

Fontenay aux Roses, le 3 mai 2015

COMPTE RENDU DE LA REUNION DU GT-CIPR
19 novembre 2014

Direction des Affaires
Internationales

DAI/ 2015-038

Le Groupe de travail sur la Commission internationale de protection radiologique (GT-CIPR) s'est réuni le 19 novembre 2014 sous la présidence de Jacques Lochard (CEPN, vice-président de la CIPR).

Après un rapide point sur les activités de la CIPR, le projet de publication de cet organisme sur la protection contre le rayonnement cosmique a été présenté. Le reste de la réunion a été consacré à trois exposés rappelant les fondamentaux du système de radioprotection : la notion de risque lié aux rayonnements ionisants (RI), les doses de RI et leur utilisation, et la structuration du système.

1. Les activités de la CIPR (Jacques Lochard - CEPN)

Pour cause de restriction budgétaire, la Commission principale (CP) ne s'est pas réunie à l'automne 2014. Sa dernière réunion était à Moscou (Russie) en avril 2014 (cf. GT-CIPR du 15/05/2014). Toutefois, elle a travaillé par correspondance. Elle a adopté le rapport d'activité pour 2014 (voir www.icrp.org) et approuvé la publication de la CIPR 125 sur la protection vis-à-vis des scanners de sécurité (voir GT-CIPR du 12/12/2013) et de la CIPR 126 sur la protection contre l'exposition au radon (voir GT-CIPT du 15/05/2014), toutes les deux du Comité 4 (C4). La CP a aussi approuvé la mise en consultation publique sur internet de deux rapports du C3, l'un sur la tomographie à faisceau conique et l'autre sur les cellules souches en lien avec la carcinogénèse, ainsi que la création de deux nouveaux groupes de travail du C4 chargés de préparer des rapports sur le stockage de déchets solides en surface ou sub-surface (TG 97) et sur les sites contaminés (TG 98). Les comités se sont réunis normalement, c'est-à-dire chacun une fois durant l'année 2014 (voir les résumés sur www.icrp.org). La réunion entre la CP et les organisations internationales associées a eu lieu le 4 novembre 2014 à Londres. Les discussions ont porté sur le rôle de la CIPR dans les interactions avec le public et sur l'équilibre entre stabilité et évolution du système de la CIPR. La campagne de levée de fonds a débuté. Enfin, la préparation du 3^{ème} symposium de la CIPR, qui aura lieu à Séoul (Corée) du 20 au 22 octobre 2015 se poursuit. Il comprendra une session relative aux travaux des comités et 5 sessions thématiques. J. Lochard termine sa présentation en annonçant la tenue du 4^{ème} symposium en France (à Marne-la-Vallée) du 10 au 12 octobre 2017.

Siège social

31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre B 440 546 018



Durant la discussion avec la salle, l'organisation par l'association Environnement et Développement Alternatif (EDA) des deuxièmes rencontres sur les expositions médicales à Lille fin 2015 est annoncée. Il est souligné que ce type de colloque contribue efficacement à diffuser l'information sur le système de radioprotection et son application.

2. Projet de rapport de la CIPR sur la protection contre le rayonnement cosmique dans l'aviation (Sylvain Andresz, CEPN)

L'accroissement considérable des vols en avion (3 milliards de passagers en 2012, 6 milliards en 2030) a conduit la CIPR à s'intéresser au sujet. Le groupe de travail correspondant (TG 83) a été créé en 2012. En première partie de son exposé, S. Andresz, qui a assuré le secrétariat technique du TG 83, a expliqué les phénomènes conduisant à l'émission de rayonnement cosmique (origine solaire et galactique) et la décomposition de ce rayonnement dans l'atmosphère. Le débit de dose dans un avion dépend globalement de la latitude, de l'altitude et de l'activité solaire (les éruptions solaires augmentent l'intensité du rayonnement cosmique). Compte tenu des connaissances sur l'état du rayonnement cosmique à un endroit donné de l'atmosphère, les doses peuvent être calculées pour un trajet donné. Les doses moyennes des équipages d'avions sont de l'ordre de 1 à 2 mSv/an et les maximales ne dépassent pas 7 mSv/an. La distribution des doses individuelles est singulière (grossoirement en forme de courbe de Gausse) par rapport à celle des travailleurs du nucléaire (courbe log-normal).

La CIPR considère que l'exposition au rayonnement cosmique dans les avions, y compris les éruptions solaires, est une situation d'exposition existante. La marge de manœuvre pour réduire les expositions est faible : difficile de s'éloigner de la source, de renforcer les protections-écran, de changer la trajectoire et même de limiter le temps de vol. La CIPR recommande une approche reposant sur l'application des principes de justification et d'optimisation, sur la base d'un niveau de référence à choisir dans la fourchette 5-10 mSv/an. Cette approche est graduée en fonction de la catégorie de personnes prenant l'avion. Pour les voyageurs occasionnels, il est simplement recommandé aux compagnies de diffuser une information sur le rayonnement cosmique. Les grands voyageurs qui prennent l'avion pour convenances personnelles devraient pouvoir évaluer leur exposition et adapter leur comportement s'ils l'estiment nécessaire. L'information des grands voyageurs pour des raisons professionnelles devrait être fournie par leur employeur et leur fréquence de vol pourrait être adaptée si nécessaire ; dans quelques cas, ces personnels pourraient être considérés comme travailleurs exposés aux RI. Ce statut s'applique aux personnels navigants, selon la CIPR, qui recommande pour eux une information renforcée et un suivi dosimétrique (estimation des doses par calcul). La surveillance médicale de routine est jugée suffisante pour le suivi de ces travailleurs. Le cas échéant, pour assurer le respect du niveau de référence choisi, un ajustement des temps de vol ou des destinations pourra être réalisé par le management, en collaboration avec les personnels concernés et leurs représentants. L'objectif général de la Publication est de limiter l'occurrence du nombre de personnes les plus exposées au rayonnement cosmique dans l'aviation et d'encourager la

diffusion de l'information sur le rayonnement cosmique afin de favoriser des décisions éclairées. Le projet de rapport sera mis en consultation sur le site de la CIPR dans quelques mois.

Une question de la salle porte sur la mise en évidence du risque lié au rayonnement cosmique. Il est précisé que plusieurs études épidémiologiques sur des personnels navigants ont montré une augmentation du risque de cancer du sein chez les femmes et de mélanome chez les hommes mais que le lien avec les RI n'a pas été démontré. Certains s'étonnent que la CIPR fasse des recommandations contre le rayonnement cosmique sans parler du risque dû à l'exposition au soleil. Il est rappelé que la CIPR traite des RI et non des UV.

L'approche pragmatique de la CIPR est appréciée mais le cas des voyageurs fréquents pour des raisons professionnelles suscite de nombreux commentaires. Certains s'étonnent que leur exposition ne soit pas considérée comme professionnelle, ce qui n'est pourtant pas le cas actuellement. Ces personnels ne sont en général pas exposés à d'autres sources de RI et leur employeur n'a pas la possibilité d'agir, sauf à réduire le nombre de voyages. La CIPR considère que l'exposition d'un travailleur de manière incidente à des sources naturelles de rayonnements ne fait pas de lui un travailleur exposé, sauf quand l'exposition correspondante est directement de la responsabilité de l'employeur (cf. la CIPR 126 sur le radon). Toutefois, le travailleur est sous la responsabilité de son employeur qui doit lui fournir une information adaptée et agir le cas échéant au niveau de l'exposition (environnement et conditions de travail) plutôt que sur la dose (individuelle). La question est posée pour les travailleurs déjà considérés comme « travailleurs exposés ». La structuration du système de la CIPR permet une gestion séparée des types d'expositions, y compris si elles affectent les mêmes individus, sauf cas particulier. C'est une approche pragmatique conforme au principe d'optimisation qui donne la priorité aux expositions les plus élevées.

Pour certains, le niveau de référence ne permet pas une véritable optimisation et le médecin du travail, au moment d'apprécier l'aptitude, en est réduit à rassurer ou à réorienter les conditions de travail, ce qui n'est pas son rôle. En réponse, il est indiqué que l'approche retenue est inspirée des pratiques d'Air France, selon lesquelles les personnels sont simplement incités à changer leurs modalités de vol (affectation à des vols moyen-courriers, travail au sol) dans le cadre du dialogue avec le médecin du travail. Certains rappellent que ce dernier a aussi un rôle de préventeur et que le code du travail prévoit déjà des exigences fortes pour la protection des personnels navigants.

Les compagnies aériennes ne communiquent pas volontiers sur les risques (cf. épisode du virus Ébola), ce qui conduit certains à douter des efforts qu'elles consacreront à l'information des voyageurs ordinaires, surtout si le lien entre cancer et exposition au rayonnement cosmique n'est pas clairement mis en évidence. En réponse, il est précisé que la CIPR ne dit pas que le risque n'existe pas et qu'elle propose des modalités pour gérer les personnes exposées. Les incertitudes sur les effets aux faibles doses de RI sont classiques (cf. linéarité sans seuil). En outre, les doses des personnels navigants sont généralement plus élevées que celles des autres travailleurs exposés. Dans l'approche de la CIPR,

l'information doit permettre de combler le déficit de culture de radioprotection chez tous les publics. Plusieurs experts Japonais impliqués dans le post-Fukushima avec la population publient sur twitter la dose qu'ils reçoivent quand ils prennent l'avion, à titre de comparaison.

3. Fondamentaux du système de radioprotection : notion de risque lié aux rayonnements ionisants (Dominique Laurier, IRSN)

Cet exposé est le premier d'une série de trois sur les fondamentaux du système de radioprotection (RP). Eviter, prévenir ou minimiser les risques liés aux expositions aux rayonnements ionisants (RI) est une constante des recommandations de la CIPR, rappelle D. Laurier (membre du C1). Il décrit brièvement les deux types d'effets induits par l'exposition aux RI : les effets déterministes, apparaissant à court terme à la suite de l'élimination ou du dysfonctionnement d'un grand nombre de cellules au-delà d'un certain seuil de dose, et les effets stochastiques qui sont des cancers et des effets héréditaires survenant de façon aléatoire après altération d'une ou de quelques cellules, sans seuil de dose. L'exposé est centré sur les seconds, qu'il est impossible d'éviter totalement.

L'évaluation des risques stochastiques comprend trois étapes. La première vise à établir des coefficients de risque primaires pour les principaux organes, en fonction de l'âge et du sexe. Elle comprend l'identification des effets dus à l'exposition et l'établissement d'une relation dose-effet, en tenant compte du temps écoulé entre la dose et l'effet et des facteurs modifiant cette relation. L'apport de l'épidémiologie, en particulier l'étude des survivants des bombes d'Hiroshima et Nagasaki (*Life Span cohort Study - LSS*), a été crucial. 80% des doses de cette cohorte sont inférieures à 100 mSv. L'excès de risque de cancers solides radio-induits est d'environ 5% (variable selon les organes) et a tendance à augmenter avec le temps écoulé après l'exposition. Celui des leucémies est d'environ 31% avec un pic 10 ans après l'exposition. Le délai de latence est variable selon les cancers. Au sein de la LSS, les personnes exposées jeunes présentaient un excès de risque élevé dans les premières années après l'exposition mais ce n'est plus le cas aujourd'hui. La courbe dose-effet établie pour la LSS semble linéaire pour les cancers solides et linéaire-quadratique pour les leucémies. Depuis la CIPR 103, les données de la LSS utilisées pour l'estimation des coefficients de risque primaires sont des données de morbidité. Pour la plupart des organes, l'effet modifiant du sexe, de l'âge à l'exposition et de l'âge atteint est pris en compte dans les modèles de risque.

La deuxième étape consiste à établir une relation dose-effet de portée générale, c'est-à-dire pour d'autres conditions d'irradiation que celles de la principale cohorte étudiée (exposition externe, aigue et relativement élevée). Ainsi, la relation dose-effet a été estimée par extrapolation pour les niveaux de dose au-dessous desquels les résultats de l'épidémiologie ne sont pas statistiquement significatifs ($< \approx 100$ mSv), par analogie pour les personnes exposées dans des conditions différentes (exposition plus faible, externe chronique ou interne), avec un facteur de réduction de 2 pour la relation dose-effet utilisée pour les expositions courantes (professionnelles, naturelles), et par transposition pour l'application de la relation à une population différente de celle sur laquelle elle a été estimée (en tenant compte de taux de cancers variables selon les régions du monde). Deux modèles cohabitent : le modèle multiplicatif, qui suppose que l'excès de risque par unité de dose est proportionnel au taux

de base (on parle alors de modèle d'excès de risque relatif (ERR)), et le modèle additif, qui suppose que l'excès de risque par unité de dose est indépendant du taux de base (on parle alors de modèle d'excès de risque absolu (EAR)). Pour le transfert du risque entre différentes populations, la CIPR utilise une pondération entre ces deux types de modèles, variable entre les différents organes. Les taux de base utilisés sont des taux « moyens » reflétant des populations larges (population asiatique, euro-américaine). Les courbes de survies sont appliquées pour calculer le risque sur la vie entière (jusqu'à l'âge de 90 ans). Sur cette base, la CIPR a établi des coefficients de risques nominaux par organe.

La troisième étape de l'évaluation du risque stochastique porte sur l'estimation du détriment sanitaire. Le passage du risque nominal au détriment par organe nécessite plusieurs pondérations en fonction de la létalité des cancers, de l'altération de la qualité de vie (souffrance, lourdeur du traitement) et de la durée de vie perdue (en moyenne 15 ans pour un cancer). Ainsi, le détriment combine la probabilité d'apparition d'un effet sanitaire et la gravité de cet effet. Le risque de maladies héréditaires n'a jamais été observé chez l'homme, il a néanmoins été intégré dans l'estimation du détriment après estimation à partir de données sur la souris et en le limitant aux deux premières générations. Le détriment total est ainsi calculé comme la somme des valeurs obtenues pour chacun des organes et pour le risque héréditaire. Le détriment est estimé pour deux scénarios d'exposition : population générale (exposition de 0 à 90 ans) et adulte (travailleur exposé de 18 à 60 ans). Dans la CIPR 103, le détriment ainsi obtenu est de 5,7%/Sv pour la population générale et de 5,2%/Sv pour les travailleurs.

Ces valeurs de détriment s'appliquent à un individu moyen (sexe, région...) exposé de manière homogène à des doses (<0,2 Gy) et débits de dose (<0,1 Gy/h) faibles. Le détriment nominal est un outil de gestion des situations d'exposition mais il ne reflète pas exactement le risque de chaque individu exposé dans des conditions données. La CIPR cherche à affiner ses calculs tout en maintenant son système basé sur un risque nominal. A partir du détriment propre à chaque organe, la CIPR a attribué à chacun d'eux un coefficient tissulaire (W_T) figurant sa radiosensibilité relative au sein du corps entier. Ces facteurs de pondération sont susceptibles d'évoluer sous la conjonction de plusieurs éléments. Le premier est lié aux évolutions scientifiques : nouveaux résultats du suivi de la cohorte japonaise, études d'autres cohortes, revue du modèle dose-effet pour certains cancers, nouvelles études sur l'exposition interne, l'exposition chronique et celle durant l'enfance ; et à l'ajustement des paramètres de calcul du détriment : intégration du risque héréditaire, moyennage des individus, létalité des cancers, estimation de la perte de qualité ou d'espérance de vie, incertitudes... Une autre source d'évolution réside dans la validité du facteur de réduction pour les effets aux faibles doses et débits de dose (DDREF), actuellement de 2, tandis que certains indices suggèrent que l'excès de risque ne serait pas plus faibles pour les expositions chroniques. Enfin, la prise en compte des effets non-cancéreux (cardio-vasculaires, cataractes...) constitue un troisième facteur d'évolution du calcul du détriment mais ces effets restent à évaluer en distinguant plus clairement ce qui relève de la réaction tissulaire ou de l'effet stochastique.

D. Laurier conclut en récapitulant les caractéristiques du système de la CIPR : complet et cohérent mais complexe ; conçu comme un outil de gestion et non dédié à l'évaluation quantitative des risques ; et susceptible d'évoluer.

L'exposé suscite de nombreuses questions. Les incertitudes sur l'ERR apparaissent sur les ordonnées (excès de risque), pas sur les abscisses (dose), pourquoi ? Les doses de la cohorte japonaise (LSS) sont corrigées en fonction de la localisation des personnes de sorte que l'incertitude est déjà intégrée ; cette méthode ancienne a été conservée pour la LSS ; en tout état de cause, l'incertitude sur les abscisses est plus faible que celle sur les ordonnées. L'étude de la LSS n'a démarré qu'en 1950, quid de l'information perdue sur la leucémie ? Il a été procédé à une intégration rétrospective malgré les incertitudes ; ce retard n'a pas eu d'effet sur la prise en compte des cancers solides du fait du temps de latence. La réduction du risque d'effet héréditaire selon la CIPR 103, qui le limite aux 2 premières générations, est surprenante au vu des données sur Tchernobyl portant sur 10 générations de mammifères. Non spécialiste du sujet, D. Laurier répond que la CIPR a suivi l'approche de l'UNSCEAR.

Avec maintenant une quinzaine d'études lancées sur l'effet des scanners en pédiatrie, peut-on envisager une méta-analyse dans un futur proche ? Plusieurs études sur les enfants sont en cours. Celles déjà publiées concluent à une augmentation du risque mais elles comportent des biais (par exemple, absence d'information sur le motif du scanner). En France, une étude sur 130 000 enfants est en cours. En Europe, le projet européen EPI-CT, qui porte sur plus d'un million d'enfants, aura une puissance statistique forte. Les résultats sont attendus en 2016 mais il restera opportun de suivre les enfants sur une plus longue période. Pourquoi la CIPR maintient-elle son DDREF à 2 alors que l'UNSCEAR a retenu 1,5 ? La valeur est restée inchangée en attendant les résultats d'une réflexion en cours au sein de la CIPR. En tout état de cause, la CIPR choisira 1 ou 2 mais pas 1,5. Si les études montrent que la différence entre exposition aiguë ou chronique est faible, le DDREF sera rediscuté. Notons que ces différents points seront également évalués dans une nouvelle version du rapport de l'académie des sciences américaine (BEIR VIII) en cours d'élaboration.

Le système peut-il évoluer vers des coefficients dépendant du sexe ou du statut tabagique ? S'il semble pertinent de faire des études segmentées les plus poussées possibles avant d'intégrer les données en fin de processus pour garder un indicateur synthétique, il est rappelé que l'évaluation quantitative des risques n'est pas l'objectif de la CIPR dont le rôle reste la gestion de ces risques. L'ERR des effets non-cancéreux semble inférieur à celui du cancer, mais le taux de base est important, comment prendre cette donnée en compte ? Il est encore trop tôt pour le dire et cela dépendra des pathologies. Sur le plan mathématique, comment passe-t-on d'un modèle linéaire à un modèle linéaire-quadratique ? Aujourd'hui, un modèle linéaire-quadratique apparaît plus adapté aux leucémies, et les dernières analyses de la LSS suggèrent que cela pourrait aussi être le cas pour les cancers solides. Si ces résultats se confirment, alors cela pourrait être un argument supplémentaire pour la remise en cause du DDREF. Les cancers sont différenciés par organe mais il y a plusieurs types de cancers affectant un même organe, comment le prendre en compte ? Cela reste une question ouverte à ce stade. Comment répondre aux questions sur le risque individuel si le détriment de la CIPR ne permet pas de l'exprimer ? La dose reste un bon indicateur du risque global. Les études

segmentées (âge, sexe, type de cancer...) permettent d'apporter des précisions dans les réponses à faire au cas par cas. Ces modèles de risque ad-hoc doivent être préférés à l'utilisation du détriment dans le cas d'évaluations quantitatives de risque spécifiques.

4. Fondamentaux du système de radioprotection : les doses de rayonnements ionisants et leur utilisation (François Paquet, IRSN)

F. Paquet (vice-président du C2) démarre son exposé par quelques mots sur l'intérêt de la dose. En toxicologie ou en médecine, elle sert à contrôler l'effet ou l'efficacité d'une substance selon le mode d'incorporation. En radioprotection, elle fait la liaison entre une exposition aux RI (aigue, chronique, interne, externe...) et des effets (déterministes ou stochastiques), et elle est déclinée en plusieurs concepts. La grandeur fondamentale est la dose absorbée, qui est le rapport de l'énergie du rayonnement sur la masse de la matière qui le reçoit. Grandeur physique, mesurable, pouvant être exprimée pour tout type de cible (organe, cellule) et spécifique d'une situation d'exposition, elle est utilisée en médecine pour contrôler l'efficacité d'un traitement et limiter les effets secondaires. Cependant, comme elle ne tient compte ni de la toxicité des rayonnements ni de la sensibilité des tissus, elle n'est pas directement liée aux effets. D'où la construction d'une autre grandeur, la dose efficace, qui tient compte des rayonnements et des tissus auxquels ont été attribués des facteurs de pondération (W_R pour les rayonnements et W_T pour les tissus) en fonction, respectivement, de leur toxicité ou de leur sensibilité relatives. Construite sur de nombreuses hypothèses, approximations et simplifications, la dose efficace n'est pas une grandeur physique.

Parmi les hypothèses sur lesquelles repose le concept de dose efficace figure la relation linéaire sans seuil (LNT). Selon cette hypothèse, à faible dose, c'est-à-dire inférieure à celle à partir de laquelle un détriment a été observé pour la LSS, la dose efficace est corrélée de façon linéaire avec la probabilité du détriment (concept qui, on l'a vu, associe la probabilité et la gravité de l'effet). A plus forte dose, le concept de dose efficace n'est a priori pas valide. Ainsi, ce concept ne concerne que les effets stochastiques et il est indissociable de la LNT. En d'autres termes, si la LNT est réfutée, le concept de dose efficace n'a plus lieu d'être. L'additivité des doses est une autre hypothèse importante : à faible dose, la dose efficace est censée correspondre à la somme pondérée des doses équivalentes des organes (cf. W_T) en tenant compte des énergies déposées sur chacun d'eux (cf. W_R). L'hypothèse s'étend à l'additivité des doses espacées dans le temps et des doses internes et externes.

La dose efficace repose aussi sur des approximations. Tout d'abord, la dose absorbée est moyennée sur l'ensemble de l'organe, sauf cas particulier, notamment pour les poumons, le squelette, la peau et le tractus intestinal. Ensuite, les facteurs de pondération pour les différents types de rayonnements (W_R), hors neutrons, sont exprimés en seulement 3 valeurs : 1 pour les photons, électrons et muons, 2 pour les protons et 20 pour les alpha. Ces facteurs de pondérations sont dérivés de l'efficacité biologique relative (EBR) de chaque rayonnement qui varie avec le transfert linéique d'énergie (TEL) propre à chacun d'eux. Les W_R sont utilisés à la place des EBR pour des raisons de simplification, à des seules fins de gestion de la radioprotection. Enfin, pour les mêmes raisons, les facteurs de pondération reflétant la sensibilité des tissus (W_T) sont exprimés en 4 valeurs derrières lesquelles est

regroupé l'ensemble des organes. Ces valeurs sont moyennées selon le sexe et l'âge et généralisées sur toutes les populations.

Enfin, la dose efficace repose sur des simplifications. Le comportement des radionucléides est figuré par des modèles génériques (modèles biocinétiques qui décrivent le trajet du radionucléide incorporé, étape après étape jusqu'à l'élimination, par exemple par excrétion). Les doses sont calculées pour des hommes et femmes de référence, en utilisant des fantômes de référence certes de plus en plus sophistiqués mais qui restent réducteurs par rapport à la réalité. En fin de processus, les doses calculées pour les hommes et les femmes sont combinées de sorte que la dose efficace est le résultat d'une moyenne entre les deux. Au final, la dose calculée n'est pas celle de l'individu suivi mais la dose qu'aurait reçue un individu de référence exposé dans les mêmes conditions. Il convient d'ajouter que les coefficients de dose produits pour les expositions externes et internes sont calculés pour des conditions standard.

Par conséquent, la dose efficace ne peut pas être utilisée pour l'estimation d'un risque individuel ; celui-ci sera apprécié en fonction des caractéristiques de l'individu : sexe, masse, physiologie, sensibilité, antécédents. Elle ne peut pas non plus être utilisée pour l'évaluation des doses en épidémiologie ; il convient pour cela de recourir à la dose absorbée aux organes, pondérée par les EBR adéquats. La dose efficace n'est pas non plus appropriée quand la dose est susceptible de provoquer des réactions tissulaires ou en cas d'irradiation très hétérogène, de contamination par blessure ou de traitement médical. Son utilisation est en revanche pertinente, dans le domaine industriel, pour le calcul prospectif de dose individuelle ou collective à des fins de protection, dans la mise en œuvre du principe d'optimisation, et pour le calcul rétrospectif de la dose individuelle afin de démontrer le respect des limites de dose. Dans le domaine médical, même si elle n'a pas été conçue pour la protection des patients (sensibilité variable et différente de celle des travailleurs et du public), la dose efficace est utilisée pour l'optimisation des actes et le choix des procédures. En situation accidentelle, elle sert à la planification prospective de la réponse, à une première estimation rapide du risque pour le choix des contre-mesures et à une évaluation rétrospective des doses pour traitement éventuel. Dans tous les cas, ce sont des motifs de gestion des expositions.

Face au besoin d'une grandeur alternative pour l'estimation du risque individuel, des développements sont en cours, pas forcément au sein de la CIPR, visant soit une modification du concept actuel de dose efficace, soit la définition d'une nouvelle grandeur dédiée. Toutefois, conclut F. Paquet, les pistes explorées suscitent des réserves au vu des conditions nécessaires : il faut que la LNT soit vraie (ce qui importe peu pour une simple optimisation des expositions), il faut pouvoir tenir compte de la sensibilité individuelle et il faut pouvoir calculer les incertitudes.

La discussion avec la salle porte sur la notion de dose individuelle. Celle-ci n'existe pas, selon certains, dès lors que la dose est calculée pour un individu de référence. D'autres relèvent que la notion de dose individuelle est soit opposée à celle de dose collective, soit utilisée pour désigner la dose affectant l'individu dans son ensemble (dose efficace relative au corps entier par opposition à la dose équivalente à l'organe) ; elle a donc un sens en radioprotection. Toutefois, la dose efficace et la

dose équivalente ont la même unité (Sv) et les auteurs ne précisent pas toujours s'ils parlent de l'une ou de l'autre, ce qui peut être perturbant. Il est aussi précisé que les niveaux de référence diagnostiques sont exprimés en dose absorbée et non efficace. Selon un intervenant, les simplifications de la CIPR à des fins de gestion sont pertinentes mais les rayonnements bêta mou et X de basse énergie mériteraient d'être mieux pris en considération (W_R entre 2 et 4 au lieu de 1 actuellement). F. Paquet rappelle que la simplification nécessite des choix mais que ceux-ci peuvent évoluer.

Selon certains, il y a contradiction entre le choix d'une grandeur de référence non-mesurable pour la gestion des expositions et la fixation de limites de dose infractionnelles sur le plan réglementaire ; ces limites ne devrait-elles pas être exprimées en dose absorbée ? Dans ce cas, est-il répondu, il faudrait de nombreuses limites. En revanche, sur le terrain, il est possible d'utiliser des grandeurs opérationnelles mesurables pour traduire la dose efficace. Une personne s'étonne que la modélisation du corps humain ne puisse être utilisée pour estimer la dose dans les procédures médicales et suggère l'élaboration de coefficients simples pour tenir compte du sexe ou du poids du patient. C'est déjà le cas, répond F. Paquet, mais le résultat n'est pas une dose efficace. Un intervenant du domaine médical confirme l'utilisation de tels outils en pratique, dont les incertitudes ne sont pas suffisantes pour altérer la qualité du diagnostic, tout en reconnaissant que des progrès restent à faire pour les manier correctement.

Quelqu'un rappelle que l'accident de Tchernobyl a marqué un tournant dans le débat sur les concepts de la radioprotection. Alors qu'ils étaient utilisés sans contestation auparavant, les concepts de détriment, de dose collective ou de dose efficace, notamment son utilisation rétroactive, ont été remis en question au vu de certaines estimations de l'impact de l'accident, dans le cadre de débats pas toujours scientifiques. Une dernière intervention vise à noter que la radioprotection déborde désormais du cercle des experts et que les suites de l'accident de Fukushima ont montré la capacité des personnes du public à comprendre, s'approprier et même utiliser les concepts de cette discipline.

5. Fondamentaux du système de radioprotection : structuration du système de radioprotection (Jean-François Lecomte, IRSN)

En remarque introductive de ce troisième et dernier exposé sur les fondamentaux du système de RP, J-F. Lecomte (secrétaire du C4) rappelle que ce système a pour objectif la protection des personnes et de l'environnement contre les expositions aux RI, sans limiter de façon excessive le bénéfice des actions humaines associées à ces expositions. Créée en 1928, la CIPR a construit son système en se focalisant d'abord sur le médical (exposition professionnelle) puis, après la seconde guerre mondiale, sur l'énergie nucléaire en situation normale (les pratiques : CIPR 26, CIPR 60). Les expositions associées à la radioactivité naturelle, héritées d'activités du passé ou résultant d'accidents (les interventions selon la CIPR 60) étaient traitées incidemment tandis qu'elles font l'objet d'une préoccupation accrue aujourd'hui. La CIPR 103 a corrigé le tir en mettant fin au système à double-vitesse reposant sur la distinction pratiques/interventions, au profit d'une approche similaire pour toutes les situations d'exposition maîtrisables : optimisation sous une restriction de dose. Le système

actuel repose sur trois piliers : la science, les valeurs éthiques et sociales, et l'expérience. L'orateur propose de développer les principaux éléments qui le structurent : les situations d'exposition, les catégories d'exposition, les principes de la RP, les critères de dose et les exigences à respecter.

Une situation d'exposition est composée de trois éléments : une source, des voies d'exposition et des personnes exposées. La CIPR en distingue trois types : la situation d'exposition existante (SEE) qui résulte de sources existant déjà quand une décision de protection doit être prise, la situation d'exposition planifiée (SEP) qui implique l'introduction et l'exploitation délibérées de sources utilisées pour leurs propriétés radioactives et la situation d'exposition d'urgence (SEU), situation fortuite résultant de la perte de contrôle d'une source et nécessitant une réaction urgente. Toutes les situations d'expositions sont caractérisées par une distribution des doses individuelles. Elles sont gérées selon la même approche mais avec des nuances dans l'application des principes et des critères de dose (voir ci-après). Le facteur temps est spécifique de chaque type de situation d'exposition. Dans une SEE, la caractérisation de la situation est un préalable à l'action et la réduction des expositions au-dessous du niveau de référence est souvent le résultat d'un long processus. En SEP, les actions de protection peuvent être entreprises à tout moment et elles produisent leurs effets généralement dans l'immédiat. En SEU, l'action doit être mise en œuvre au bon moment pour être efficace, d'où l'importance de la préparation. Une SEP peut conduire à une SEE (ex. : site contaminé), voire à une SEU (accident). Une SEU évolue en SEE en phase post-accidentelle. Mais ni une SEU, ni une SEE ne deviennent une SEP.

La CIPR distingue trois catégories d'exposition. Les expositions médicales sont celles des patients, résultant de procédures diagnostiques, interventionnelles et thérapeutiques ; du fait que le risque et le bénéfice des expositions sont exclusivement pour le patient, elles font l'objet de procédures particulières. Les expositions professionnelles sont celles reçues au travail lorsque la situation d'exposition peut raisonnablement être considérée comme étant de la responsabilité du management, ce qui n'est pas toujours facile à déterminer, en particulier dans les SEE et les SEU. Les expositions du public sont toutes les autres ; elles proviennent de sources naturelles ou artificielles de RI et sont estimées pour une personne représentative des individus les plus exposés. Les trois catégories d'exposition sont traitées séparément dans le système de RP, même si un individu donné peut être exposé à la fois en tant que patient, travailleur et personne du public.

Le système de RP repose sur trois principes fondamentaux. Les deux premiers sont relatifs à la source : la justification (faire plus de bien que de mal) et l'optimisation de la protection (maintenir la probabilité d'occurrence des expositions, le nombre de personnes exposées et l'ampleur des doses individuelles à un niveau aussi bas que raisonnablement possible - ALARA en anglais - compte tenu des facteurs économiques et sociaux). Le troisième, l'application des limites de dose, est relatif à l'individu potentiellement exposé à plusieurs sources et ne s'applique qu'en SEP hors exposition médicale. Le principe le plus important est l'optimisation de la protection, conséquence de la LNT. Il obéit à un processus préventif, continu, itératif, systématique, structuré et cyclique. Il nécessite un engagement de tous ceux chargés de le mettre en œuvre, dans un état d'esprit de questionnement permanent, ainsi que l'implication des parties prenantes (plus ou moins nombreuses selon le cas).

L'effort doit être proportionné au risque, après fixation d'une restriction de dose. Son aboutissement est une dose résiduelle spécifique à la situation, non fixée à l'avance et plus ou moins inférieure à la restriction de dose.

Plusieurs critères de dose sont utilisés dans le système de la CIPR pour restreindre l'exposition. La CIPR 60 établit un modèle de la tolérabilité du risque, qui n'a pas été remis en question par la CIPR 103 mais qui s'applique plutôt aux SEP qu'aux SEE/SEU. Dans ce modèle, la limite de dose représente la frontière entre risque tolérable et risque inacceptable, d'où son statut fort sur le plan juridique. La valeur numérique de la limite recommandée par la CIPR (20 mSv/a en moyenne sur 5 ans pour l'exposition professionnelle et 1 mSv/a pour l'exposition du public) a été reprise par les agences réglementaires (AIEA, Euratom) et par de nombreux Etats. Comme on l'a vu, la limite de dose est applicable uniquement en SEP (hors exposition médicale). Les critères de dose utilisables pour l'optimisation de la protection sont la contrainte de dose (en SEP) et le niveau de référence (en SEE et SEU). Ce sont des niveaux fixés au cas par cas préventivement, au-dessus desquels l'intention est de ne pas aller ou rester et au-dessous desquels l'ambition est de réduire les doses ALARA. Il s'agit du même concept avec une nuance dans leur application rétrospective : en SEP, les doses peuvent être anticipées et la contrainte de dose est censée être respectée ; en SEU et SEE, les aléas peuvent contrarier les prévisions et le niveau de référence servira après coup de simple repère. La CIPR préconise de choisir une contrainte de dose ou un niveau de référence en fonction des caractéristiques de la situation (maîtrise, bénéfique, exigences). L'application de cette restriction permet de réduire l'iniquité en influençant l'ensemble de la distribution des doses dans le cadre de l'optimisation. Ce processus s'effectue par étapes dans le cas des SEU et SEE. Enfin, les exigences de protection doivent être adaptées à la situation d'exposition et à la catégorie d'exposition.

La discussion avec la salle s'engage sur le principe d'optimisation. Sa prééminence est patente pour gérer les expositions médicales et professionnelles mais c'est moins évident pour celles du public en SEP. Pour ces dernières, le critère est la limite de rejet, fixée en application de la meilleure technique disponible (MTD), plutôt que la dose. Le recours à la MTD est dû aux conventions de protection de l'environnement marin. Toutefois, les deux approches ne sont pas incompatibles. Dans la réglementation française, le mot optimisation apparaît peu et le mot contrainte de dose, il est vrai ambigu, a été remplacé par objectif, qui n'a pas le même sens (on s'écarte de la contrainte et on tend vers l'objectif). Mais il est vrai que l'optimisation n'était pas encore clairement affichée comme le principe principal à l'époque où les textes ont été adoptés.

La notion de risque inacceptable est discutable pour certains car l'expression sonne comme un seuil de danger. En réponse, il est dit que la CIPR cherche à mieux qualifier le risque, pas à faire peur. Et, malgré la LNT, il n'est pas possible de dire que l'on ne connaît rien sur les effets aux faibles doses. A partir du moment où une dose est délivrée, la question de l'imputabilité du risque est posée. La CIPR devra aller plus loin sur cette question. La notion de risque inacceptable a été établie sur la base d'une dose de 1 Sv pour la vie professionnelle, soit environ 20 mSv/an, mais aujourd'hui, dans l'esprit de la CIPR, cette notion serait plutôt reliée à une dose de l'ordre de 100 mSv. La CIPR 103 est silencieuse sur la tolérabilité du risque mais le modèle de la CIPR 60 devra être révisé. Certains

s'inquiètent de l'alourdissement de la responsabilité de l'employeur du fait de l'insistance accordée au risque radiologique, ce qui n'est pas le cas dans tous les pays, notamment aux USA. Il est répondu que le droit de savoir, qui est un droit fondamental en matière de risque, vient de la conception anglo-saxonne ; cette approche a donné le consentement éclairé dans le domaine médical. En outre, l'information sur le risque existe aussi en France pour le travailleur exposé qui signe une fiche d'exposition individuelle. L'expérience montre que c'est ceux qui travaillent dans un milieu à risque qui ont tendance à banaliser celui-ci, parfois jusqu'à l'imprudence.

A une question sur la définition des priorités en cas de risque multifactoriel, il est répondu que le système de la CIPR ne prend pas en compte les risques autres que radiologique. Quelqu'un relève que certains critères de dose du système de RP (50 mSv à la thyroïde pour la prise d'iode stable en SEU, soit ≈ 2 mSv en dose efficace) ne semblent pas cohérents avec les recommandations de l'OMS (10^{-6} pour un risque environnemental, soit ≈ 20 μ Sv/a) mais les doses réelles sont en général inférieures au niveau de référence.

Le président conclut la séance en remerciant les orateurs pour la qualité de leurs exposés ainsi que les auditeurs pour la pertinence de leurs questions et en invitant ces derniers à indiquer les aspects du système de RP sur lesquels ils souhaitent que des exposés soient présentés lors de réunions ultérieures.

P.J. :

- 1 - Diapositives de Jacques Lochard (Activités de la CIPR)
- 2 - Diapositives Sylvain Andresz (CIPR - rayonnement cosmique)
- 3 - Diapositives de Dominique Laurier (Risque lié aux RI)
- 4 - Diapositives de François Paquet (Doses de RI)
- 5 - Diapositives de Jean-François Lecomte (Structuration du système)