rapport à une source donnée, c'est un critère suffisant pour considérer que cette source est maîtrisée ». Il érige en principe que, « si le risque pour la santé de l'individu le plus exposé est insignifiant, alors le risque total est insignifiant, quel que soit le nombre de personnes exposées ». Plus loin dans son article, Clarke exprime la même idée différemment : « la politique de protection proposée garantit que si l'individu représentatif le plus exposé est suffisamment protégé contre une source donnée, alors n'importe quelle autre personne est aussi suffisamment protégée contre cette source ».

Le GT est d'accord avec l'idée qu'il est important de prendre en considération le risque individuel mais il a le sentiment que le principe ci-dessus, avec ses différentes formulations, n'est pas dénué d'ambiguïté. S'il ne pose pas de problème sur le plan biologique, car la sensibilité individuelle aux rayonnements ionisants est déjà intégrée dans l'évaluation du risque, ce principe est contestable sur le plan épidémiologique. Il ne fonctionne pas si le risque n'est pas insignifiant, il n'a pas véritablement de sens dans le domaine médical et il ne correspond pas à la philosophie de la gestion des risques dans les autres domaines. Il serait utile que ce principe soit précisé avant de lui trouver une application.

2.2.3. La dose collective

Clarke déduit également de son nouveau principe que « la dose collective telle qu'actuellement définie ne serait plus utilisée ». Cette perspective n'a pas recueilli l'assentiment de la majorité des membres du GT. Tout en accueillant favorablement le renforcement de la protection de l'individu, ils mettent en gardent contre l'abandon de la dimension collective de la protection.

Certes, l'utilisation de la dose collective peut conduire à une perception erronée du risque pour la collectivité, en particulier lorsqu'elle est calculée à partir de la somme des doses individuelles très faibles d'un grand nombre de personnes sur de longues périodes. La CIPR elle-même a mis en garde contre ce type d'utilisation du concept de dose collective (ICRP Publication 77, 1997). Pour autant, il est pertinent de tenir compte simultanément des risques individuel et collectif, même si les outils de gestion diffèrent, et il est souhaitable de conserver le concept de dose

collective comme outil de gestion pour la protection des travailleurs mais aussi du public.

En outre, moyennant certaines précautions, la dose collective peut servir d'indicateur du risque. Pour le GT, elle ne doit pas être utilisée pour exprimer un excès de risque sans expliciter les paramètres du contexte (population concernée, troncature temporelle et spatiale). Toutefois, elle est adaptée pour mettre en perspective un risque par rapport à un autre ou pour évaluer l'efficacité d'options de radioprotection.

2.2.4. Le niveau de dose insignifiant

Clarke se fait l'écho de la préoccupation de nombreuses personnes au sujet du coût du démantèlement des installations nucléaires ou de l'assainissement des sites contaminés : « trop d'argent est ou sera dépensé pour descendre jusqu'à de faibles niveaux de contamination résiduelle ». En réponse à cette préoccupation, à défaut d'un seuil dans la relation dose/effet, certains proposent de déterminer un niveau de « dose insignifiante », c'est-à-dire au-dessous duquel le risque serait « si bas qu'il n'y aurait pas lieu de s'en préoccuper sur le plan réglementaire » ni « de mettre en œuvre un système de protection ». Clarke propose la valeur de 30 microsieverts comme ordre de grandeur de la dose insignifiante. Le risque correspondant est « généralement considéré comme insignifiant ».

Les membres du GT sont divisés sur cette question.

Quelques-uns considèrent qu'il est légitime de déterminer au niveau international un ordre de grandeur du risque réputé insignifiant ainsi que la dose correspondante. Ce niveau générique serait un niveau de référence quelle que soit la situation d'exposition. Il pourrait par exemple être fondé sur des enquêtes de révélation des préférences et sur le comportement humain. Les mêmes pensent que la détermination d'un tel niveau ne devrait pas être exclusive d'un débat sur l'acceptabilité du risque impliquant les parties prenantes lorsque c'est approprié, par exemple en cas de perte de confiance.

La majorité du GT est en revanche d'avis qu'il n'existe pas de risque insignifiant en soi mais seulement un niveau de risque accepté dans un contexte donné. Il n'est donc pas correct de fixer préalablement un niveau de dose auquel le risque sera qualifié *a priori* d'insignifiant. Certes, il existe dans la plupart des situations d'exposition un niveau de dose au-dessous duquel il n'est plus approprié de mener une action pour réduire le risque. Cependant, ce niveau diffère d'une situation à l'autre. Il est à déterminer au cas par cas en application du principe d'optimisation qui signifie par essence que l'effort de réduction des doses doit être

gradué en fonction des caractéristiques de la situation d'exposition. Le terme « raisonnablement » et l'extension « compte tenu des facteurs économiques et sociaux » dans son énoncé complet signifient bien qu'il n'est pas pertinent de rechercher systématiquement le risque nul.

L'identification d'un niveau de dose accepté, pour une situation donnée, ne devrait toutefois pas conduire à relâcher la vigilance à l'égard de cette situation car la mise en œuvre du principe d'optimisation devrait être vue comme une incitation à aller de l'avant.

La plupart des membres du GT estime que la construction du système de gestion du risque radiologique dépend certes, de l'avis des experts sur le niveau de la dose insignifiante, mais surtout, de l'explicitation concrète et constructive des facteurs pris en compte dans l'évaluation des situations d'exposition et dans la définition des politiques de protection. Cette démarche permettrait de nourrir le débat sur le risque résiduel, éventuellement en prévoyant une participation plus active des parties prenantes à la prise de décision. Les nouvelles recommandations de la CIPR devraient souligner l'intérêt de l'optimisation pour témoigner de la mise en œuvre d'une gestion responsable du risque.

2.2.5. La prise en compte des autres risques

Une autre dimension du principe d'optimisation qui mériterait d'être explorée par la CIPR est la nécessité d'appréhender le risque professionnel dans sa globalité. Les travailleurs sont en effet soumis à de multiples nuisances (chaleur, bruit, confinement, obstacles aux déplacements, risques chimiques ou biologiques, rayonnements ionisants ou non-ionisants, etc.) et la radioprotection n'est qu'un des aspects des conditions de travail.

2.3. Le principe de limitation des expositions

La limite individuelle d'exposition est un niveau de dose qu'il est juridiquement interdit de dépasser (son dépassement constitue une infraction). Elle s'applique à l'exposition totale d'un individu résultant de l'ensemble des sources prises en compte dans le système de protection radiologique (les pratiques).

De l'avis du GT, la limite de dose est un référent pertinent et indispensable pour la protection des travailleurs exposés dont le suivi dosimétrique individuel permet de connaître les expositions résultant de l'ensemble de leur activité professionnelle. L'intérêt de la limite de dose pour les personnes du public est moins net car il est impossible de mesurer l'exposition individuelle résultant de l'ensemble

des sources. Clarke souligne les confusions qui découlent d'une mauvaise interprétation des limites de dose, particulièrement celle pour les personnes du public.

2.3.1. Le principe de la dose maîtrisable

Dans le système proposé par Clarke, le concept de limite de dose disparaîtrait au profit du principe de « maîtrise de la dose à la personne représentative du groupe le plus fortement exposé ». En particulier, « la limite de dose actuelle de 1 mSv pour le public ne serait plus nécessaire ».

Si le GT a bien compris ce que recouvre la notion de dose maîtrisable, il s'agit d'une dose incluse, quelle que soit la situation d'exposition, dans un intervalle défini à l'aide de deux critères : l'un quantitatif (les doses inférieures au niveau de risque inacceptable) et l'autre qualitatif (les doses qui peuvent être réduites ou évitées, sans perturber gravement la vie quotidienne). Dans l'article de Clarke, les doses maîtrisables sont reportées sur une échelle dosimétrique. Elles sont situées entre un niveau haut dont le dépassement est inacceptable sauf quand la vie est en jeu (de l'ordre de 30 millisieverts) et un niveau bas au-dessous duquel « il ne devrait pas être nécessaire de se préoccuper de la protection de l'individu » (de l'ordre de 30 microsieverts). Le niveau maximal de dose acceptable est appelé « niveau d'action » et les niveaux au-dessous sont appelés niveaux d'investigation. Cette échelle ne précise pas si les niveaux doivent être considérés sur une base annuelle ou autre.

Les réticences de la majorité du GT à propos de la fixation a priori d'un niveau de dose insignifiante ont déjà été exprimées plus haut. Il en va de même pour la fixation *a priori* d'un seul niveau de dose auquel le risque serait qualifié d'inacceptable quelle que soit la situation d'exposition. Par exemple, la valeur de 30 millisieverts ne peut constituer un niveau haut pour les expositions médicales. De plus, la terminologie utilisée n'est pas satisfaisante car elle signifie qu'il est possible d'attendre que la dose ait atteint le maximum avant d'agir.

Par ailleurs, la plupart des membres du GT considère qu'il serait irréaliste d'abandonner le concept de limite de dose : il faut une limite individuelle applicable à tous pour circonscrire le champ des doses en situation normale, comme c'est le cas pour tous les risques dus aux substances toxiques et cancérogènes. Sur le plan juridique, il est indispensable de déterminer des limites pour pouvoir traiter comme une infraction le dépassement de ces limites. De plus, le GT note que la détermination de la limite n'est pas seulement basée sur des critères sanitaires

mais aussi sur d'autres considérations, telles que techniques, sociales et même politiques.

2.3.2. Une limite par source ou multi-sources

L'actuelle limite de dose annuelle s'applique aux doses provenant de toutes les sources. La majorité du GT pense que le remplacement de ce référent par une limite de dose par source ne serait pas une panacée. En effet, sa détermination par fractionnement de la limite multi-sources conduit à retenir un dénominateur forcément arbitraire. D'autre part, la flexibilité est utile pour tenir compte des différentes caractéristiques des sources : la contribution d'une source devrait pouvoir être supérieure à celle des autres dès lors qu'elles sont toutes optimisées et que le total ne dépasse pas la limite fixée. Un système avec une limite prenant en compte l'ensemble des sources est forcément plus complexe que s'il repose sur une limite par source ; il importe donc qu'il soit transparent et étayé.

Dans cette perspective, il paraît indispensable d'explicitier la méthode permettant de vérifier le respect de la limite de dose pour le public. L'évaluation des expositions dues à une source est effectuée pour un individu du groupe de référence (groupe des personnes les plus exposées). Il convient normalement d'y intégrer la contribution des autres sources. La méthode avec un groupe de référence le permet mais soulève plusieurs questions. Ce groupe doit-il être hypothétique et le plus pénalisant possible ou au contraire réaliste ? Pour une source donnée, faut-il un seul groupe de référence ou un par voie d'atteinte (exposition externe, ingestion, inhalation) ? Pour tenir compte des autres sources, où doit être placé le groupe de référence : proche de la source considérée ou au carrefour entre les différentes sources implantées sur un même territoire ? Faut-il adopter une autre méthode consistant à tracer sur une carte des courbes isodoses autour de chaque source puis de déceler les éventuels « points chauds » aux intersections ? La CIPR pourrait se prononcer sur ces questions.

2.3.3. La contrainte de dose

Il existe en outre un indicateur relatif à une source donnée dont l'utilisation est à recommander, aussi bien pour la protection des travailleurs que pour celle du public. Il s'agit de la contrainte de dose individuelle, dont le niveau est défini et appliqué au cas par cas pour faciliter l'optimisation. La contrainte de dose permet notamment d'intégrer le retour d'expérience et le savoir-faire à un moment donné pour une pratique donnée, indépendamment de la limite. La dose collective peut aussi être soumise à une contrainte.

Pour le public, la dose associée aux limites de rejet est parfois assimilée à une contrainte de dose. Pour autant, il importe de bien dissocier les deux notions car les limites de rejet ont un statut réglementaire et leur dépassement constitue une infraction, ce qui n'est pas le cas de la contrainte de dose. Pour cette raison, certains membres du GT pensent qu'une contrainte de dose serait plus utile qu'une limite par source pour la gestion des expositions du public. D'autres sont au contraire en faveur d'une limite par source en tant qu'indicateur juridiquement contraignant.

Pour les travailleurs, la contrainte de dose individuelle a plusieurs objectifs selon le cas : tenir compte de chaque source d'exposition entrant dans le calcul de la dose totale (exemple des mineurs qui cumulent l'exposition au radon, aux poussières et au rayonnement gamma) ; organiser, au niveau d'un chantier, la répartition des doses individuelles dans un cadre restreint par une contrainte de dose collective (lissage des expositions) ; faciliter la gestion de la dosimétrie des travailleurs itinérants ou temporaires. Dans tous les cas, il est essentiel que la valeur de la contrainte de dose soit fixée au cas par cas et non pas *a priori* dans les recommandations de la CIPR ou dans un texte réglementaire.

En conclusion, les situations d'exposition conduisant toutes à un risque de même nature, à savoir un risque radiologique, il est pertinent de leur appliquer une philosophie commune de gestion du risque. Cette philosophie trouve son expression dans les trois principes généraux actuels, justification, optimisation et limitation, qui sont étroitement liés. Ils devraient être maintenus dans le futur système car ils témoignent de la mise en oeuvre d'une gestion responsable du risque. Mais leurs modalités concrètes d'application ont encore besoin d'être améliorées.

3. Les situations d'exposition

Tout en appliquant une philosophie unique pour la gestion de l'ensemble des situations d'exposition, il est nécessaire de prendre en considération leur grande diversité et complexité. Des méthodes spécifiques de gestion du risque, ainsi que des indicateurs et outils appropriés, doivent être définis en fonction des caractéristiques de ces situations.

Dans le système actuel, les situations d'exposition sont déjà réparties selon certains clivages à des fins de gestion : pratique/intervention, travailleurs/médical/public, naturel/artificiel/naturel-renforcé, etc. Certains de ces clivages sont pertinents

mais d'autres sont inopérants. Une autre organisation des situations d'exposition serait-elle plus opérationnelle ?

Dans son article, Clarke, constatant que certaines situations « ne se rangent pas facilement dans les définitions actuelles de la pratique et de l'intervention », considère que « il serait peut-être utile de réexaminer la philosophie de la radioprotection afin d'élaborer un autre cadre logique et cohérent, différent de celui utilisé actuellement ». Il propose de « regrouper les trois catégories d'exposition – professionnelle, médicale et du public – au sein d'un cadre global intégrant les systèmes de protection actuels pour les pratiques et les interventions ».

Pour sa part, le GT a cherché à identifier et caractériser les différentes situations d'exposition, y compris les situations passées considérées aujourd'hui comme non justifiées. L'inventaire des situations est présenté en annexe dans les tableaux 1 et 2. Les trois éléments constitutifs d'une situation d'exposition sont la source, le contexte donnant lieu à l'exposition et les personnes exposées. Les sources d'exposition sont divisées en deux grandes catégories : les sources d'origine naturelle (rayonnement cosmique ou tellurique, radon et autres radionucléides naturels) et celles d'origine artificielle (sources scellées, non scellées, générateurs de rayonnement, etc.). Pour chaque source, les différents contextes donnant lieu à l'exposition sont distingués (dans le domaine industriel ou médical, à l'intérieur des bâtiments, du fait de l'utilisation de produits de consommation, en situation d'urgence radiologique ou d'exposition durable, etc.) ainsi que les catégories de personnes exposées (habitants, usagers, consommateurs, travailleurs exposés ou non, patients, générations futures, etc.).

Les principaux clivages permettant de caractériser ces situations d'une manière pertinente en termes de gestion du risque ont ensuite été identifiés :

- En fonction de la possibilité (faible, moyenne ou forte) de mesurer directement l'exposition de chaque personne exposée, en tenant compte de la mise en œuvre de moyens proportionnés à l'enjeu.
- En fonction de la possibilité d'agir sur la dose pour la maîtriser : cette possibilité est reconnue soit forte, soit faible, mais jamais totalement nulle (à défaut de pouvoir agir sur la source, il est toujours possible en théorie de limiter l'exposition des individus à cette source, même s'il s'agit d'une source naturelle) ; en revanche il peut ne pas être pertinent d'agir (par exemple, il n'est pas considéré comme pertinent de recommander aux gens de réduire leurs séjours à la montagne malgré l'augmentation de l'exposition aux rayonnements cosmiques qui en résulte).

- En fonction du bénéfice associé à la situation d'exposition pour l'individu exposé. Le bénéfice peut être :
 - direct avec un degré élevé lorsque le bénéfice est personnel et que l'exposition est consubstantielle à la catégorie de personne exposée (cas des patients, par exemple) ;
 - direct avec un degré faible lorsque le bénéfice est personnel mais que l'exposition n'est pas consubstantielle à la catégorie de personne exposée (cas des utilisateurs de produits de consommation contenant de la radioactivité, par exemple) ;
 - indirect lorsque le bénéfice est au profit de la collectivité (cas des riverains d'une installation nucléaire, par exemple) ;
 - nul lorsque la situation d'exposition ne présente aucun avantage pour la personne exposée ou que les inconvénients l'emportent sur les avantages (cas de l'exposition du public en situation d'urgence radiologique, par exemple).
- En fonction de la finalité de la radioprotection, en distinguant :
 - les situations dans lesquelles l'utilisation de rayonnement est délibérée : l'objectif est alors d'augmenter le moins possible les expositions (en tenant compte du principe d'optimisation) ; ces situations peuvent être apparentées aux « pratiques » telles que définies dans la CIPR 60 (ICRP60, 1991).
 - les situations dans lesquelles la source de rayonnement est présente de facto (par exemple : urgence radiologique ou exposition durable) : l'objectif est alors de réduire le plus possible les expositions (en tenant compte du principe d'optimisation) ; ces situations correspondent à la notion « d'intervention » de la CIPR 60 (ICRP60, 1991).
- En fonction de l'ordre de grandeur de l'exposition individuelle.

Certains de ces clivages ont également été identifiés par Clarke qui considère que « un niveau de dose maîtrisable est apprécié en fonction de son ampleur, des avantages procurés à l'individu exposé et de la facilité avec laquelle il est possible de la réduire ou de l'éviter. »

Le nombre, la diversité et la complexité des situations d'exposition ont été confirmés par l'analyse du GT. Sur le terrain, ces différentes situations sont mises en œuvre par des acteurs de milieu et de culture souvent très différents et elles ne relèvent pas toutes de la même autorité de gestion. Leurs caractéristiques et les niveaux de risque associés varient, parfois considérablement, de l'une à l'autre (le risque d'un riverain d'une installation nucléaire n'est pas le même que celui d'un patient traité par radiothérapie, par exemple). Enfin, il convient de rappeler que l'acceptabilité du risque est étroitement liée à la spécificité de la situation d'exposition et qu'elle ne dépend pas seulement du niveau de protection radiologique (niveau d'exposition), mais aussi de considérations d'ordre politique, social, culturel et de sûreté. Le GT en conclut que la simplification consistant

à gérer de façon globalisée l'ensemble des expositions d'origines diverses concernant un même individu, n'est pas possible.

En dernier lieu, le GT a identifié des sujets qui restent à explorer. Il conviendrait d'examiner dans quelle mesure les différentes situations d'exposition peuvent être réorganisées par familles en fonction des caractéristiques répertoriées ci-dessus, puis de déterminer pour chaque famille les modalités de gestion pertinentes. Actuellement, le système de protection radiologique met à la disposition des professionnels une série d'indicateurs et d'outils permettant de gérer les situations d'exposition (dose, limite de dose, contrainte de dose, dose individuelle, dose collective, niveau d'investigation, d'action, d'intervention, d'exemption, de libération, groupe de référence, etc.). Ils sont utilisés dans le cadre de la mise en œuvre des trois principes fondamentaux de la radioprotection définis par la CIPR (justification des pratiques, optimisation de la protection et limitation des expositions individuelles). Quels sont les indicateurs et outils réellement utiles ? Pour qui ? Pour quoi faire ? Comment sont-ils utilisés ? Le GT estime que la réponse à ces questions est un préalable à toute évolution du système de protection radiologique dans un sens plus opérationnel.

4. Éléments contribuant à l'acceptabilité du risque radiologique

La principale difficulté, pointée par R. Clarke, dans la mise en œuvre du système actuel de protection radiologique, réside dans la gestion des situations d'exposition impliquant des faibles doses. Pour ce qui est de son efficacité, le système actuel paraît globalement bien fonctionner pour la protection des travailleurs, moins bien (système mal compris, outils mal adaptés, etc.) pour celle du public ainsi que pour les situations d'urgence radiologique et mal pour la gestion des situations d'exposition durable (sites contaminés, exposition naturelle renforcée). En fait, et surtout pour les situations où le système est moins efficace, le principal défi des professionnels de la radioprotection est de trouver les éléments contribuant à l'acceptabilité du risque. Le GT a identifié certains de ces éléments :

4.1. Aménager le dialogue social

Le renforcement du dialogue entre les parties prenantes autour de la gestion du risque radiologique contribuerait à expliciter les enjeux, les critères décisionnels et les facteurs à prendre en compte. Pour les sites contaminés, par exemple, une approche émerge : la gestion décentralisée des risques. Le dialogue social apparaît de plus en plus comme étant un élément crucial du processus de décision concernant

les activités à risque. Il permet de gagner ou de recouvrer la confiance selon le cas. Il peut également s'avérer utile pour déterminer le niveau de risque acceptable pour les situations d'expositions correspondantes. Les nouvelles recommandations de la CIPR devraient tenir compte de ces éléments.

4.2. Fournir les éléments pour une appréciation individuelle du risque

Les « sujets du risque » devraient pouvoir disposer d'une information sur les différentes sources d'exposition qui les concernent avec une estimation des doses individuelles correspondantes et des risques potentiels associés. À partir de ces éléments, chaque personne pourrait faire la somme des doses qu'elle intègre et se forger sa propre appréciation du risque radiologique auquel elle est exposée. Les doses seraient globalisées pour évaluer le risque individuel mais les situations d'expositions correspondantes continueraient d'être gérées selon leurs spécificités. La CIPR pourrait recommander la mise à disposition de ces données. Ceci faciliterait la compréhension du risque radiologique, augmenterait la lisibilité du système de gestion de ce risque, favoriserait le dialogue entre les parties prenantes et permettrait le développement d'une culture de radioprotection. La mise en perspective du risque radiologique avec d'autres risques en serait facilitée.

Une approche basée sur ces deux éléments aiderait certainement les parties prenantes à trouver un accord sur le niveau de dose accepté, c'est-à-dire le niveau de dose au-dessous duquel il n'est plus approprié de mener une action pour réduire le risque. Il reste entendu qu'il est préférable de rechercher ce niveau pour chaque contexte plutôt que de le fixer *a priori* de façon générique et que la vigilance doit être maintenue autour de la situation.

5. Conclusion pour l'évolution du système de gestion du risque radiologique

Le GT estime qu'il serait utile de faire évoluer le système de protection radiologique pour le rendre plus opérationnel et plus compréhensible par ceux qui sont chargés de l'appliquer mais aussi par ceux qui sont confrontés à lui (juges, public, etc.). Plusieurs voies sont proposées.

Le système de protection radiologique est basé, quelle que soit la situation d'exposition, sur une même philosophie de gestion du risque caractérisée par les trois principes de protection radiologique : justification, optimisation, limitation.

Le GT considère qu'ils doivent être conservés dans le système de demain bien que leurs modalités concrètes d'application devraient encore être améliorées.

Il est nécessaire de maintenir une claire distinction entre les différentes catégories de situations d'exposition en raison de leur diversité et complexité. Cela vaudrait néanmoins la peine de redéfinir les catégories actuelles en fonction des caractéristiques des situations correspondantes et de déterminer les modalités de gestion du risque correspondantes ainsi que les outils et indicateurs appropriés.

Par ailleurs, il conviendrait d'étudier les conditions permettant d'atteindre l'acceptabilité du risque. Deux voies sont de plus en plus explorées par les professionnels : l'amélioration du dialogue social et la mise à disposition des éléments pour une appréciation individuelle du risque.

En outre, le GT souligne, comme Clarke, que la question de la protection de l'environnement mériterait d'être posée par la CIPR dans la prochaine livraison de ses recommandations générales. Une réflexion approfondie est encore nécessaire car les critères de gestion du risque radiologique pour l'environnement n'existent pas encore. Deux aspects devraient être distingués :

- la protection de l'environnement dans une perspective de protection de l'homme à long terme (en tenant compte notamment des phénomènes de bio-accumulation) : elle est déjà prise en compte dans les recommandations de la CIPR mais des indications sur sa mise en œuvre pratique seraient certainement utiles ;
- la protection de l'environnement en tant que tel (faune et flore) dont les objectifs devraient être, d'une part, la sauvegarde de la bio-diversité, c'est à dire la protection des espèces et non celles des individus qui les composent et, d'autre part, la sauvegarde de la propriété du patrimoine naturel qui est à préserver pour des raisons symboliques, culturelles autant qu'économiques.

Enfin, le GT souhaite que les prochaines recommandations de la CIPR soient plus orientées vers le réel, ce qui n'exclut pas une approche pénalisante. En d'autres termes, elles devraient être testées préalablement sur des exemples pratiques pour savoir si elles sont opérationnelles.

Remerciements et perspectives :

La Société française de radioprotection remercie vivement Roger Clarke et la CIPR pour avoir organisé un débat international sur ce thème, ainsi que les organisateurs du congrès IRPA10. La réflexion sur le système de protection radiologique se poursuit au sein de la SFRP qui se tient prête à apporter, dans tout cadre jugé approprié par la CIPR, son concours actif à l'élaboration de la prochaine génération des normes de radioprotection.

RÉFÉRENCES

- Académie des Sciences (1999) Minutes of the Académie des Sciences - Series III - Life Sciences - *Symposium entitled Cancer risks due to ionising radiation*, **322**.
- Clarke R. (1999) Control of low-level radiation exposure: time for a change?, *J. Radiol. Prot.* **19**, 107-115.
- Clarke R. (1999) La dose maîtrisable : discussion sur la maîtrise des doses individuelles du fait d'une source de donnée, *Radioprotection* **34** (2), 217.
- Euratom (1996) *Council Directive 96/29/Euratom of 13 May 1996*, OJEC L 159, **39**.
- ICRP Publication 60 (1991) 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, *Ann. ICRP* **21** (1-3).
- ICRP Publication 73 (1996) Radiological Protection and Safety in Medicine, *Ann. ICRP* **26** (2).
- ICRP Publication 77 (1997) Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Wastes, *Ann. ICRP* **27** (suppl).
- Lecomte J.F., Schieber C. (2000) Contribution of the French society for radiation protection to the current reflections on the possible improvements of the radiological risk management system, *Radioprotection* **35** (1), 59.
- OCDE (1998) OECD Nuclear Energy Agency, *Developments in radiation health science and their impact on radiation protection*. Committee on radiation protection and public health, OECD Publications, Paris.

Membres du groupe de travail

- Bernard AUBERT - Institut Gustave Roussy (IGR).
- Pierre BARBEY - Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest (ACRO).
- Alain BLAIN - FRAMATOME.
- Olivier BRIGAUD - Direction de la sûreté des Installations nucléaires (DSIN).
- Alain BRISSAUD - Électricité de France (EdF).
- Yves-Sébastien CORDOLIANI - Hôpital d'instruction des armées du Val de Grâce.
- Jean-Michel DELIGNE - Direction de la sûreté des installations nucléaires (DSIN).
- Bernard DERCHE - Commissariat à l'énergie atomique (CEA).
- Jean-Luc GODET - Direction générale de la santé (DGS).
- Philippe HUBERT - Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN).
- Jean-François LACRONIQUE - Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI).
- Jeannine LALLEMAND - Électricité de France (EdF).
- Jean-Pierre LAURENT - Compagnie générale des matières nucléaires (COGEMA).
- Paul LEBLANC - Commissariat à l'énergie atomique (CEA).
- Jean-François LECOMTE - Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN).
- Jacques LOMBARD - Société française de radioprotection (SFRP).
- Daniel NOLIBE - Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN).
- André OUDIZ - Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN).
- Jean-Luc PASQUIER - Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI).
- Jean PIECHOWSKI - Direction générale de la santé (DGS).
- Caroline SCHIEBER - Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire (CEPN).
- Marc VALERO - Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI).

ANNEXE

TABLEAU I

Inventaire des situations d'exposition (actuelles ou passées) avec leurs caractéristiques.
Inventory of the current or past exposure situations with their characteristics.

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES SITUATIONS D'EXPOSITION		CARACTÉRISTIQUES DES SITUATIONS D'EXPO.				EXEMPLES ⁶
Sources	Contextes donnant lieu à l'exposition	Personnes exposées	Possibilité de mesurer directement l'exposition individuelle	Possibilité d'appréhender la situation pour la maîtrise la dose ³	Bénéfice associé à la situation d'exposition pour la personne exposée ⁴	
Naturel						
Cosmique	Niveau de la mer	Personnes du public	Faible	Faible	Direct, D° élevé	RPP
	Altitude	Personnes du public	Faible	Faible	Direct, D° élevé	RPP
	En vol ⁷	Usagers	Moyenne	Faible	Direct, D° faible	RPP
		Personnels navigants	Moyenne	Moyenne	Direct, D° élevé	RPP
		Travailleurs hors pers. nav	Moyenne	Faible	Direct, D° faible	RPP
Tellurique	Alimentation	Consommateurs	Faible	Faible	Direct, D° élevé	RPP
	Extérieur	Personnes du public	Faible	Faible	Direct, D° élevé	RPP
	Intérieur	Habitants	Faible	Moyenne	Direct, D° élevé	RPP
		Personnes extérieures pénétrant sur site	Faible	Moyenne	Direct, D° faible	RPP
		Travailleurs non exposés ⁸	Faible	Moyenne	Direct, D° faible	RPP
		Travailleurs « exposés » ⁹	Moyenne	Moyenne	Direct, D° élevé	RPP

TABLEAU I (Suite)

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES SITUATIONS D'EXPOSITION		CARACTÉRISTIQUES DES SITUATIONS D'EXPO.				EXEMPLES ⁶
Sources	Contextes donnant lieu à l'exposition	Personnes exposées	Possibilité de mesurer directement l'exposition individuelle ¹	Possibilité d'appréhender la maîtrise la dose ³	Bénéfice associé à la situation d'exposition pour la personne exposée ⁴	
Radon	Intérieur	Habitants	Faible	Forte	Direct, D° élevé	RPP
		Personnes extérieures pénétrant sur site	Faible	Forte	Direct, D° faible	RPP
		Travailleurs non exposés	Faible	Forte	Direct, D° faible	RPP
		Travailleurs « exposés »	Moyenne	Forte	Direct, D° élevé	RPP
	Extérieur	Personnes du public	Faible	Faible	Direct, D° élevé	RPP
Radionucléides naturels	Médical	Patients	Moyenne	Forte	Direct	AMP
	Activité industrielle ou commerciale (propriétés radioactives)	Riverains de l'installation	Faible	Forte	Indirect	AMP
		Personnes extérieures pénétrant sur site	Moyenne	Forte	Direct, D° faible	AMP
		Utilisateurs de produits de consommation	Faible	Forte	Direct, D° faible	AMP
		Consommateurs de produits alimentaires ¹⁰	Faible	Forte	Null	AMP
		Travailleurs non exposés	Moyenne	Forte	Direct, D° faible	AMP
		Travailleurs exposés	Forte	Forte	Direct, D° élevé	AMP

TABLEAU I (Suite)

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES SITUATIONS D'EXPOSITION			CARACTÉRISTIQUES DES SITUATIONS D'EXPO.			EXEMPLES ⁶
Sources	Contextes donnant lieu à l'exposition	Personnes exposées	Possibilité de mesurer directement l'exposition individuelle ¹	Possibilité d'agir ² pour maîtriser la dose ³	Bénéfice associé à la situation d'exposition pour la personne exposée ⁴	
Radionucléides naturels (suite)	Activité industrielle ou commerciale (propriétés radioactives) (suite)	Génération futures	Faible	Moyenne	?	Personne du futur exposée du fait des rejets des pratiques actuelles
	Activité industrielle ou commerciale (autres propriétés)	Riverains de l'installation	Faible	Faible	Indirect	Personne résidant près d'une usine fabriquant des engrais phosphatés
		Personnes extérieures pénétrant sur site	Faible	Faible	Direct, D° faible	Client ou fournisseur
		Utilisateurs de produits de consommation	Faible	Faible	Direct, D° faible	Jardinier utilisant des engrais phosphatés Utilisateur de carrelage émaillé à l'uranium
		Consommateurs de produits alimentaires	Faible	Faible	Direct, D° faible	Buveur d'eau minérale
		Travailleurs non exposés	Moyenne	Faible	Direct, D° faible	Employé d'une usine fabriquant
	Médical ¹⁰	Travailleurs exposés	Forte	Faible	Direct, D° élevé	des engrais phosphatés
		Génération futures	Faible	Faible	?	Personne du futur exposée du fait des rejets des pratiques actuelles
		Patients	Moyenne	Forte	Direct ou Nul selon les cas	Patient soigné avec des aiguilles au radium Patient à qui on a injecté un opacifiant à base de thorium (« thorotrast »)
						Personne utilisant une théière au radium pour soigner ses rhumatismes

TABLEAU I (Suite)

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES SITUATIONS D'EXPOSITION			CARACTÉRISTIQUES DES SITUATIONS D'EXPO.			EXEMPLES ⁶
Sources	Contextes donnant lieu à l'exposition	Personnes exposées	Possibilité de mesurer directement l'exposition individuelle ¹	Possibilité d'agir ² pour maîtriser la dose ³	Bénéfice associé à la situation d'exposition pour la personne exposée ⁴	
Artificiel						
Sources non scellées	Médical diagnostique	Patients	Moyenne	Forte	Direct, D° élevé	AMP
		Accompagnants	Moyenne	Forte	Direct, D° faible	AMP
		Riverains de l'installation	Faible	Forte	Indirect	AMP
		Personnes extérieures pénétrant sur site	Faible	Forte	Direct, D° faible	AMP
		Travailleurs non exposés	Moyenne	Forte	Direct, D° faible	AMP
		Travailleurs exposés	Forte	Forte	Direct, D° élevé	AMP
Sources scellées/Non scellées	Médical thérapeutique	Génération futures	Faible	Moyenne	?	Manipulateur
		Patients	Forte	Forte	Direct, D° élevé	AMP
		Accompagnants	Moyenne	Forte	Direct, D° faible	AMP
		Riverains de l'installation	Faible	Forte	Indirect	AMP
		Personnes extérieures pénétrant sur site	Faible	Forte	Direct, D° faible	AMP

TABLEAU I (Suite)

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES SITUATIONS D'EXPOSITION			CARACTÉRISTIQUES DES SITUATIONS D'EXPO.			EXEMPLES ⁶
Sources	Contextes donnant lieu à l'exposition	Personnes exposées	Possibilité de mesurer directement l'exposition individuelle ¹	Possibilité d'appréhender la dose ³	Bénéfice associé à la situation d'exposition pour la personne exposée ⁴	
Sources scellées/Non scellées	Médical thérapeutique (suite)	Travailleurs non exposés	Moyenne	Forte	Direct, D° faible	AMP Personnel de surveillance ou d'entretien
		Travailleurs exposés	Forte	Forte	Direct, D° élevé	AMP Radiothérapeute
		Génération futures	Faible	Moyenne	? ¹¹	AMP Personne du futur exposée du fait des rejets des pratiques actuelles
Sources scellées/Non scellées	Méd. thérapeutique interventionnel ¹²	Patients	Forte	Forte	Direct, D° élevé	AMP Patient subissant une intervention chirurgicale
		Travailleurs exposés	Forte	Forte	Direct, D° élevé	AMP Chirurgien
		Riverains de l'installation	Faible	Forte	Indirect	AMP Personne résidant près d'une INB
Sources scellées/Non scellées	Activité industrielle, commerciale ou de recherche	Personnes extérieures pénétrant sur site	Moyenne	Forte	Direct, D° faible	AMP Commercial d'une entreprise extérieure Visiteur de l'installation
		Utilisateurs de biens de consommation	Faible	Forte	Direct, D° faible	AMP Utilisateur d'un détecteur d'incendie Utilisateur d'une ampoule au krypton
		Consommateurs de produits alimentaires ¹⁰	Faible	Forte	Nul	AMP Consommateurs de « iodoliments » (aliments enrichis à l'iode radioactif)
Générateurs de rayonnement		Travailleurs non exposés	Moyenne	Forte	Direct, D° faible	AMP Agent administratif d'une INB
		Travailleurs exposés	Forte	Forte	Direct, D° élevé	AMP Soudeur dans une INB
		Génération futures	Faible	Moyenne	? ¹¹	AMP Personne du futur exposée du fait des rejets des pratiques actuelles

TABLEAU I (Suite)

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES SITUATIONS D'EXPOSITION			CARACTÉRISTIQUES DES SITUATIONS D'EXPO.			EXEMPLES ⁶
Sources	Contextes donnant lieu à l'exposition	Personnes exposées	Possibilité de mesurer directement l'exposition individuelle ¹	Possibilité d'agr ² pour maîtriser la dose ³	Bénéfice associé à la situation d'exposition pour la personne exposée ⁴	
Nat/Artificiel						
Installation ou véhicule accidenté Source perdue	Urgence	Personnes du public	Faible	Forte	Nul	Habitant de Tchernobyl fin avril 1986
		Intervenants	Forte	Moyenne	Direct, D° faible	Pompier, policier, SAMU
Environnement contaminé	Durable	Personnes du public dans le périmètre concerné	Faible	Moyenne	Direct, D° élevé	Habitant des Iles Marshall ou dans les environs de Tchernobyl
		Travailleurs non exposés	Moyenne	Forte	Direct, D° faible	Cordonnier dans les environs de Tchernobyl
		Travailleurs exposés	Forte	Forte	Direct, D° élevé	Intervenant pour nettoyer un site contaminé
		Génération futures	Faible	Moyenne	? ¹¹	Personne du futur résidant sur un site contaminé
Déchets	Entreposage ou stockage en phase d'exploitation ou de surveillance	Riverains de l'installation	Faible	Forte	Indirect	Personne résidant près d'un centre de stockage
		Personnes extérieures pénétrant sur site	Moyenne	Forte	Direct, D° faible	Commercial d'une entreprise extérieure Visiteur de l'installation
		Travailleurs non exposés	Moyenne	Forte	Direct, D° faible	Agent administratif de l'installation
		Travailleurs exposés	Forte	Forte	Direct, D° élevé	Manipulateur de colis de déchets

TABLEAU I (Suite)

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES SITUATIONS D'EXPOSITION		CARACTÉRISTIQUES DES SITUATIONS D'EXPO.			EXEMPLES ⁶
Sources	Contextes donnant lieu à l'exposition	Personnes exposées	Possibilité de mesurer directement l'exposition individuelle ¹	Possibilité d'agir ² pour maîtriser la dose ³	
Déchets (suite)	Entreposage ou stockage en phase d'exploitation ou de surveillance (suite)	Génération futures	Faible	Moyenne ⁴	Personne du futur exposée du fait des rejets du centre d'entreposage/stockage
	Stockage après fermeture du site	Génération futures	Faible	Moyenne ⁴	Personne du futur exposée du fait des rejets du stockage

1 La possibilité (faible, moyenne ou forte) de mesurer directement l'exposition individuelle s'entend avec la mise en œuvre de moyens proportionnés à l'enjeu.

2 L'action concerne les personnes aussi bien individuellement que collectivement.

3 La colonne « Possibilité d'agir » est renseignée indépendamment du fait qu'une action a déjà été engagée ou non dans le cadre du système actuel de radioprotection.

4 Bénéfice Direct, D° élevé = le bénéfice est personnel et l'exposition est consubstantielle à la catégorie de personnes exposées.

Bénéfice Direct, D° faible = le bénéfice est personnel mais l'exposition n'est pas consubstantielle à la catégorie de personnes exposées.

Bénéfice Indirect = le bénéfice est au profit de la collectivité.

Bénéfice Nul = la situation d'exposition n'a aucun avantage pour la personne exposée ou les inconvénients l'emportent sur les avantages.

5 RPP = Réduire le Plus Possible l'exposition (présence de facto), en tenant compte du principe d'optimisation.

AMP = Augmenter le Moins Possible l'exposition (ajoutée en toute connaissance de cause), en tenant compte du principe d'optimisation.

6 Les exemples cités ne sont pas exhaustifs de la situation d'exposition considérée.

7 Le cas des cosmonautes n'est pas pris en compte en raison du très faible nombre de personnes concernées et de leur gestion selon des règles de radioprotection dérogatoires.

8 Travailleur non exposé = travailleur non classé dans les catégories A ou B de la réglementation relative à la radioprotection.

9 Travailleur exposé = travailleur classé dans les catégories A ou B de la réglementation relative à la radioprotection. Les guillemets signifient que la situation d'exposition n'est pas encore réglementée.

10 Crisé = situation d'exposition passée qui n'est plus acceptée aujourd'hui (interdite).

11 Le bénéfice d'une situation d'exposition résultant d'une pratique actuelle est difficile à apprécier pour les générations futures.

12 Le contexte médical thérapeutique interventionnel est distingué du contexte médical thérapeutique non interventionnel en raison des différences sensibles du niveau d'exposition de certaines catégories de personnes ; ces catégories de personnes (patients et travailleurs exposés) sont les seules prises en compte dans le tableau.

13 En cas de situation d'exposition durable, seuls les intervenants peuvent légitimement être classés parmi les travailleurs exposés car, pour eux, l'intervention est une pratique (d'où AMP et non RPP).

TABLEAU II

Situations d'exposition (actuelles ou passées) avec leurs caractéristiques – compléments.
Inventory of the current or past exposure situations with their characteristics – complements.

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES SITUATIONS D'EXPOSITION		CARACTÉRISTIQUES DES SITUATIONS D'EXPOSITION		
Sources	Contextes donnant lieu à l'exposition	Personnes exposées	Ordres de grandeur de l'exposition individuelle actuelle	Pertinence d'agir ¹ Oui/Non
Naturel				
	Cosmique			
	Niveau de la mer	Personnes du public	0,3 mSv/an [1] [2]	N
	Altitude	Personnes du public	Exposition $\times 2$ tous les 1000 à 1500 m [1] Augmente aussi avec la latitude [1] 1,1 mSv/an à 2000 m [2]	N
	En vol	Usagers	1 à 12 microSv/h [3] Paris/Dublin (95 nm) : 4,5 μ Sv [4] Paris/Rio (675 nm) : 26 μ Sv [4] Amsterdam/Vancouver (645 nm) : 70 μ Sv [4]	[N] ^{3,4}
Tellurique		Personnels navigants	3 à 6 mSv/an [3]	O
		Travailleurs hors pers. nav.	Jusqu'à 12 mSv/an [1]	[N] ⁵
	Alimentation	Consommateurs	0,2 mSv/an [1] [3]	[N] ⁶
	Extérieur	Personnes du public	Moyenne 40 nanoSv/an [1]	N
	Intérieur	Habitants	Moyenne 56 nanoSv/h (20 à 190) [1]	N
		Personnes extérieures pénétrant sur site	Moyenne 56 nanoSv/h (20 à 190) [1]	O
Radon		Travailleurs non exposés	Moyenne 56 nanoSv/h (20 à 190) [1]	O
		Travailleurs « exposés »	?	O
	Intérieur	Habitants	Moyenne en France : 1,4 mSv/an [3] Moyenne mondiale : 1,2 à 10 mSv/an [1]	O
		Personnes extérieures pénétrant sur site	<< habitants	O

TABLEAU II (Suite)

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES SITUATIONS D'EXPOSITION		CARACTÉRISTIQUES DES SITUATIONS D'EXPOSITION			
Sources	Contextes donnant lieu à l'exposition	Personnes exposées	Ordres de grandeur de l'exposition individuelle actuelle	Pertinence d'agir ¹ Oui/Non	Niveaux de référence en vigueur ² Oui/Non
Radon (suite)	Intérieur (suite)	Travailleurs non exposés	≤ habitants	O	O
		Travailleurs « exposés »	Mines souterraines : 0,2 à 7,8 mSv/an [1] Stations thermales : de 1 à 120 mSv/an [1]	O	O
	Extérieur	Personnes du public	Moyenne 0,13 mSv/an [1]	N	N
	Médical	Patients	Quelques mSv à 15 mSv par séjour (?)	O	N
Radionucléides naturels	Activité industrielle ou commerciale (propriétés radioactives)	Riverains de l'installation	?	O	O
		Personnes extérieures pénétrant sur site	?	O	O
		Utilisateurs de produits de consommation	Porteur d'une montre à écran luminescent : 1 microSv/an [5]	O	O
		Consom. de produits alim.	?	O	O
		Travailleurs non exposés	?	O	O
		Travailleurs exposés	Industrie luminescente : 5 à 7 mSv/an maxi [1]	O	O
		Génération futures	?	O	O
		Riverains de l'installation	Sables : 0,25 mSv/an maxi [1] Charbon : 0,005 mSv/an maxi [1] Phosphates : 0,002 mSv/an maxi [3]	O	en cours
	Activité industrielle et commerciale (autres propriétés)	Personnes extérieures pénétrant sur site	?	O	en cours
		Utilisateurs de produits de consommation	Matériaux de construction : 70 microSv/an [5] Utilisateur d'engrais phosphatés : 2 microSv/an [3]	O	en cours
		Consom. de produits alim.	Eau minérale : 0,03 mSv/an [3]	O	en cours ⁷
		Travailleurs non exposés	?	O	en cours
	Travailleurs exposés	Mines hors U : 6 mSv/an [1]	O	O	

TABLEAU II (Suite)

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES SITUATIONS D'EXPOSITION		CARACTÉRISTIQUES DES SITUATIONS D'EXPOSITION			
Sources	Contextes donnant lieu à l'exposition	Personnes exposées	Ordres de grandeur de l'exposition individuelle actuelle	Pertinence d'agir ¹ Oui/Non	Niveaux de référence en vigueur ² Oui/Non
Radionucléides naturels (suite)	Activité industrielle et commerciale (autres propriétés) (suite)	Généralisations futures	?	O	N
Artificiel	Médical	Patients	4 mSv/h [6]	O	O
Sources non scellées	Médical diagnostic	Patients	Radio pulmon : 0.1 mSv [7] Radio dentaire : 0.01 mSv [7] Scanner : 12 mSv [7]	O	O
Générateurs de rayonnement		Accompagnants	?	O	O
		Riverains de l'installation	?		
		Personnes extérieures pénétrant sur site	?	O	O
		Travailleurs non exposés	?	O	O
		Travailleurs exposés	Médical : 3.2mSv/an (moyenne) [8] Dentaire : 2 mSv/an (moyenne) [8]	O	O
		Généralisations futures	?	O	N
Sources scellées /Non scellées	Médical thérapeutique	Patients	10 à 70 Gy par intervention [9]	O	N
		Accompagnants	?	O	O
		Riverains de l'installation	?	O	O
Générateurs de rayonnement		Personnes extérieures pénétrant sur site	?	O	O
		Travailleurs non exposés	?	O	O
		Travailleurs exposés	3.5 mSv/an [8]	O	O
		Généralisations futures	?	O	N
	Méd. thérapeutique interventionnel	Patients	De l'ordre de 4 msv (dose efficace moyenne) pour une artériographie intra-artérielle et 12 mSv pour les procédures endovasculaires interventionnelles [10]	O	N

TABLEAU II (Suite)

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES SITUATIONS D'EXPOSITION			CARACTÉRISTIQUES DES SITUATIONS D'EXPOSITION		
Sources	Contextes donnant lieu à l'exposition	Personnes exposées	Ordres de grandeur de l'exposition individuelle actuelle	Pertinence d'agir ¹ Oui/Non	Niveaux de référence en vigueur ² Oui/Non
Sources scellées /Non scellées Générateurs de rayonnement	Activité industrielle, commerciale ou de recherche	Riverains de l'installation	5 µSv/an autour d'une usine de retraitement du combustible usé [11] 0.03 µSv/an autour d'un site de 4 tranches REP [12]	O	O
		Personnes extérieures pénétrant sur site	?	O	O
		Utilisateurs de biens de consommation	Détecteur de fumée : 0,1 microSv/an [5]	O	O
		Consom. de produits alim.	?	O	O
		Travailleurs non exposés	?	O	O
		Travailleurs exposés	2,5 mSv/an (moyenne mondiale dans les réacteurs nucléaires) [1]	O	O
		Généralités futures	?	O	O
Nature/Artificiel Installation ou véhicule accidenté Source perdue	Urgence	Personnes du public	1,4 Sv/an à la thyroïde pour les enfants < 3 ans évacués de Pripiat après l'accident de Tchernobyl [13] 15 mSv en moyenne avec un très large intervalle de variation pour les personnes évacuées après l'accident de Tchernobyl [13]	O	O
		Intervenants	Moyenne de 170 mSv en 1986 et de 15 mSv en 1989 pour les intervenants à Tchernobyl [13]	O	O
		Personnes du public dans le périmètre concerné	Doses totales entre 5 et 250 mSv pendant la période 1986–1989 pour les habitants des zones contaminées autour de Tchernobyl [13]	O	[N]
Environnement contaminé	Durable	Travailleurs non exposés	?	O	[N]
		Travailleurs exposés	?	O	O

TABLEAU II (Suite)

ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES SITUATIONS D'EXPOSITION		CARACTÉRISTIQUES DES SITUATIONS D'EXPOSITION			
Sources	Contextes dominant lieu à l'exposition	Personnes exposées	Ordres de grandeur de l'exposition individuelle actuelle	Pertinence d'agir ¹ Oui/Non	Niveaux de référence en vigueur ² Oui/Non
Environnement contaminé (suite)	Durable (suite)	Génération futures	?		N
	Entreposage ou Stockage en phase d'exploitation ou de surveillance	Riverains de l'installation	?		
Personnes extérieures pénétrant sur site		?			
Travailleurs non exposés		?			
Travailleurs exposés		?			
Génération futures		?			
Déchets	Stockage après fermeture du site	Génération futures	?		

- 1 La pertinence d'intégrer la situation dans le système de radioprotection relève d'un jugement de valeur au niveau de la société.
- 2 Existence de niveaux de gestion dans la réglementation (valeurs limites d'exposition individuelle, niveaux d'action, niveaux de catégorisation, ...).
- 3 [N] = situation d'exposition exclue du champ actuel du système de radioprotection mais pouvant être intégrée à l'avenir.
- 4 Une future réglementation est possible pour prendre en compte le cas des femmes enceintes ou se prémunir contre les éruptions solaires si un jour elles deviennent prévisibles.
- 5 L'exposition de certains travailleurs voyageant régulièrement égale voire dépasse celle des personnels navigants.
- 6 Des actions visant à réduire les niveaux très élevés d'exposition à la radioactivité naturelle sont envisageables.
- 7 Des opérations de décontamination de certaines eaux minérales sont déjà mises en œuvre.
- [1] United Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (1993) *United Nations. Sources and effects of Ionizing Radiation*. 1993 Report to the General Assembly, with Annexes. United Nations sales publication E.94.IX.2 United Nations, New-York.
- [2] Morin A., Backe J.C., Chartier M. (1999) *L'exposition externe de la population française aux rayonnements cosmiques*, Note IPSN/DPHD/SAER n°99-52.
- [3] Ranou A. (1999) Connaissance actuelle des sources d'irradiation naturelle. *Radioprotection* **34**, 505-519.
- [4] Office de protection contre les rayonnements ionisants (2000) *Points et Commentaires* **8**.
- [5] Deligne J.M., Communication personnelle.
- [6] Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles (1997) *Campagne nationale de collecte d'objets au radium* (Annexe B).
- [7] Société française de radioprotection, *L'irradiation médicale en France*, à paraître.
- [8] Lefauvre C., Abadia G., Aubert B. (1994) Expositions professionnelles dans le secteur médical. *Journées SFPR sur l'Optimisation de la radioprotection dans les domaines médical, industriel et nucléaire*, La Rochelle 20-21 septembre.
- [9] Deligne J.M., Communication personnelle
- [10] Kicken P.J.H. (1996) *Radiation dosimetry in vascular radiology: Organ and effective dose to patients and staff*. Kicken P.J.K., Maastricht, The Netherlands (ISBN 90 5278 217 2).
- [11] Groupe Radiécologie Nord-Cotentin (2000) *Estimation des niveaux d'exposition aux rayonnements ionisants et des risques de leucémie associés pour les populations du Nord-Cotentin*. Synthèse.
- [12] Schieber C., Schneider T., The Management of Public Exposures Associated With the Radioactive Releases of Nuclear Installations, *Decision makers seminar held in Cachaun (France)*, the 28th of May, 1999, CERN Report R-266.
- [13] Agence pour l'énergie nucléaire - organisation de coopération et de développement économiques (1996) *Tchernobyl Dix ans déjà. Impact radiologique et sanitaire*, OCDE.