



Santé
Canada

Health
Canada

Direction générale de la
protection de la santé

Health Protection
Branch

**Recommandations sur
les coefficients de dose à utiliser pour évaluer
les doses provenant de rejets accidentels de
radionucléides dans l'environnement**

*Préparé par un
Groupe de travail mixte formé de représentants
du Bureau de la radioprotection de Santé Canada,
de la Commission de contrôle de l'énergie atomique
et d'Énergie atomique du Canada limitée*

Mars 1999

AVIS au détenteurs de la version du mois d'août 1998

Les corrections typographiques suivantes ont été apportées:

Tableau 2:

Césium

Cs-134 Le coefficient de dose par inhalation (Adulte) a été corrigé à $6.6e-09$ Sv Bq⁻¹

Américium

Am-241 Le coefficient de dose par inhalation (3-mois) a été corrigé à $7.3e-05$ Sv Bq⁻¹

Am-243 Le coefficient de dose par inhalation (3-mois) a été corrigé à $7.2e-05$ Sv Bq⁻¹

Résumé

Le présent rapport résume les recommandations d'un Groupe de travail mixte formé de représentants du Bureau de la radioprotection de Santé Canada, de la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) et d'Énergie atomique du Canada limitée (EACL) chargé d'étudier les paramètres normalisés d'évaluation de la dose à utiliser au Canada.

En 1990, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a publié de nouvelles recommandations sur les principes fondamentaux de la radioprotection (CIPR, 1991). Les changements apportés à la terminologie et à la formulation de l'évaluation du détriment sanitaire de l'exposition aux rayonnements ionisants ont des répercussions directes sur le calcul des coefficients de dose utilisés en radioprotection et dans l'évaluation de la dose. Le Groupe de travail s'était donné comme objectif de passer en revue les paramètres physiologiques humains et les coefficients de dose publiés correspondant aux plus récentes directives de la CIPR et de recommander des valeurs à utiliser par défaut dans les projections et les évaluations ayant trait à la dose. Le but est de rendre l'information facilement accessible à tous les organismes des gouvernements fédéraux et provinciaux responsables de la radioprotection au Canada, ainsi qu'à toutes les installations nucléaires canadiennes, l'objectif étant d'assurer un degré de normalisation reflétant les plus récentes données scientifiques.

Le document renferme les recommandations du Groupe de travail sur les paramètres physiologiques et dosimétriques humains à utiliser dans l'évaluation des doses à court terme à la suite d'un rejet accidentel de contaminants radioactifs dans l'atmosphère lors d'une urgence nucléaire. Il indique les voies d'exposition les plus susceptibles de délivrer la dose la plus élevée de rayonnement dans le cadre d'un tel scénario, soit l'irradiation externe par les photons et les électrons des radionucléides qui se trouvent dans le panache radioactif ou qui se sont déposés sur le sol et l'irradiation interne provenant de l'inhalation de radionucléides aéroportés. Le document fournit en particulier les données suivantes :

- les groupes d'âge et les taux de respiration recommandés pour chacun de ces groupes dans l'évaluation des populations au Canada;
- les coefficients de dose efficace recommandés pour chaque groupe d'âge dans le cas d'une exposition interne par inhalation et d'une exposition externe par l'air et le sol contaminés pour tous les radionucléides d'intérêt;
- des directives sur la façon d'utiliser ces données.

La CIPR a récemment publié les taux de respiration et les coefficients de dose par inhalation pour six groupes d'âge allant des bébés aux adultes (ICRP 1994, 1995b, 1996). Le groupe de travail recommande d'utiliser ces paramètres comme valeurs par défaut dans l'évaluation des doses par inhalation de radionucléides aéroportés.

La CIPR n'a pas encore publié les coefficients de dose spécifiques de chaque radionucléide pour l'irradiation externe par des radionucléides répartis dans l'environnement. Par conséquent, le Groupe de travail a concentré ses efforts sur l'examen des compilations publiées de coefficients de

dose résultant d'une irradiation provenant du panache radioactif et du sol qui reposent sur les plus récentes formulations du risque de la CIPR pour l'évaluation du détriment sanitaire. Le Groupe de travail est arrivé à la conclusion que les coefficients de dose de Eckerman et Leggett (1996) sont les meilleures valeurs disponibles actuellement pour l'évaluation des doses résultant d'une irradiation provenant du panache et du sol. Nous avons inclus dans le présent document une liste exhaustive de ces coefficients de dose externe.

Les paramètres d'évaluation de la dose recommandés dans le présent rapport devraient être utilisés comme valeurs par défaut dans l'évaluation des trois voies importantes associées aux rejets accidentels par des installations nucléaires ou à d'autres accidents radiologiques. Ces paramètres peuvent également s'appliquer à des situations non urgentes, sauf que les scénarios d'exposition et les méthodes de calcul des doses peuvent être différents. Les facteurs modificatifs associés à des scénarios d'exposition différents de ceux qui s'appliquent aux paramètres par défaut débordent du cadre du présent rapport, quoiqu'ils devraient être utilisés au besoin.

Le rapport ne traite pas des méthodes utilisées pour obtenir les concentrations de radionucléides dans l'environnement à partir desquelles les doses sont calculées. D'autres aspects de l'évaluation de la dose, comme les recommandations sur les approches utilisées en modélisation ou les paramètres environnementaux, n'ont pas été examinés par le groupe de travail.

Remerciements

Le Groupe de travail remercie le D^r Keith Eckerman du Dosimetry Research Group, Oak Ridge National Laboratory, à Oak Ridge (Tennessee), pour lui avoir permis de reproduire les coefficients de dose externe tirés du logiciel DCFPAK (ORNL/TM-13347) dans le présent document.

Les commentaires ou suggestions relatives au présent rapport doivent être adressés à :

Président, Groupe de travail sur les paramètres d'évaluation de la dose
Bureau de la radioprotection, Santé Canada
Division des dangers des rayonnements du milieu, AL6302D1
775 Brookfield Rd.
Ottawa (Ontario) K1A 1C1

Table des matières

Résumé	i
Remerciements	ii
INTRODUCTION	1
Calcul de la dose résultant d'un rejet de radionucléides dans l'atmosphère	2
GRANDEURS DOSIMÉTRIQUES	3
VOIES D'EXPOSITION	5
Exposition interne à partir d'une inhalation de radionucléides dans le panache radioactif	5
Paramètres physiologiques humains	6
Coefficients de dose par inhalation	6
Exposition externe à des radionucléides dans le panache radioactif et sur le sol	7
Coefficients de dose de Macdonald et Laverlock (1996)	8
Coefficients de dose de Eckerman et Leggett (1996)	9
Comparaison des ensembles de données de Macdonald-Laverlock et de Eckerman-Leggett	10
Figure 1 Distribution de la fréquence de $DC_{EL}:DC_{ML}$ pour les coefficients de dose pour une irradiation par le panache et le sol	
Figure 2 Ratio de $DC_{EL}:DC_{ML}$ versus DC_{EL}	
Effet du sexe et de l'âge sur les coefficients de dose externe	12
Autres facteurs modificatifs	13
RÉSUMÉ DES PARAMÈTRES D'ÉVALUATION RECOMMANDÉS	13
Tableau 1 Taux de respiration recommandés pour les six groupes d'âge de la CIPR	15
Tableau 2 Coefficients de dose efficace recommandés pour les expositions interne et externe à certains radionucléides	16
RÉFÉRENCES	19
Annexe A : Membres du Groupe de travail	21
Annexe B : Considérations relatives aux chaînes de désintégration des radionucléides et exemples de calcul	22
Annexe C : Compilation des coefficients de débit de dose externe pour l'irradiation provenant du panache et du sol	27

Recommandations sur les coefficients de dose à utiliser pour évaluer les doses provenant de rejets accidentels de radionucléides dans l'environnement

INTRODUCTION

En février 1997, un groupe de travail mixte formé de représentants du Bureau de la radioprotection de Santé Canada (BRP), de la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) et d'Énergie atomique du Canada limitée (EACL) a été mis sur pied pour examiner et recommander un ensemble normalisé de paramètres physiologiques et de coefficients de dose pour l'évaluation des doses de rayonnement que reçoivent les Canadiens. Ces travaux sont le fruit d'initiatives distinctes de la part du BRP et de la CCEA en vue d'intégrer ces données à des modèles servant à évaluer les doses auxquelles le public est exposé à la suite des rejets courants et accidentels de matières radioactives dans l'environnement. On a réalisé qu'il serait très utile d'avoir recours à des données communes, dans la mesure du possible, dans ces modèles et de se baser sur les dernières recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR, 1991). Après discussion, on a décidé de limiter la portée du travail aux paramètres directement applicables à l'évaluation à court terme à la suite d'une urgence nucléaire, compte tenu des différences dans les méthodes utilisées dans les cas d'exposition accidentelle à court terme et d'exposition chronique à long terme (mais certains aspects du travail pourront s'appliquer à cette dernière situation). On trouvera la composition du Groupe de travail mixte dans l'annexe A.

Le présent document renferme les recommandations du Groupe de travail sur les paramètres physiologiques et dosimétriques humains à utiliser dans l'évaluation des doses à court terme après un rejet de matières radioactives dans l'atmosphère en cas d'urgence nucléaire. Plus précisément, on trouvera :

- les groupes d'âge et les taux de respiration recommandés pour chacun de ces groupes dans l'évaluation des populations au Canada;
- les coefficients de dose efficace recommandés pour chaque groupe d'âge dans le cas d'une exposition interne par inhalation et d'une exposition externe par l'air et le sol contaminés pour tous les radionucléides d'intérêt;
- des directives sur la façon d'utiliser ces données.

Étant donné qu'aucune compilation des coefficients de dose externe pour les radionucléides distribués dans l'environnement n'est reconnue internationalement, le Groupe de travail a concentré ses efforts sur l'examen des coefficients de dose publiés relatifs à l'irradiation provenant du panache radioactif et du sol qui reposent sur les plus récentes formulations du risque de la CIPR pour l'évaluation du détriment sanitaire.

En présentant ses recommandations, le Groupe de travail reconnaît que les directives publiées par l'Association canadienne de normalisation, dans sa série de documents N288 sur la radioprotection environnementale (CSA, 1987, 1991), sont amplement utilisées. Le présent rapport n'est pas destiné à remplacer ces documents, mais le Groupe de travail souhaite que les recommandations qui y figurent servent à mettre à jour les paramètres relatifs aux aspects pertinents de l'évaluation de la dose contenus dans les directives de la CSA.

Les valeurs recommandées dans le rapport s'appliquent au calcul de la dose dans les cas de rejets accidentels par des installations nucléaires ou à la suite d'autres accidents radiologiques. Certains aspects du calcul de la dose dans les situations courantes et les situations d'urgence peuvent différer, mais les taux de respiration et les coefficients de dose recommandés dans le rapport s'appliquent à ces deux types d'évaluation.

Calcul de la dose résultant d'un rejet de radionucléides dans l'atmosphère

À la suite d'un rejet de matières radioactives dans l'environnement, que ce soit dans des situations courantes ou accidentelles, l'irradiation du public peut survenir par un certain nombre de voies d'exposition différentes : l'immersion dans le panache radioactif dans l'atmosphère ou dans de l'eau contaminée, l'inhalation de matières radioactives aéroportées, l'irradiation à partir de radionucléides déposés et l'inhalation à la suite de leur remise en suspension dans l'air et l'ingestion d'aliments et d'eau contaminés. Le rapport insiste sur l'évaluation des voies susceptibles de délivrer la dose de rayonnement la plus élevée à court terme à la suite du rejet accidentel de matières radioactives dans l'environnement, soit l'irradiation externe par des photons et des électrons provenant des radionucléides qui se trouvent dans le panache radioactif ou qui se sont déposés sur le sol et l'irradiation interne à la suite d'une inhalation de radionucléides aéroportés.

L'exposition par irradiation externe à partir de radionucléides aéroportés ne se produit que durant le passage du panache radioactif. La période d'exposition varie en fonction de la durée du rejet, des conditions atmosphériques et du temps de séjour des sujets exposés. Les matières déposées sur le sol peuvent donner lieu à une exposition durant et après le passage du panache radioactif. Les matières radioactives inhalées par des sujets immergés dans le panache radioactif peuvent être retenues dans l'organisme et être à l'origine d'une irradiation interne sur une période prolongée.

Dans des conditions d'exposition idéales, le débit de dose efficace pour un sujet exposé à partir de sources externes, $E_{ext}(t)$ (Sv s^{-1}), est généralement exprimé par l'équation suivante :

$$E_{ext}(t) = \chi(t) \times CD_{ext}$$

où $\chi(t)$ est la concentration d'activité du radionucléide au temps t dans l'air (en Bq m^{-3}) ou déposé à la surface du sol (en Bq m^{-2}), et CD_{ext} est le facteur de débit de dose externe instantanée par unité de concentration d'activité, ou le coefficient de dose externe pour le radionucléide en cause (en $\text{Sv s}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{m}^3$ pour une irradiation provenant du panache et en $\text{Sv s}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{m}^2$ pour une irradiation provenant du sol).

Dans le cas de la dose inhalée, le débit de dose efficace engagée (en Sv s⁻¹) est égale à :

$$E_{int}(t) = \chi(t) \times B \times CD_{int}$$

où $\chi(t)$ est la concentration dans l'air, B est le taux de *ventilation*, ou de respiration, du sujet (en m³ s⁻¹) et CD_{int} est le coefficient de dose par unité de radioactivité inhalée, ou le coefficient de dose par inhalation (en Sv Bq⁻¹). La concentration du radionucléide est déterminée à partir de mesures dans l'environnement ou prédite à partir de modèles environnementaux.

Le rapport présente les données physiologiques humaine et les coefficients de dose utilisés dans les équations ci-dessus, soit les coefficients de dose efficace en fonction de l'âge pour les expositions interne et externe et les taux de respiration en fonction de l'âge. Les méthodes de calcul de la concentration d'activité dans les divers milieux ne faisaient pas partie du mandat du Groupe de travail.

Le rapport ne traite pas de la voie par ingestion et ne présente pas de coefficients de dose par ingestion, étant donné que l'exposition due à la consommation d'aliments et d'eau contaminés, même si elle peut être importante dans certains cas, n'est généralement pas considérée comme une urgence immédiate à la suite d'un accident radiologique. On recommande d'utiliser les coefficients de dose présentés dans la publication 72 de la CIPR (ICRP, 1996) dans l'évaluation des doses par ingestion d'aliments et d'eau contaminés.

GRANDEURS DOSIMÉTRIQUES

En 1990, la Commission internationale de protection radiologique a émis des recommandations sur les principes de base de la radioprotection dans sa publication 60 (CIPR, 1991), lesquelles remplacent ses directives précédentes (ICRP, 1977). Dans la nouvelle directive, les changements apportés à la terminologie et à la formulation dans l'évaluation du détriment sanitaire résultant d'une exposition à des rayonnements ont un impact direct sur le calcul des coefficients de dose utilisés en radioprotection et dans l'évaluation de la dose. Les recommandations du présent rapport sont basées sur les définitions et la terminologie de la publication 60 de la CIPR.

La grandeur dosimétrique fondamentale est la dose absorbée, D , en moyenne par un tissu ou un organe. La probabilité que les rayonnements aient des effets varie non seulement avec la dose absorbée, mais également avec le type et le niveau énergétique du rayonnement qui frappe l'organisme ainsi qu'avec la radiosensibilité des tissus et des organes qui reçoivent la dose. Auparavant, la dose absorbée par tous les organes définis, pondérée en fonction de la qualité du rayonnement et de la radiosensibilité du tissu exposé était appelée équivalent de dose efficace, H_E (ICRP, 1977). Des facteurs de pondération représentant la radiosensibilité relative du tissu ou de l'organe irradié ont été définis pour six organes principaux, et des méthodes permettaient de classer les organes auxquels on n'avait pas attribué de valeur explicite. Les facteurs liés à la qualité du rayonnement et les facteurs de pondération calculés pour les tissus et organes utilisés pour définir l'équivalent de dose efficace servaient à caractériser le détriment sanitaire du rayonnement

en termes de risque de cancers mortels et d'anomalies héréditaires dans les deux premières générations.

Dans ses recommandations les plus récentes, la CIPR a modifié la façon de déterminer le détriment sanitaire associé aux divers types et niveaux énergétiques de rayonnement pour différents organes et tissus. Des facteurs de pondération radiologiques et tissulaires ont été définis. Le produit du facteur de pondération radiologique (rayonnement frappant l'organisme) et de la dose absorbée par un organe ou un tissu donné est la dose équivalente pour cet organe ou ce tissu. En multipliant cette dose équivalente par le facteur de pondération tissulaire correspondant et en additionnant les produits pour tous les organes ou tissus on obtient la dose efficace, *E*. L'unité de dose absorbée est le gray (Gy), alors que pour la dose équivalente et la dose efficace, c'est le sievert (Sv).

Bien que la dose efficace soit semblable, en principe, à l'équivalent de dose efficace, le choix des organes contribuant à cette quantité pondérée en fonction du risque et leurs facteurs de pondération ont changé. La CIPR définit maintenant l'organisme humain en fonction de 12 tissus et organes désignés et d'un ensemble secondaire de 10 autres tissus et organes. Des facteurs de pondération tissulaires révisés caractérisent le détriment sanitaire en pondérant les risques de cancers mortels et non mortels, le risque d'anomalies héréditaires sur toutes les générations futures et la perte relative d'espérance de vie dans les cas de cancer mortel ou de trouble héréditaire grave. La CIPR les a choisis pour une population de référence caractérisée par un nombre égal d'individus des deux sexes et une large fourchette d'âges. La CIPR, dans ses publications 69 et 71 (1995a, 1995b) a apporté des révisions mineures à la spécification concernant l'ensemble secondaire de tissus et d'organes.

Dans le cas de l'ingestion de radionucléides, la CIPR a défini la dose efficace engagée comme la somme des intégrales des débits de dose équivalente sur le temps pondérés en fonction de chaque tissu d'un sujet après l'ingestion. La période sur laquelle la dose est calculée est de 50 ans pour les travailleurs, mais elle peut atteindre 70 ans pour les membres du public. Cette quantité est une mesure indirecte du détriment sanitaire total potentiel de l'ingestion d'une matière radioactive pour un individu et sa descendance.

La CIPR a publié des valeurs pour la dose efficace engagée par unité d'absorption d'un radionucléide qui reposent sur les nouvelles formulations du risque dans l'évaluation du détriment sanitaire. La CIPR a appelé ces valeurs « coefficients de dose ». Les publications 67 à 69, 71 et 72 (1994a, 1995, 1995a, 1995b, 1996) renferment des compendiums de coefficients de dose pour l'exposition interne résultant de l'inhalation et de l'ingestion. Un bon nombre de ces valeurs ont été obtenues à l'aide du dernier modèle d'exposition de l'appareil respiratoire en fonction de l'âge de la CIPR et du modèle d'exposition du tube digestif décrit dans la publication 30 de la CIPR (ICRP, 1979); celles obtenues à partir d'anciens modèles biocinétiques ont tenu compte des variations de la taille. Des coefficients de dose interne sont disponibles pour les scénarios d'exposition professionnelle et d'exposition du public.

En ce qui concerne l'exposition externe, Zankl et coll. (1992) ont étudié les effets de la nouvelle formulation du risque de la CIPR sur la dose efficace due à l'irradiation par des photons. Ils ont trouvé que, dans le cas des géométries d'irradiation étudiées, la modification des facteurs de pondération tissulaires se traduit par des doses efficaces plus faibles que les équivalents de dose efficace correspondants pour des photons de plus de 15 keV. Il existe de nombreux tableaux de coefficients de dose externe basés sur la définition précédente d'équivalent de dose efficace de la CIPR (ICRP, 1977), comme le Federal Guidance Report No 12 de la U.S. EPA (Eckerman et Ryman, 1993); toutefois, ces résultats montrent qu'il faut utiliser les valeurs basées sur la nouvelle définition dans l'évaluation de la dose.

La CIPR a récemment publié des coefficients de conversion à utiliser pour la protection contre des expositions externes basés sur un examen des données disponibles (ICRP, 1996a). Ces coefficients correspondent aux dernières recommandations de la CIPR, mais ils s'appliquent principalement à l'irradiation subie dans un contexte professionnel plutôt qu'à celle provenant de radionucléides distribués dans l'environnement. Par conséquent, le Groupe de travail a axé ses travaux sur l'examen des compilations de coefficients de dose publiés pour l'irradiation provenant du panache et du sol reposant sur les formulations de risque actuelles de la CIPR.

VOIES D'EXPOSITION

Exposition interne à partir d'une inhalation de radionucléides dans le panache radioactif

Des sujets immergés dans un panache radioactif peuvent subir une exposition interne à la suite d'une inhalation des matières radioactives aéroportées. Les radionucléides inhalés irradient les tissus de l'appareil respiratoire ainsi que ceux d'autres organes. On détermine la dose efficace engagée pour un sujet au moyen de nombreux facteurs physiques, chimiques et biologiques, notamment la quantité et le type de matière inhalée, son dépôt et sa rétention dans l'appareil respiratoire et le taux de respiration du sujet.

En 1994, la CIPR a publié son nouveau modèle de l'appareil respiratoire dans lequel on retrouve bon nombre des facteurs qui ont un rôle à jouer dans l'évaluation de la dose de radioactivité inhalée (ICRP, 1994). L'un des principaux changements apparus dans ce modèle est le remplacement de la dose moyenne aux poumons qui était utilisée par le calcul explicite de la dose reçue par cinq régions distinctes de l'appareil respiratoire. En outre, le modèle s'applique maintenant explicitement à tous les membres de la population. On y trouve des valeurs de référence pour des paramètres en fonction de l'âge s'appliquant à six groupes d'âge, du bébé jusqu'à l'adulte. La CIPR s'est servie de ce modèle pour calculer des coefficients de dose par inhalation pour un certain nombre de radionucléides.

Paramètres physiologiques humains

L'une des caractéristiques du nouveau modèle de l'appareil respiratoire est l'incorporation de paramètres physiologiques qui influencent le débit et le volume d'air inhalé et exhalé et déterminent la quantité de matière radioactive déposée dans les voies respiratoires, puis éliminée (ICRP, 1994). Pour tenir compte de l'effet de l'âge, la CIPR a défini un certain nombre de paramètres en fonction de l'âge, notamment des valeurs respiratoires de référence comme le taux de *ventilation*, ou de respiration, pour les bébés de 3 mois, les enfants d'un an, de 5 ans, de 10 ans et de 15 ans et les adultes.

Le Groupe de travail a comparé les valeurs de taux de respiration par défaut publiées par la CIPR (ICRP, 1994, 1995b) aux valeurs de référence recommandées par un groupe de travail de Santé Canada (Santé Canada, 1993). Les valeurs de la CIPR sont basées sur des données respiratoires publiées et sur des enquêtes concernant le temps moyen passé à plusieurs niveaux d'effort physique (sommeil, position assise, effort physique léger, effort physique violent) pour divers âges. Les valeurs de Santé Canada sont dérivées des taux de respiration spécifiées pour l'homme de référence par la CIPR (ICRP, 1975) à deux niveaux d'effort, avec certaines corrections pour tenir compte des différences de taille dans la population canadienne. Des valeurs corrigées en fonction de l'âge ont donc été recommandées pour cinq groupes d'âge. Le Groupe de travail a d'abord envisagé d'utiliser les valeurs de Santé Canada qui tentaient de représenter la population canadienne. Toutefois, étant donné que ces valeurs sont basées sur l'homme de référence de la CIPR plutôt que sur des enquêtes chez la population canadienne et qu'elles concernent des groupes d'âge différents de ceux de la classification actuelle de la CIPR, on a conclu que les valeurs de taux de respiration recommandées par la CIPR étaient les plus pertinentes et les plus cohérentes. Le tableau 1 présente ces valeurs de taux de respiration recommandées par groupe d'âge (ICRP, 1995b).

Coefficients de dose par inhalation

La CIPR a calculé les coefficients de dose efficace engagée par inhalation en fonction de l'âge chez les membres du public à l'aide du nouveau modèle de l'appareil respiratoire et les a compilés dans sa publication 72 (1996) pour les radioisotopes de 91 éléments. Les calculs pour le public dans le cas des particules inhalées sont basés sur un diamètre aérodynamique moyen d'activité de 1µm et sur les taux de respiration du tableau 1. Des modèles biocinétiques en fonction de l'âge décrivent la distribution et la rétention dans les tissus et l'excrétion d'une activité systémique pour les radioisotopes de 31 de ces éléments. Pour les radioisotopes des 60 autres éléments, les modèles biocinétiques sont basés sur ceux donnés par la CIPR dans les parties 1 à 4 de sa publication 30 (1979, 1980, 1981, 1988). On a tenu compte des changements en fonction de l'âge pour l'absorption au niveau de l'intestin, pour la masse corporelle et la géométrie du corps et pour les taux d'excrétion urinaire, mais pas pour la biocinétique de l'activité systémique. Les facteurs de pondération tissulaires et radiologiques utilisés pour calculer les coefficients de dose efficace sont ceux qui figurent dans les recommandations de 1990 de la CIPR (CIPR, 1991).

Le Groupe de travail recommande que les coefficients de dose par inhalation compilés dans la publication 72 de la CIPR soient utilisés à titre de normes pour évaluer les doses par inhalation, car il s'agit des plus récentes valeurs reconnues à l'échelle internationale. Ces coefficients de dose ont également été adoptés dans les Normes fondamentales internationales (AIEA, 1996) et dans la directive Euratom (CE, 1996). On recommande également que les doses en fonction de l'âge soient explicitement calculées pour les six groupes d'âge de la CIPR, en utilisant les taux de respiration en fonction de l'âge du tableau 1 comme valeurs par défaut.

Le tableau 2 renferme les coefficients de dose par inhalation pour les radionucléides qui pourraient avoir de l'importance à la suite d'une urgence radiologique; ces valeurs sont basées sur les types d'absorption pulmonaire par défaut (la vitesse d'absorption à partir de l'appareil respiratoire jusqu'aux liquides de l'organisme) recommandés par la CIPR dans les cas où aucune donnée spécifique n'est disponible sur la forme chimique du radionucléide. La CIPR a élaboré une base de données sur CD-ROM ayant fait l'objet d'une assurance de la qualité qui renferme les coefficients de dose par inhalation pour le public et les travailleurs pour toute une gamme de tailles de particules et de temps d'intégration, ainsi que les coefficients par ingestion pour diverses valeurs d'absorption au niveau de l'intestin (ICRP, 1998, sous presse). Il faudra consulter cette base de données, ou la publication 72 de la CIPR dans l'évaluation des doses provenant de radionucléides qui ne figurent pas dans le tableau 2, ou lorsque qu'un facteur d'absorption pulmonaire différent est supposé.

Exposition externe à des radionucléides dans le panache radioactif et sur le sol

Des coefficients de conversion de référence comprenant les dernières recommandations de la CIPR ont récemment été compilés dans la publication 74 de la CIPR (ICRP, 1996a) dans le cas de l'irradiation par un rayonnement monoénergétique. Ces coefficients sont exprimés en dose efficace par unité de kerma¹ de l'air pour plusieurs géométries de champs de rayonnement monoénergétique parallèles et non parallèles applicables à des expositions professionnelles. La CIPR n'a pas compilé de coefficients de dose efficace spécifique des radionucléides pour l'irradiation externe à partir de radionucléides distribués dans l'environnement, sauf des coefficients de débit de dose pour l'exposition d'adultes à des gaz inertes (ICRP, 1996)².

Comme, en pratique, les champs de rayonnement résultant d'une contamination de l'environnement par des radionucléides ne sont pas monoénergétiques, il faut déterminer des coefficients de conversion moyens ou efficaces en faisant l'intégration sur tout le spectre

¹ Kerma : Énergie cinétique libérée par unité de masse — le quotient de dE_{tr} par dm , où dE_{tr} est la valeur d'expectative de la somme des énergies cinétiques initiales de toutes les particules ionisantes chargées libérées par des particules ionisantes non chargées dans un volume de masse dm .

² Un groupe de travail d'un comité de la CIPR sur les coefficients de dose pour l'irradiation externe à partir de radionucléides dans l'environnement a été établi en 1997, mais il n'avait pas encore émis de recommandations au moment de la publication du présent rapport.

énergétique de rayonnement et en faisant la somme de tous les types de rayonnements présents. On peut s'attendre également à des différences de géométrie d'irradiation entre divers champs de rayonnement uniformes et diverses sources de rayonnement distribués dans l'environnement. Enfin, il n'est pas facile de dériver les unités de coefficient de conversion utilisées dans les évaluations de la dose environnementale (dose efficace par unité d'exposition à un radionucléide intégrée dans le temps) à partir de la dose efficace par unité de kerma de l'air. À partir de ces considérations, le Groupe de travail a examiné les compilations existantes des coefficients de dose externe qui reposaient sur les recommandations et les changements figurant dans la publication 60 de la CIPR.

Le Groupe de travail a retenu deux compilations des coefficients de dose pour l'irradiation provenant du panache et le sol en raison de leur complétude, de leur applicabilité et de leur disponibilité. Il s'agit de celle de Macdonald et Laverlock (1996) et de celle de Eckerman et Leggett (1996), cette dernière étant une extension des travaux de Eckerman et Ryman (1993). Les deux compilations sont basées sur la modélisation Monte Carlo de doses dans les organes d'un « fantôme mathématique » résultant des photons et des électrons émis par des radionucléides distribués dans l'air, l'eau, le sol et à la surface du sol.

Coefficients de dose de Macdonald et Laverlock (1996)

L'ensemble de données de Macdonald et Laverlock (1996) est une révision des travaux de Holford (1988, 1989). Holford a calculé les coefficients de dose pour les 24 systèmes d'organes de l'homme de référence (ICRP, 1975) à l'aide des codes EDEFIS de Barnard et D'Arcy (1986) et des facteurs de pondération tissulaires pour 26 tissus publiés par la CIPR (ICRP, 1977); il a également utilisé la dernière recommandation de 0,01 pour le facteur de pondération pour la peau. Sept scénarios d'exposition ont été envisagés, dont les trois voies auxquelles s'est intéressé le Groupe de travail. On trouvera la méthode de calcul détaillée dans Barnard et D'Arcy (1986). Brièvement,

- le débit de dose absorbé pour un élément du milieu au point d'intérêt était calculé et transformé en débit de dose pour un élément de matière équivalent à un tissu à la surface du corps;
- ce débit de dose était multiplié par les ratios de dose aux organes calculés à l'aide des simulations Monte Carlo de l'interaction des photons avec un modèle mathématique d'homme standard, pour déterminer le débit de dose pour chaque organe. Pour les électrons, seule la dose à la peau était calculée;
- l'équivalent de dose efficace était déterminé d'après les coefficients de dose pour chaque organe.

On a calculé la dose externe par immersion dans l'air pour l'homme de référence en posant comme hypothèse une centroïde à 1 m d'une surface dans un volume semi-infini et une densité de l'air de $1,189 \text{ kg m}^{-3}$. On a calculé l'exposition à partir d'une surface du sol contaminée en supposant une distribution bidimensionnelle du radionucléide à la surface, avec un récepteur en forme de disque suspendu en parallèle, à 1,6 m de la surface.

Dans la révision de Macdonald et Laverlock, on a recalculé les coefficients de dose efficace pour les expositions externes en appliquant les nouveaux facteurs de pondération tissulaires de la CIPR aux coefficients de dose aux organes calculés par Holford (1989). Dans certains cas, on s'est écarté légèrement de la directive de la CIPR (ICRP, 1991) dans l'application du facteur de pondération tissulaire à l'ensemble secondaire de tissus. Plus précisément, on n'a pas utilisé la pondération de la CIPR pour l'ensemble secondaire de tissus dans le cas des scénarios d'exposition où l'un des organes de l'ensemble secondaire d'organes recevait une dose équivalente plus élevée que l'un ou l'autre des organes principaux, à partir du principe que ce type de distribution de la dose ne se produit pas dans le cas des expositions externes.

Coefficients de dose de Eckerman et Leggett (1996)

Eckerman et Leggett (1996) et Eckerman et Ryman (1993) ont calculé des coefficients pour l'équivalent de dose efficace et la dose efficace dans le cas des expositions externes basés respectivement sur les spécifications de pondération tissulaires des publications 26 et 60 de la CIPR (ICRP, 1997, CIPR, 1991). Des valeurs conformes à la publication 26 de la CIPR sont apparues dans le Federal Guidance Report 12 de la U.S. Environmental Protection Agency (Eckerman et Ryman, 1993); ces valeurs sont utilisées dans les programmes de radioprotection aux États-Unis. Bien qu'ils n'apparaissent pas dans la directive de l'EPA, des coefficients de dose efficace basés sur les méthodes de la publication 60 de la CIPR ont été calculés à l'aide des mêmes techniques de modélisation et ont été intégrés au logiciel DCFPAK: Dose Coefficient Data File Package (Eckerman et Leggett, 1996). Le Groupe de travail a obtenu cette compilation et la documentation d'accompagnement directement des auteurs.

On trouvera la méthode de calcul détaillée dans Eckerman et Ryman (1993). En voici les trois principales étapes :

- calcul des distributions des rayonnements qui frappent l'organisme pour un certain nombre d'énergies initiales de sources monoénergétiques distribuées dans les milieux environnementaux d'intérêt;
- évaluation du transport et de la répartition dans les organes et tissus de l'organisme de l'énergie des rayonnements par les méthodes de Monte Carlo, pour chacune des énergies initiales considérées;
- calcul de la dose de certains radionucléides aux organes ou aux tissus, en tenant compte de l'énergie et de l'intensité des rayonnements émis durant la transformation nucléaire de ces nucléides.

Dans le cas des photons, les doses aux organes ont été calculées à chacun des 12 niveaux d'énergie de photons monoénergétiques pour les 25 organes d'un fantôme hermaphrodite adulte (Christy et Eckerman, 1987), modifié pour comprendre l'oesophage et pour améliorer la modélisation pour le cou et la thyroïde. Dans le cas des électrons, les valeurs ont été calculées uniquement pour la peau. Les méthodes de calcul ont été choisies pour obtenir une caractérisation exacte de l'énergie et de la dépendance angulaire du champ de rayonnement qui frappe l'organisme. On a également tenu compte de la contribution du rayonnement de freinage (bremsstrahlung) pour tous les modes d'exposition.

Pour chaque niveau d'énergie des photons monoénergétiques, on a calculé les coefficients pour l'immersion dans l'air en supposant un panache semi-infini renfermant un émetteur de photons monoénergétiques distribués uniformément entourant un fantôme humain debout sur le sol à l'interface air-sol, dans les conditions suivantes : humidité relative de 40 %, pression de 760 mmHg, température de l'air de 20 °C et densité de 1,2 kg m⁻³. Les coefficients pour l'irradiation provenant d'une surface de sol contaminée sont basés sur une source isotropique infinie de photons monoénergétiques, située à l'interface air-sol, avec un fantôme humain debout à l'interface.

Comparaison des ensembles de données de Macdonald-Laverlock et de Eckerman-Leggett

Les deux ensembles de coefficients de dose externe ont été comparés en fonction des valeurs calculées pour un certain nombre de radionucléides et de la qualité des modèles qui ont servi à obtenir les valeurs. Les modèles ont été comparés à partir des types de fantômes mathématiques utilisés, des types de processus considérés (p. ex. rayonnement de freinage), des matières signalées par les auteurs ainsi que du type et de la portée des modèles utilisés.

Les ratios des coefficients de dose résultant d'une irradiation provenant du panache et du sol de Macdonald et Laverlock (DC_{ML}) et Eckerman et Leggett (DC_{EL}) ont été calculés pour 108 radionucléides, y compris ceux donnés dans les directives N288.1 et N288.2 de la CSA (CSA 1987, 1991) comme pouvant avoir une importance radiologique dans des conditions normales et accidentelles, ainsi que pour leurs produits de désintégration. Les radionucléides pour lesquels l'une ou l'autre des sources donnait une valeur de zéro ont été exclus de cette comparaison, mais ils ont été considérés dans l'analyse générale des deux ensembles de données.

La figure 1 montre la fréquence des diverses valeurs de $DC_{EL}:DC_{ML}$, lesquelles étaient en grande partie comprises entre 1,00 et 1,25 pour les deux voies d'exposition, ce qui indique que les deux ensembles de données concordent généralement, bien que les valeurs de DC_{EL} aient tendance à être supérieures à celles de DC_{ML} . D'après la figure 2, la meilleure concordance est observée dans le cas des radionucléides qui contribuent la dose efficace la plus élevée par unité de concentration d'activité, soit ceux qui ont le plus d'importance dans les évaluations radiologiques. La différence entre les deux ensembles de données augmente généralement à mesure que le coefficient de dose diminue. Dans certains cas, les valeurs de Macdonald et Laverlock étaient significativement plus élevées que celles de Eckerman et Leggett, notamment dans le cas des émetteurs bêta de faible énergie pour lesquels la dose par unité de concentration d'activité est faible. Les différences observées s'expliquent par les différences que renferment les modèles.

Figure 1 Distribution de la fréquence de $DC_{EL}:DC_{ML}$ pour les coefficients de dose pour une irradiation par le panache et le sol

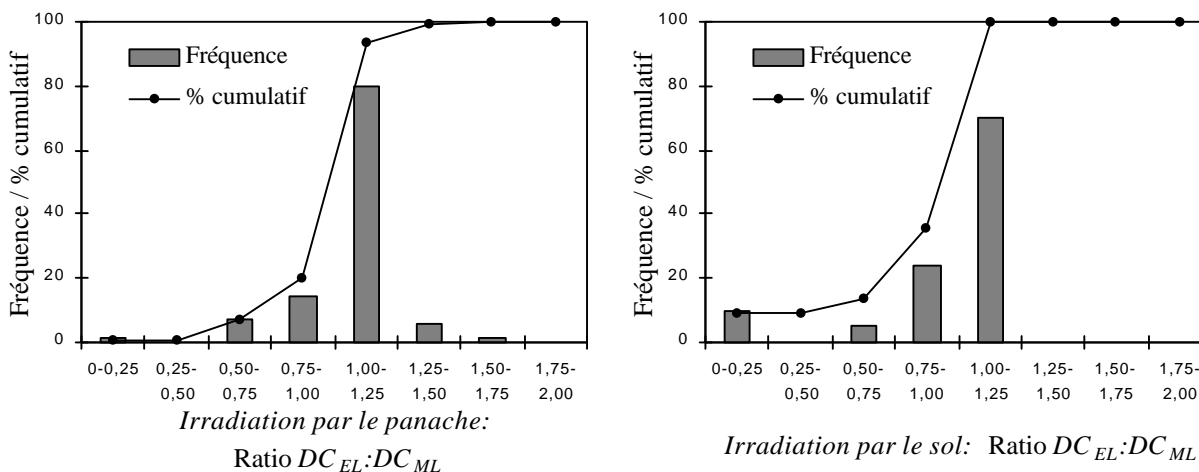
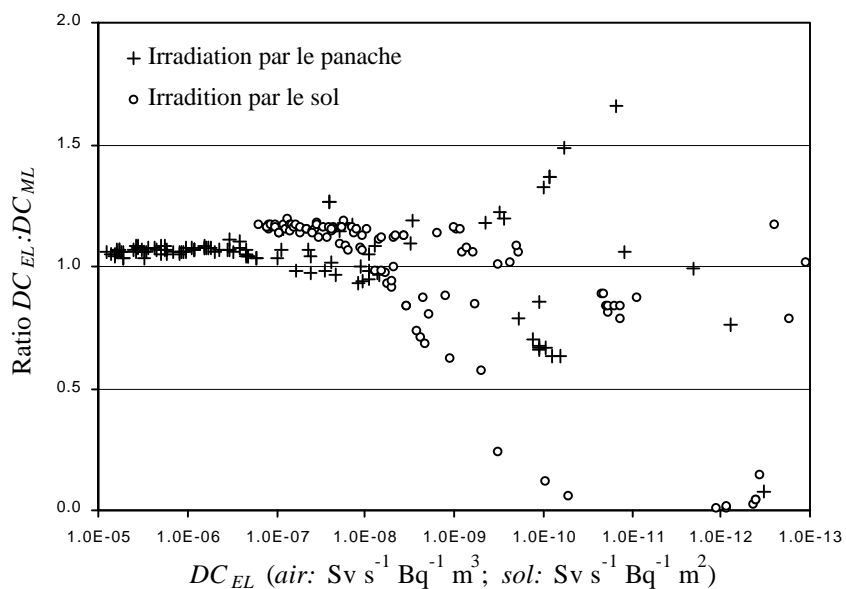


Figure 2 Ratio de $DC_{EL}:DC_{ML}$ versus DC_{EL}



Eckerman et Ryman (1993) ont comparé leurs données avec d'autres résultats publiés et, en général, la concordance était bonne. Les différences ont été attribuées aux différents types de fantômes utilisés et à certaines caractéristiques des modèles informatiques. Comme vérification finale de l'ensemble de données de Eckerman et Leggett, on a comparé leurs coefficients de dose basés sur la publication 26 de la CIPR (ICRP, 1977) à ceux de Kocher (1983). Les valeurs de

Kocher étaient les valeurs recommandées auparavant dans la série de directives N288 de l'Association canadienne de normalisation (CSA, 1987, 1991). Les deux ensembles concordent assez bien, les valeurs de Eckerman et Leggett étant habituellement 10 à 20 % plus élevées que celles de Kocher, ce qui est attribuable encore là au modèle plus perfectionné qu'ils ont utilisé.

À partir de ces considérations, le Groupe de travail a conclu que les coefficients de dose de Eckerman et Leggett (1996) sont les meilleures valeurs disponibles à ce jour pour l'évaluation des irradiations provenant du panache et du sol. Les coefficients de dose externe pour les radionucléides qui pourraient avoir une importance radiologique à la suite d'un accident nucléaire sont donnés dans le tableau 2. L'annexe C renferme une liste exhaustive des coefficients de dose externe reproduits à partir du logiciel de Eckerman et Leggett (DCFPK), lequel logiciel il faudrait consulter pour les coefficients de dose s'appliquant aux radionucléides ne figurant pas dans le tableau 2.

Effet du sexe et de l'âge sur les coefficients de dose externe

Les coefficients de dose équivalente et les coefficients de dose efficace pour les organes présentés par Eckerman et Leggett ont été calculés pour un fantôme adulte anthropomorphe hermaphrodite dérivé de Christy (Christy et Eckerman, 1987), d'après l'homme de référence de la CIPR (ICRP, 1975). On peut s'attendre à ce que les doses soient quelque peu différentes pour des individus de taille et de sexe différents à cause des différences dans le transport des rayonnements dans l'organisme. Par conséquent, le Groupe de travail a révisé la recommandation contenue dans les directives de l'Association canadienne de normalisation pour les calculs de la limite de rejet et a augmenté les valeurs des coefficients de dose externe pour adulte par un facteur de 1,5 lorsque le calcul s'applique à des bébés.

Plusieurs chercheurs, notamment Drexler et coll. (1989), Petoussi et coll. (1991), Yamaguchi (1994) et Schultz et Zoetelief (1997), ont étudié les aspects de la dose externe variant spécifiquement en fonction du sexe et de l'âge. Bien que les coefficients dans ces études soient fréquemment donnés en équivalent de dose efficace (ou en doses efficaces) convertis à partir de valeurs exprimées en kerma de l'air pour des champs de rayonnement de photons monoénergétiques, les conclusions sur les relations en fonction du sexe et de l'âge sont pertinentes. Ces études montrent que la dose que reçoit un organe augmente habituellement en relation inverse avec la taille de l'organisme. Cet effet est plus prononcé pour des photons de faible énergie et pour des organes situés au milieu du corps qui sont protégés par les tissus environnants. Ceci s'applique également aux différences provenant de l'utilisation d'un fantôme hermaphrodite au lieu d'un fantôme sexué, comme l'ont fait observer Eckerman et Ryman (1993).

Petoussi et coll. (1991) ont indiqué que les doses résultant d'une irradiation provenant du panache et du sol que reçoivent les organes d'un bébé peuvent être 40 % plus élevées que chez un homme adulte à des énergies photoniques supérieures à 100 keV. Pour des valeurs inférieures à 100 keV, la différence peut presque atteindre un facteur de 3 dans le cas des organes profonds. Yamaguchi (1994) a calculé des coefficients pour des fantômes anthropomorphes à partir des six groupes d'âge de la CIPR sous 5 géométries d'irradiation. Dans les champs de rayonnement isotrope, les

coefficients de dose efficace pour des bébés de 0 et de 1 an normalisés en kermas dans l'air libre étaient d'environ 20 à 30 % plus élevés que ceux pour les adultes à des énergies supérieures à 115 keV. Pour des énergies plus faibles, les valeurs obtenues pour un bébé pouvaient être près de 3 à 4 fois plus élevées que celles obtenues pour un adulte. Selon Schultz et Zoetelief (1997), les coefficients de dose efficace pour un enfant dans le cas des électrons pouvaient être de 2 à 20 fois plus élevés que ceux d'un adulte à des énergies supérieures à 600 keV. Les différences relatives étaient inférieures à 0,2 % pour des énergies inférieures à 600 keV.

À la lumière de ces résultats, le facteur modificatif de 1,5 recommandé par la CSA (1987) est très prudent pour certains radionucléides et groupes d'âge. Toutefois, étant donné la complexité du calcul des facteurs de correction pour les radionucléides et les groupes d'âge, le Groupe de travail recommande de conserver ce facteur comme valeur par défaut pour les coefficients de dose externe s'appliquant aux deux plus jeunes groupes d'âge de la CIPR (c.-à-d. les bébés de 3 mois et de 1 an). On devrait utiliser les valeurs s'appliquant aux adultes pour les autres groupes d'âge. Il est également recommandé de calculer un facteur plus pertinent lorsque les radionucléides et les spectres de rayonnement auxquels est exposé le groupe d'âge sont connus. Le Groupe de travail a choisi de ne pas recommander de facteur de correction basé sur le sexe.

Autres facteurs modificatifs

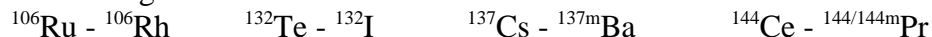
Le Groupe de travail a envisagé la question d'autres facteurs modificatifs comme le facteur de blindage, le facteur d'exposition et le facteur de correction pour un panache fini. Il a été décidé que ces facteurs débordaient du cadre du présent rapport. On pourra trouver ailleurs de plus amples informations sur le sujet, par exemple chez Kocher (1983) et Eckerman et Ryman (1993).

RÉSUMÉ DES PARAMÈTRES D'ÉVALUATION RECOMMANDÉS

Le tableau 1 (ICRP, 1995b) présente les taux de respiration en fonction de l'âge recommandés pour l'estimation des doses par inhalation. Le tableau 2 présente les coefficients de dose recommandés pour les expositions interne et externe aux radionucléides qui devraient être présents en quantités significatives après une urgence radiologique. Cette liste a été harmonisée avec celle présentée dans la directive N288.1 de la CSA (CSA, 1987), bien que nombre de ces radionucléides risquent de ne pas être libérés en quantités significatives dans des situations d'urgence. Les coefficients de dose par inhalation sont tirés de la publication 72 de la CIPR (ICRP, 1996) dans le cas des types d'absorption pulmonaire par défaut et des six groupes d'âge recommandés de la CIPR. Les taux de respiration présentés dans le tableau 1 devraient être utilisés comme valeurs par défaut dans l'évaluation de ces doses. Les coefficients de dose pour une irradiation provenant du panache et du sol chez les adultes sont tirés de Eckerman et Leggett (1996). On devrait les multiplier par un facteur de 1,5 lorsqu'on évalue les doses pour les groupes d'âge de 3 mois et de 1 an.

En général, les coefficients de dose ne reflètent pas la contribution des membres de la chaîne de désintégration radioactive dans l'environnement, mais les coefficients pour l'exposition interne

reflètent la contribution de la chaîne de désintégration. Toutefois, dans la courte liste de radionucléides donnée dans le tableau 2, le Groupe de travail a inclus la contribution des membres de la chaîne de désintégration radioactive aux coefficients de dose externe dans les cas où il est raisonnable de supposer que le radionucléide père et les radionucléides de filiation resteront en équilibre dans l'environnement à la suite de leur libération à partir de la source. La liste comprend les chaînes de désintégration suivantes :



Dans ces cas, il est presque toujours raisonnable de supposer que l'équilibre séculaire entre le radionucléide père et les radionucléides de filiation est maintenu dans le panache radioactif et après le dépôt, à cause de la courte demi-vie des radionucléides de filiation (moins de quelques heures). Dans le cas de ces chaînes de désintégration radioactive, on a obtenu les coefficients de dose externe donnés pour le radionucléide père dans le tableau 2 en multipliant le coefficient de dose pour chacun des radionucléides de filiation par la fraction de désintégration de ce radionucléide dans l'embranchement et en ajoutant cette valeur au coefficient calculé pour le radionucléide père.

Dans la plupart des cas, toutefois, on ne peut pas supposer un équilibre séculaire entre le radionucléide père et les radionucléides de filiation, par exemple pour les chaînes de désintégration complexes d'actinides à longue durée de vie, pour celles faisant intervenir des gaz nobles et des nucléides qui se déposent à des vitesses supérieures à zéro, tels $^{88}\text{Kr} - ^{88}\text{Rb}$ et pour celles dans lesquelles le radionucléide père et les radionucléides de filiation ont une vie raisonnablement longue et des demi-vies similaires (p. ex. $^{95}\text{Zr} - ^{95}\text{Nb}$). Dans ces cas, on ne peut combiner les coefficients de dose pour le radionucléide et sa descendance qu'après avoir considéré les équations décrivant la production et la désintégration des radionucléides de filiation en fonction du temps et les différences de comportement dans l'environnement (Kocher, 1983). L'annexe B renferme des notes sur l'évaluation des doses provenant des membres de la chaîne de désintégration.

Le Groupe de travail a obtenu la permission de reproduire une liste exhaustive de coefficients de dose externe provenant de Eckerman et Leggett (1996), dans l'annexe C, qui devraient s'appliquer à toute une gamme de scénarios d'accident. Cette liste diffère de celle du tableau 2 par le fait que les coefficients de dose externe *ne renferment aucune* contribution de la part de radionucléides de filiation pour aucun radionucléide que ce soit. C'est l'utilisateur qui doit tenir compte de la contribution des membres de la chaîne de désintégration à la dose. Comme dans le tableau 2, seules des valeurs pour les adultes ont été données pour les coefficients de dose externe. Les valeurs dans le cas des bébés doivent être modifiées comme il convient. On obtiendra les coefficients de dose par inhalation en fonction de l'âge pour les radionucléides ne figurant pas sur la liste du tableau 2 en consultant la base de données sur les coefficients de dose de la CIPR sur CD-ROM (ICRP, 1998, sous presse) ou la publication 72 de la CIPR (ICRP, 1996).

Les paramètres d'évaluation de la dose recommandés dans le présent rapport devraient être utilisés comme valeurs par défaut pour l'évaluation des trois voies importantes d'exposition immédiatement après une urgence nucléaire. Toutefois, en appliquant les paramètres

recommandés dans ce rapport, il faut bien comprendre que leur applicabilité à une situation d'exposition particulière est influencée par toutes les conditions qui peuvent différer de celles posées en hypothèses lors de la modélisation. Par exemple, les hypothèses relatives à des concentrations uniformes de radionucléides et à des sources semi-infinies et infinies peuvent ne pas s'appliquer dans certaines conditions et il faudra peut-être alors modifier les coefficients de dose externe en conséquence.

Bien qu'ils débordent du cadre du présent rapport, les facteurs modificatifs qui tiennent compte de changements dans le champ de rayonnement, comme des sources non uniformes ou finies, le blindage ou la rugosité du terrain et les facteurs associés à la durée de l'exposition devraient être utilisés au besoin dans le processus d'évaluation. Il incombe à l'utilisateur de déterminer s'il est pertinent d'avoir recours à ces facteurs dans le cadre d'un scénario d'exposition donné.

Tableau 1 Taux de respiration recommandés pour les six groupes d'âge de la CIPR

Groupe d'âge de la CIPR	Taux de respiration par défaut (m ³ d ⁻¹)
3 mois (0-1 an)	2,86
1 an (1-2 ans)	5,16
5 ans (2-7 ans)	8,72
10 ans (7-12 ans)	15,3
15 ans (12-17 ans)	20,1
Adulte (> 17 ans)	22,2

(Référence: Publication 71 de la CIPR (ICRP, 1995b), tableau 6)

Tableau 2 Coefficients de dose efficace recommandés pour les expositions interne et externe à certains radionucléides

Nucléide		Coefficients de dose par inhalation (Sv Bq ⁻¹)						Coefficients de dose externe ^(a)	
		3 mois	1 an	5 ans	10 ans	15 ans	Adulte	panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³) 5 ans - Adulte	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²) 5 ans - Adulte
a) Particules									
Hydrogène	Composés tritiés	3,4e-10	2,7e-10	1,4e-10	8,2e-11	5,3e-11	4,5e-11	0	0
Carbone	C-14	8,3e-09	6,6e-09	4,0e-09	2,8e-09	2,5e-09	2,0e-09	2,60e-18	1,27e-20
Sodium	Na-24	2,3e-09	1,8e-09	9,3e-10	5,7e-10	3,4e-10	2,7e-10	2,08e-13	3,59e-15
Phosphore	P-32	2,2e-08	1,5e-08	8,0e-09	5,3e-09	4,0e-09	3,4e-09	5,36e-16	8,52e-17
	P-33	6,1e-09	4,6e-09	2,8e-09	2,1e-09	1,9e-09	1,5e-09	1,45e-17	3,64e-20
Soufre	S-35 (inorganique)	5,9e-09	4,5e-09	2,8e-09	2,0e-09	1,8e-09	1,4e-09	3,11e-18	1,33e-20
Scandium	Sc-46	2,8e-08	2,3e-08	1,4e-08	9,8e-09	8,4e-09	6,8e-09	9,36e-14	1,88e-15
Chrome	Cr-51	2,6e-10	2,1e-10	1,0e-10	6,6e-11	4,5e-11	3,7e-11	1,38e-15	2,97e-17
Manganèse	Mn-54	5,2e-09	4,1e-09	2,2e-09	1,5e-09	9,9e-10	8,5e-10	3,83e-14	7,91e-16
Fer	Fe-55	1,9e-09	1,4e-09	9,9e-10	6,2e-10	4,4e-10	3,8e-10	0	0
	Fe-59	1,8e-08	1,3e-08	7,9e-09	5,5e-09	4,6e-09	3,7e-09	5,62e-14	1,10e-15
Cobalt	Co-58	7,3e-09	6,5e-09	3,5e-09	2,4e-09	2,0e-09	1,6e-09	4,44e-14	9,25e-16
	Co-60	4,2e-08	3,4e-08	2,1e-08	1,5e-08	1,2e-08	1,0e-08	1,19e-13	2,30e-15
Zinc	Zn-65	8,5e-09	6,5e-09	3,7e-09	2,4e-09	1,9e-09	1,6e-09	2,72e-14	5,41e-16
Arsenic	As-76	5,1e-09	4,6e-09	2,2e-09	1,4e-09	8,8e-10	7,4e-10	2,06e-14	5,24e-16
Rubidium	Rb-88	1,9e-10	1,2e-10	5,2e-11	3,2e-11	1,9e-11	1,6e-11	3,33e-14	7,41e-16
Strontium	Sr-89	3,3e-08	2,4e-08	1,3e-08	9,1e-09	7,3e-09	6,1e-09	4,37e-16	6,86e-17
	Sr-90	1,5e-07	1,1e-07	6,5e-08	5,1e-08	5,0e-08	3,6e-08	9,83e-17	1,64e-18
Yttrium	Y-90	1,3e-08	8,8e-09	4,2e-09	2,7e-09	1,8e-09	1,5e-09	7,92e-16	1,10e-16
	Y-91	4,3e-08	3,4e-08	1,9e-08	1,3e-08	1,0e-08	8,9e-09	6,22e-16	7,46e-17
Zirconium	Zr-95	2,0e-08	1,6e-08	9,7e-09	6,8e-09	5,9e-09	4,8e-09	3,36e-14	7,04e-16
Niobium	Nb-95	6,8e-09	5,2e-09	3,1e-09	2,2e-09	1,9e-09	1,5e-09	3,49e-14	7,28e-16
Molybdène	Mo-99	6,0e-09	4,4e-09	2,2e-09	1,5e-09	1,1e-09	8,9e-10	6,99e-15	1,78e-16
Ruthénium	Ru-103	1,1e-08	8,4e-09	5,0e-09	3,5e-09	3,0e-09	2,4e-09	2,08e-14	4,49e-16
	Ru-106 ^(b)	1,4e-07	1,1e-07	6,4e-08	4,1e-08	3,1e-08	2,8e-08	1,06e-14	3,45e-16
Argent	Ag-110m	3,5e-08	2,8e-08	1,7e-08	1,2e-08	9,2e-09	7,6e-09	1,27e-13	2,58e-15
Antimoine	Sb-122	8,3e-09	5,7e-09	2,8e-09	1,8e-09	1,3e-09	1,0e-09	2,02e-14	4,85e-16

Nucléide		Coefficients de dose par inhalation (Sv Bq ⁻¹)						Coefficients de dose externe ^(a)	
		3 mois	1 an	5 ans	10 ans	15 ans	Adulte	panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³) 5 ans - Adulte	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²) 5 ans - Adulte
Tellure	Sb-124	3,1e-08	2,4e-08	1,4e-08	9,6e-09	7,7e-09	6,4e-09	8,62e-14	1,70e-15
	Sb-125	2,0e-08	1,6e-08	1,0e-08	6,8e-09	5,8e-09	4,8e-09	1,87e-14	4,09e-16
Iode	Te-132 ^(b)	1,6e-08	1,3e-08	6,4e-09	4,0e-09	2,6e-09	2,0e-09	1,17e-13	2,47e-15
	I-123	8,7e-10	7,9e-10	3,8e-10	1,8e-10	1,1e-10	7,4e-11	6,49e-15	1,53e-16
	I-125	2,0e-08	2,3e-08	1,5e-08	1,1e-08	7,2e-09	5,1e-09	3,73e-16	3,14e-17
	I-129	7,2e-08	8,6e-08	6,1e-08	6,7e-08	4,6e-08	3,6e-08	2,81e-16	1,95e-17
	I-131	7,2e-08	7,2e-08	3,7e-08	1,9e-08	1,1e-08	7,4e-09	1,69e-14	3,64e-16
	I-132	1,1e-09	9,6e-10	4,5e-10	2,2e-10	1,3e-10	9,4e-11	1,05e-13	2,20e-15
	I-133	1,9e-08	1,8e-08	8,3e-09	3,8e-09	2,2e-09	1,5e-09	2,76e-14	6,17e-16
	I-134	4,6e-10	3,7e-10	1,8e-10	9,7e-11	5,9e-11	4,5e-11	1,22e-13	2,53e-15
	I-135	4,1e-09	3,7e-09	1,7e-09	7,9e-10	4,8e-10	3,2e-10	7,54e-14	1,47e-15
	Césium	Cs-134	1,1e-08	7,3e-09	5,2e-09	5,3e-09	6,3e-09	6,6e-09	7,06e-14
Cs-135		1,7e-09	9,9e-10	6,2e-10	6,1e-10	6,8e-10	6,9e-10	9,50e-18	2,69e-20
Cs-136		7,3e-09	5,2e-09	2,9e-09	2,0e-09	1,4e-09	1,2e-09	9,94e-14	2,03e-15
Cs-137 ^(b)		8,8e-09	5,4e-09	3,6e-09	3,7e-09	4,4e-09	4,6e-09	2,55e-14	5,51e-16
Baryum	Ba-140	2,7e-08	2,0e-08	1,1e-08	7,6e-09	6,2e-09	5,1e-09	8,07e-15	1,90e-16
Lanthane	La-140	8,8e-09	6,3e-09	3,1e-09	2,0e-09	1,3e-09	1,1e-09	1,11e-13	2,16e-15
Cérium	Ce-141	1,4e-08	1,1e-08	6,3e-09	4,6e-09	4,1e-09	3,2e-09	3,10e-15	6,93e-17
	Ce-144 ^(b)	1,9e-07	1,6e-07	8,8e-08	5,5e-08	4,1e-08	3,6e-08	3,42e-15	1,82e-16
Prométhium	Pm-147	2,1e-08	1,8e-08	1,1e-08	7,0e-09	5,7e-09	5,0e-09	8,67e-18	2,80e-20
Europium	Eu-152	1,1e-07	1,0e-07	7,0e-08	4,9e-08	4,3e-08	4,2e-08	5,28e-14	1,08e-15
	Eu-154	1,6e-07	1,5e-07	9,7e-08	6,5e-08	5,6e-08	5,3e-08	5,75e-14	1,17e-15
Mercure	Hg-203 (inorganique)	1,0e-08	7,9e-09	4,7e-09	3,4e-09	3,0e-09	2,4e-09	1,04e-14	2,22e-16
Uranium	U-234	1,5e-05	1,1e-05	7,0e-06	4,8e-06	4,2e-06	3,5e-06	6,11e-18	5,86e-19
	U-235	1,3e-05	1,0e-05	6,3e-06	4,3e-06	3,7e-06	3,1e-06	6,46e-15	1,40e-16
	U-238	1,2e-05	9,4e-06	5,9e-06	4,0e-06	3,4e-06	2,9e-06	2,50e-18	4,23e-19
	Neptunium	Np-237	4,4e-05	4,0e-05	2,8e-05	2,2e-05	2,2e-05	2,3e-05	8,87e-16
Plutonium	Np-239	5,9e-09	4,2e-09	2,0e-09	1,4e-09	1,2e-09	9,3e-10	6,95e-15	1,54e-16
	Pu-238	7,8e-05	7,4e-05	5,6e-05	4,4e-05	4,3e-05	4,6e-05	3,50e-18	6,26e-19
	Pu-239	8,0e-05	7,7e-05	6,0e-05	4,8e-05	4,7e-05	5,0e-05	3,48e-18	2,84e-19
	Pu-240	8,0e-05	7,7e-05	6,0e-05	4,8e-05	4,7e-05	5,0e-05	3,42e-18	6,01e-19

Nucléide	Coefficients de dose par inhalation (Sv Bq ⁻¹)						Coefficients de dose externe ^(a)		
	3 mois	1 an	5 ans	10 ans	15 ans	Adulte	panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³) 5 ans - Adulte	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²) 5 ans - Adulte	
Pu-241	9,1e-07	9,7e-07	9,2e-07	8,3e-07	8,6e-07	9,0e-07	6,33e-20	1,72e-21	
Pu-242	7,6e-05	7,3e-05	5,7e-05	4,5e-05	4,5e-05	4,8e-05	2,90e-18	4,98e-19	
Pu-244	7,4e-05	7,2e-05	5,6e-05	4,5e-05	4,4e-05	4,7e-05	2,08e-18	4,16e-19	
Américium	Am-241	7,3e-05	6,9e-05	5,1e-05	4,0e-05	4,0e-05	4,2e-05	6,74e-16	2,33e-17
	Am-243	7,2e-05	6,8e-05	5,0e-05	4,0e-05	4,0e-05	4,1e-05	1,85e-15	4,79e-17
Curium	Cm-242	2,2e-05	1,8e-05	1,1e-05	7,3e-06	6,4e-06	5,2e-06	4,02e-18	7,02e-19
	Cm-244	6,2e-05	5,7e-05	3,7e-05	2,7e-05	2,6e-05	2,7e-05	3,40e-18	6,44e-19
	Cm-247	6,7e-05	6,3e-05	4,7e-05	3,7e-05	3,7e-05	3,9e-05	1,38e-14	2,99e-16
b) Gaz et vapeurs solubles ou réactifs									
Hydrogène	Eau tritiée	6,4e-11	4,8e-11	3,1e-11	2,3e-11	1,8e-11	1,8e-11	0	0
Carbone	Dioxyde de C-14	1,9e-11	1,9e-11	1,1e-11	8,9e-12	6,3e-12	6,2e-12	2,60e-18	1,27e-20
c) Gaz nobles ^(c)									
Argon	Ar-41	-	-	-	-	-	-	6,13e-14	-
Krypton	Kr-85	-	-	-	-	-	-	2,55e-16	-
	Kr-85m	-	-	-	-	-	-	6,83e-15	-
	Kr-87	-	-	-	-	-	-	3,94e-14	-
	Kr-88	-	-	-	-	-	-	9,72e-14	-
Xénon	Xe-131m	-	-	-	-	-	-	3,70e-16	-
	Xe-133	-	-	-	-	-	-	1,39e-15	-
	Xe-133m	-	-	-	-	-	-	1,27e-15	-
	Xe-135	-	-	-	-	-	-	1,11e-14	-
	Xe-135m	-	-	-	-	-	-	1,85e-14	-
	Xe-138	-	-	-	-	-	-	5,44e-14	-

Référence: ICRP (1996), Eckerman et Leggett (1996)

Notes: (a) Les coefficients de dose externe indiqués s'appliquent aux groupes de 5 ans à adulte. Pour les groupes de 3 mois et de 1 an, multiplier les valeurs du tableau 2 par 1,5.

(b) Les coefficients de dose externe pour ces radionucléides comprennent la contribution de la descendance nucléaire, l'équilibre séculaire étant supposé.

(c) Les coefficients de dose externe pour les gaz nobles sont tirés du tableau A.4 de ICRP (1996).

RÉFÉRENCES

- AIEA (1996)** Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et sûreté des sources de rayonnements. Série sur la sûreté n° 115. Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne.
- Barnard J.W., D'Arcy D. (1986)** EDEFIS, programme de calcul de l'équivalent de dose effectif par immersion dans des milieux contaminés. Rapport technique TR-244. Énergie atomique du Canada limitée, Pinawa (Man.).
- CE (1996)** Directive 96/29 EURATOM du Conseil du 13 mai 1996 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants.
- CIPR (1991)** Recommandations de 1990 de la Commission internationale de protection radiologique. Publication 60 de la CIPR (traduction par le gouvernement de la France de 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3), Pergamon Press, Oxford). Disponible sur le site web : <http://web.citi2.fr/RADIO/cipr60.html>.
- Christy M., Eckerman K.F. (1987)** Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources. I. Methods. ORNL/TM-8381/V1. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge TN.
- CSA (1987)** Guidelines for calculating derived release limits for radioactive material in airborne and liquid effluents for normal operation of nuclear facilities. CAN/CSA-N288.1-M87. Canadian Standards Association, Toronto, Ontario.
- CSA (1991)** Guidelines for calculating radiation doses to the public from a release of airborne radioactive material under hypothetical accident conditions in nuclear reactors. CAN/CSA-N288.2-M91. Canadian Standards Association, Toronto, Ontario.
- Drexler G., Eckerl H., Zankl M. (1989)** On the influence of the exposure model on organ doses. Radiat. Protect. Dosim. 28 (3), pp 181-188.
- Eckerman K.F., Leggett R.W. (1996)** DCFPAK: Dose coefficient data file package for Sandia National Laboratory, Oak Ridge National Laboratory Report ORNL/TM-13347. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- Eckerman K.F., Ryman J.C. (1993)** Federal Guidance Report No. 12: External exposure to radionuclides in air, water, and soil. EPA 402-R-93-081. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Radiation and Indoor Air, Washington, DC.
- Santé Canada (1993)** Reference values for Canadian populations. Environmental Health Directorate Working Group on Reference Values. Health Canada, Environmental Health Directive, Ottawa.
- Holford R.M. (1988)** Facteurs de conversion de dose pour l'air, l'eau, le sol et les matériaux de construction. AECL-9825. Énergie atomique du Canada limitée, Pinawa (Man.)
- Holford R.M. (1989)** Supplément aux facteurs de conversion de dose pour l'air, l'eau, le sol et les matériaux de construction. AECL-9825-1. Énergie atomique du Canada limitée, Pinawa (Man.).
- Kocher D.C. (1983)** Dose-rate conversion factors for external exposure to photons and electrons. Health Phys. 45 (3), pp 656-686.
- ICRP (1975)** Report of the Task Group on Reference Man. Publication 23. Pergamon Press, Oxford.
- ICRP (1977)** Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1, No. 3, Pergamon Press, Oxford. Reprinted (with additions) in 1987. Superseded by ICRP Publication 60.
- ICRP (1979)** Limits for intakes of radionuclides by workers. Publication 30, Part 1. Ann. ICRP 2 (3/4), Pergamon Press, Oxford.
- ICRP (1980)** Limits for intakes of radionuclides by workers. Publication 30, Part 2. Ann. ICRP 4 (3/4), Pergamon Press, Oxford.
- ICRP (1981)** Limits for intakes of radionuclides by workers. Publication 30, Part 3. Ann. ICRP 6 (2/3), Pergamon Press, Oxford.

- ICRP (1988)** Limits for intakes of radionuclides by workers: An addendum. Publication 30, Part 4. Ann. ICRP 19 (4), Pergamon Press, Oxford.
- ICRP (1990)** Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 1 . ICRP Publication 56. Ann. ICRP 22 (4), Pergamon Press, Oxford.
- ICRP (1991)** 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3), Pergamon Press, Oxford.
- ICRP (1994)** Human respiratory tract model for radiological protection. Publication 66. Ann. ICRP 24 (1-3), Pergamon Press, Oxford.
- ICRP (1994a)** Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 2 Ingestion dose coefficients. Publication 67. Ann. ICRP 23 (3/4), Pergamon Press, Oxford (1993).
- ICRP (1995)** Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers. Publication 68. Ann. ICRP 24 (4), Pergamon Press, Oxford (1994).
- ICRP (1995a)** Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 3 Ingestion dose coefficients. Publication 69. Ann. ICRP 25 (1), Pergamon Press, Oxford.
- ICRP (1995b)** Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 4 Inhalation dose coefficients. Publication 71. Ann. ICRP 25 (3-4), Pergamon Press, Oxford.
- ICRP (1996)** Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 5 Compilation of ingestion and inhalation dose coefficients. ICRP Publication 72. Ann. ICRP 26 (1), Pergamon Press, Oxford.
- ICRP (1996a)** Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. Publication 74. Ann. ICRP 26 (3/4), Pergamon Press, Oxford.
- ICRP (1998)** The ICRP database of dose coefficients for workers and members of the public. In production, to be distributed by Elsevier Science Ltd.
- Macdonald C.R., Laverlock M. (1996)** External ICRP 60 dose conversion factors for air and water immersion, groundshine and soil. Technical Report TR-739, COG-96-106. Atomic Energy of Canada Limited, Pinawa, MB.
- Petoussi N., Jacob P., Zankl M., Saito K. (1991)** Organ doses for foetuses, babies, children and adults from environmental gamma rays. Radiat. Protect. Dosim. 37 (1), pp 31-41.
- Schultz F.W., Zoetelief J. (1997)** Effective dose per unit fluence calculated for adults and a 7 year old girl in broad antero-posterior beams of monoenergetic electrons of 0.1 to 10 MeV. Radiat. Protect. Dosim. 69 (3), pp 179-186.
- Yamaguchi Y. (1994)** Age-dependent effective doses for external photons. Radiat. Protect. Dosim. 55 (2), pp 123-129.
- Zankl M., Petoussi N., Drexler G. (1992)** Effective dose and effective dose equivalent - the impact of the new ICRP definition for external photon irradiation. Health Phys. 62 (5), pp 395-399.

Annexe A : Membres du Groupe de travail

Le Groupe de travail mixte était formé de représentants du Bureau de la radioprotection de Santé Canada, de la Commission de contrôle de l'énergie atomique et d'Énergie atomique du Canada limitée :

Bureau de la radioprotection, Santé Canada

B.A. Ahier (Président)

B.L. Tracy

Commission de contrôle de l'énergie atomique

G. Poirier

B. Thériault

L. Truong

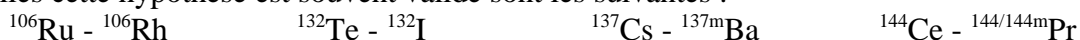
Énergie atomique du Canada limitée

B. Heinmiller

Annexe B : Considérations relatives aux chaînes de désintégration des radionucléides et exemples de calcul

Considérations relatives aux chaînes de désintégration

Dans l'évaluation des doses provenant d'expositions à des radionucléides dans l'environnement, il est important de réaliser que, en général, les coefficients de dose pour les radionucléides ne comprennent pas la contribution due aux membres de la chaîne de désintégration radioactive dans l'environnement, bien que les coefficients de dose pour les expositions internes reflètent la contribution de la chaîne de désintégration dans l'organisme. Dans certains cas, il est raisonnable de supposer que le radionucléide père et les radionucléides de filiation sont en équilibre dans l'environnement après leur libération à partir de la source. Les chaînes de désintégration pour lesquelles cette hypothèse est souvent valide sont les suivantes :



Dans ces cas, il est presque toujours raisonnable de supposer que l'équilibre séculaire est maintenu entre le radionucléide père et les radionucléides de filiation dans le panache radioactif et après le dépôt étant donné la courte demi-vie des radionucléides de filiation (moins de quelques heures). Dans le tableau 2, on a obtenu les coefficients de dose externe pour les radionucléides pères de ces quatre chaînes de désintégration en multipliant le coefficient de dose pour chacun des radionucléides de filiation par la fraction de désintégration de ce radionucléide dans l'embranchement et en ajoutant cette valeur au coefficient calculé pour le radionucléide père.

Dans la plupart des cas, il n'est pas raisonnable de supposer un équilibre séculaire entre le radionucléide père et ses radionucléides de filiation. Mentionnons par exemple les chaînes de désintégration complexes d'actinides à longue durée de vie, celles faisant intervenir des gaz nobles et des nucléides qui se déposent à des vitesses supérieures à zéro, tels $^{88}\text{Kr} - ^{88}\text{Rb}$, et celles dans lesquelles le radionucléide père et les radionucléides de filiation ont une vie raisonnablement longue et des demi-vies similaires (p. ex. $^{95}\text{Zr} - ^{95}\text{Nb}$). Il faut expressément calculer la contribution de chaque membre de la famille en considérant sa production et sa désintégration et toute différence de comportement dans l'environnement avant de combiner les coefficients de dose pour un radionucléide et sa descendance (Kocher, 1983).

L'activité d'un membre de la chaîne de désintégration au temps t , causée par la décroissance et la croissance radioactives est décrite par les équations de Bateman (CRC, 1982; CSA, 1991; Eckerman et Ryman, 1993). En utilisant ces équations, on obtient l'activité au temps t des divers membres de la chaîne, $A_j(t)$, à partir de la désintégration d'une quantité initiale du radionucléide père, A_j^0 (Eckerman et Ryman, 1993)³ :

³ Les équations B.1 et B.2 renferment un facteur de correction dans λ_{j+1} établi à partir de celui utilisé par Eckerman et Ryman (1993) dans leurs équations A.2 et A.3.

$$A_i(t) = A_1^0 \left(\prod_{j=1}^{i-1} (f_{j,j+1} \lambda_{j+1}) \right) \sum_{j=1}^i \frac{e^{-\lambda_j t}}{\prod_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^i (\lambda_k - \lambda_j)} \quad (\text{B.1})$$

où

$$\prod_{i=1}^n a_i = \begin{cases} a_1 \times a_2 \times \dots \times a_n, & \text{if } n \geq 1 \\ 1, & \text{si } n = 0 \end{cases}$$

et

$$\begin{aligned} f_{j,j+1} &= \text{rendement fractionnaire du membre } j+1 \text{ à partir du membre } j \text{ de la chaîne} \\ \lambda_j &= \text{constante de désintégration du radionucléide } j. \end{aligned}$$

Dans le cas d'une exposition due à l'immersion dans un panache radioactif ou à l'inhalation de ce panache, on peut multiplier l'activité calculée à l'aide de l'équation B.1 par le coefficient approprié de dose pour l'irradiation provenant du panache ou par le coefficients de dose par inhalation et le taux de respiration pour obtenir le débit de dose efficace pour chaque radionucléide au temps t . La dose efficace est l'intégrale du débit de dose sur la période d'intérêt. En supposant que les concentrations des radionucléides demeurent constantes au cours de la période d'exposition (le temps de passage du panache), on peut déterminer la dose efficace en multipliant le débit de dose par le temps d'exposition, T , et en additionnant la contribution de chaque radionucléide.

Dans le cas de la contamination du sol, où la décroissance et la croissance radioactives sont plus importantes étant donné que la période d'exposition risque d'être plus longue, il n'est habituellement par justifié de supposer que les concentrations de radionucléides demeurent constantes. Dans ce cas, on peut calculer la dose efficace en intégrant l'équation B.1 sur la période d'exposition et en appliquant les coefficients appropriés de dose pour une irradiation provenant du sol. Dans le cas d'un seul incident de contamination résultant d'une concentration d'activité à la surface du sol de A_1^0 , on obtient la dose efficace, $E(\text{Sv})$, sur une période d'exposition T , par l'équation suivante (Eckerman et Ryman, 1993)

$$E = A_1^0 \sum_{i=1}^n \left\{ DC_{ext,i} \left(\prod_{j=1}^{i-1} (f_{j,j+1} \lambda_{j+1}) \right) \sum_{j=1}^i \frac{1 - e^{-\lambda_j T}}{\lambda_j \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^i (\lambda_k - \lambda_j)} \right\} \quad (\text{B.2})$$

où $DC_{ext,i}$ est le coefficient de dose pour une irradiation provenant du sol pour le radionucléide i .

Dans le scénario le plus général où les activités initiales des radionucléides de filiation $A_2^0, A_3^0 \dots A_n^0 \neq 0$, on peut calculer la contribution de chaque membre dont l'activité n'est pas égale à zéro à partir des équation B.1 et B.2 en remplaçant A_1^0 par le radionucléide A_i^0 comme radionucléide père de la sous-chaîne. On peut obtenir des données sur les caractéristiques de la décroissance nucléaire, notamment les produits de la décroissance radioactive et les rendements fractionnaires,

de plusieurs sources, par exemple ICRP (1993), Eckerman et coll. (1993) et Eckerman et Leggett (1996).

Les équations B.1 et B.2 s'appliquent aux scénarios particuliers décrits ci-dessus et ne tiennent compte que des changements de concentration d'activité dus aux transformations de la décroissance nucléaire. Comme on l'a déjà mentionné, il faut tenir compte des changements dus aux différences au niveau du comportement dans l'environnement au besoin. Les recommandations sur ce sujet ne faisaient pas partie du mandat du Groupe de travail.

Exemples de calcul

Les exemples suivants ont pour but d'illustrer comment utiliser l'information contenue dans le présent rapport dans l'évaluation des doses efficaces aux individus exposés.

Exemple 1 :

La concentration de ^{137}Cs dans l'atmosphère à la suite du rejet accidentel à partir d'un établissement est évaluée à environ 100 Bq m^{-3} . Le temps d'exposition est estimé à 3 heures. Déterminez la dose efficace à un adulte qui est immergé dans le panache radioactif et qui en inhale l'air, en posant l'hypothèse d'un équilibre entre le ^{137}Cs et son radionucléide de filiation, le $^{137\text{m}}\text{Ba}$.

D'après le tableau 1, le taux de respiration d'un adulte est $22,2 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. D'après le tableau 2, les coefficients de dose par inhalation et pour l'irradiation provenant du panache pour le ^{137}Cs sont :

exposition par inhalation :	$4,6 \times 10^{-9} \text{ Sv Bq}^{-1}$
irradiation provenant du panache :	$2,55 \times 10^{-14} \text{ Sv s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ m}^3$

Le coefficient de dose pour l'irradiation provenant du panache comprend la contribution du $^{137\text{m}}\text{Ba}$ en équilibre avec le ^{137}Cs .

La dose efficace est le produit du débit de dose et de la durée de l'exposition. Dans le cas d'une immersion, la dose efficace reçue durant le passage du panache est donnée par l'équation :

$$\begin{aligned} E_{imm} &= (DC_{imm} C_{Cs}) t \\ &= 2,55 \times 10^{-14} \text{ Sv s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ m}^3 \times 100 \text{ Bq m}^{-3} \times 3 \text{ h} \times 3600 \text{ s h}^{-1} \\ &= 2,8 \times 10^{-8} \text{ Sv} \end{aligned}$$

Si l'hypothèse de l'équilibre n'était pas valide, la contribution des deux radionucléides à la dose externe devrait être calculée séparément à l'aide des coefficients de dose tirés de l'annexe C.

Dans le cas de l'inhalation, la dose efficace engagée durant le passage du panache radioactif est donnée par :

$$\begin{aligned}
 E_{inh} &= (DC_{inh,Cs} C_{Cs} B_{adulte}) t \\
 &= 4,6 \times 10^{-9} \text{ Sv Bq}^{-1} \times 100 \text{ Bq m}^{-3} \times 22,2 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} \times 3 \text{ h} \times 0,04167 \text{ d h}^{-1} \\
 &= 1,3 \times 10^{-6} \text{ Sv}
 \end{aligned}$$

Exemple 2 :

Supposons qu'un dépôt de ^{95}Zr à partir d'un panache radioactif résulte en une contamination uniforme de la surface du sol de $1\,000 \text{ Bq m}^{-2}$. Calculez la dose efficace à un adulte au cours du premier mois d'exposition, en posant comme hypothèse que l'exposition est continue et que la décroissance radioactive est le seul mécanisme par lequel la contamination est éliminée.

La dose efficace est l'intégrale du débit de dose dû à la désintégration de ^{95}Zr et de ses radionucléides de filiation, $^{95\text{m}}\text{Nb}$ et ^{95}Nb , que l'on suppose absents à l'origine. Les fractions d'embranchement pour les transformations ($f_{j,j+1}$) sont 0,993 pour $^{95}\text{Zr} \rightarrow ^{95}\text{Nb}$, 0,007 pour $^{95}\text{Zr} \rightarrow ^{95\text{m}}\text{Nb}$ et 1,0 pour $^{95\text{m}}\text{Nb} \rightarrow ^{95}\text{Nb}$. On peut, par approximation, supposer que $f=1$ pour la transformation de ^{95}Zr à ^{95}Nb et ignorer la contribution de $^{95\text{m}}\text{Nb}$.

Dans cet exemple, les coefficients pour l'irradiation provenant du sol pour ^{95}Zr et ^{95}Nb sont traités séparément. Dans l'annexe C, les coefficients de dose pour l'irradiation provenant du sol pour un adulte sont :

$$\begin{aligned}
 ^{95}\text{Zr} &: 7,04 \times 10^{-16} \text{ Sv s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ m}^2 \\
 ^{95}\text{Nb} &: 7,28 \times 10^{-16} \text{ Sv s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Les constantes de désintégration pour les deux radionucléides sont :

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\text{Zr}95} &= \ln 2 / T_{1/2} \\
 &= 0,693 / (63,98 \text{ d} \times 86\,400 \text{ s d}^{-1}) \\
 &= 1,25 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\text{Nb}95} &= \ln 2 / (35,15 \text{ d} \times 86\,400 \text{ s d}^{-1}) \\
 &= 2,28 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}
 \end{aligned}$$

En appliquant l'équation B.2, on obtient la dose efficace pour l'irradiation provenant du sol:

$$E_{sol} = A_{\text{Zr}95}^0 \left\{ DC_{\text{Zr}95} \frac{1 - e^{-\lambda_{\text{Zr}95} T}}{\lambda_{\text{Zr}95}} + DC_{\text{Nb}95} \frac{f_{\text{Zr-Nb}} \lambda_{\text{Nb}95}}{(\lambda_{\text{Nb}95} - \lambda_{\text{Zr}95})} \left[\frac{1 - e^{-\lambda_{\text{Zr}95} T}}{\lambda_{\text{Zr}95}} - \frac{1 - e^{-\lambda_{\text{Nb}95} T}}{\lambda_{\text{Nb}95}} \right] \right\}$$

En remplaçant dans cette équation les valeurs définies ci-dessus, on obtient la valeur de $1,97 \times 10^{-6} \text{ Sv}$ comme dose efficace au cours des 30 premiers jours suivant le dépôt de la radioactivité. Si l'on voulait inclure l'embranchement $^{95}\text{Zr} \rightarrow ^{95\text{m}}\text{Nb} \rightarrow ^{95}\text{Nb}$, d'autres termes s'ajouteraient à l'équation, mais dans cet exemple ils sont insignifiants.

Références

- CRC (1982)** CRC Handbook of Radiation Measurement and Protection, Section A, Volume II: Biological and Mathematical Information. CRC Press Inc, pp 244-249.
- CSA (1991)** Guidelines for calculating radiation doses to the public from a release of airborne radioactive material under hypothetical accident conditions in nuclear reactors. CAN/CSA-N288.2-M91. Canadian Standards Association, Toronto, Ontario.
- Eckerman K.F., Westfall R.J., Ryman J.C., Cristy M. (1993)** Nuclear decay data files of the Dosimetry Research Group. ORNL/TM-12350. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- Eckerman K.F., Ryman J.C. (1993)** Federal Guidance Report No. 12: External exposure to radionuclides in air, water, and soil. EPA 402-R-93-081. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Radiation and Indoor Air, Washington, DC.
- Eckerman K.F., Leggett R.W. (1996)** DCFPAK: Dose coefficient data file package for Sandia National Laboratory, ORNL/TM-13347. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- ICRP (1983)** Radionuclide Transformations: Energy and intensity of emissions. Publication 38. Ann. ICRP Vols. 11-13, Pergamon Press, Oxford.

Annexe C : Compilation des coefficients de débit de dose externe pour l'irradiation provenant du panache et du sol

Cette Annexe est accessible sous format électronique (ASCII, espace-délimité) sur le site Internet de Santé Canada: <http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/dhm/brp/enviro/effets/index.htm>

Référence :

ICRP (1996) pour les gaz nobles

Eckerman et Leggett (1996) pour les particules (reproduit avec la permission des auteurs).

Notes relative à l'application des coefficients :

Les coefficients de dose externe s'appliquent aux groupes d'âge de 5 ans à adulte. Pour les groupes d'âge de 3 mois et de 1 an, il faut multiplier les valeurs par 1,5 (facteur de correction par défaut).

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
Gaz nobles				
Argon	Ar-37	35.0 j	4,75e-20	-
	Ar-39	269 a	1,27e-16	-
	Ar-41	1.83 h	6,13e-14	-
Krypton	Kr-74	11.5 min	5,21e-14	-
	Kr-76	14.8 h	1,85e-14	-
	Kr-77	74.7 min	4,51e-14	-
	Kr-79	1.46 j	1,12e-14	-
	Kr-81	2.10E+05 a	2,43e-16	-
	Kr-83m	1.83 h	2,43e-18	-
	Kr-85	10.7 a	2,55e-16	-
	Kr-85m	4.48 h	6,83e-15	-
	Kr-87	1.27 h	3,94e-14	-
	Kr-88	2.84 h	9,72e-14	-
Xénon	Xe-120	40.0 min	1,74e-14	-
	Xe-121	40.1 min	8,68e-14	-
	Xe-122	20.1 h	2,20e-15	-
	Xe-123	2.08 h	2,78e-14	-
	Xe-125	17.0 h	1,08e-14	-
	Xe-127	36.4 j	1,12e-14	-
	Xe-129m	8.0 j	9,38e-16	-
	Xe-131m	11.9 j	3,70e-16	-
	Xe-133m	2.19 j	1,27e-15	-
	Xe-133	5.24 j	1,39e-15	-
	Xe-135m	15.3 min	1,85e-14	-
	Xe-135	9.10 h	1,11e-14	-
	Xe-138	14.2 min	5,44e-14	-
Particules				
Hydrogène	H-3	12.3 a	0,00e+00	0,00e+00
Béryllium	Be-7	53.3 j	2,19e-15	4,72e-17
	Be-10	1.60E+06 a	1,38e-16	3,41e-18
Carbone	C-11	0.340 h	4,56e-14	1,01e-15
	C-14	5.73E+03 a	2,60e-18	1,27e-20
Fluor	F-18	1.83 h	4,56e-14	9,82e-16
Sodium	Na-22	2.60 a	1,02e-13	2,05e-15
	Na-24	15.0 h	2,08e-13	3,59e-15

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
Magnesium	Mg-28	20.9 h	6,38e-14	1,26e-15
Aluminium	Al-26	7.16E+05 a	1,28e-13	2,47e-15
	Al-28	2.24 min	8,87e-14	1,71e-15
Silicium	Si-31	2.62 h	4,83e-16	7,14e-17
	Si-32	4.50E+02 a	8,68e-18	2,50e-20
Phosphore	P-30	2.499 min	4,68e-14	1,13e-15
	P-32	14.3 j	5,36e-16	8,52e-17
	P-33	25.4 j	1,45e-17	3,64e-20
Soufre	S-35	87.4 j	3,11e-18	1,33e-20
Chlore	Cl-36	3.01E+05 a	1,66e-16	1,12e-17
	Cl-38	0.620 h	7,58e-14	1,43e-15
	Cl-39	0.927 h	6,90e-14	1,41e-15
Potassium	K-38	7.636 min	1,56e-13	2,97e-15
	K-40	1.28E+09 a	7,92e-15	2,04e-16
	K-42	12.4 h	1,48e-14	3,98e-16
	K-43	22.6 h	4,35e-14	9,41e-16
	K-44	0.369 h	1,14e-13	2,12e-15
	K-45	0.333 h	9,20e-14	1,76e-15
Calcium	Ca-41	1.40E+05 a	0,00e+00	0,00e+00
	Ca-45	163 j	1,53e-17	3,77e-20
	Ca-47	4.53 j	5,06e-14	1,00e-15
	Ca-49	8.716 min	1,66e-13	2,67e-15
Scandium	Sc-43	3.89 h	4,88e-14	1,07e-15
	Sc-44	3.93 h	9,87e-14	2,08e-15
	Sc-44m	2.44 j	1,24e-14	2,62e-16
	Sc-46	83.8 j	9,36e-14	1,88e-15
	Sc-47	3.35 j	4,67e-15	9,97e-17
	Sc-48	1.82 j	1,57e-13	3,11e-15
	Sc-49	0.956 h	7,16e-16	1,02e-16
Titanium	Ti-44	47.3 a	4,70e-15	1,18e-16
	Ti-45	3.08 h	3,89e-14	8,66e-16
Vanadium	V-47	0.543 h	4,49e-14	1,05e-15
	V-48	16.2 j	1,36e-13	2,72e-15
	V-49	330 j	0,00e+00	0,00e+00
Chrome	Cr-48	23.0 h	1,87e-14	4,04e-16
	Cr-49	0.702 h	4,68e-14	1,07e-15
	Cr-51	27.7 j	1,38e-15	2,97e-17
Manganèse	Mn-51	0.770 h	4,51e-14	1,07e-15
	Mn-52	5.59 j	1,62e-13	3,22e-15
	Mn-52m	0.352 h	1,13e-13	2,36e-15
	Mn-53	3.70E+06 a	0,00e+00	0,00e+00
	Mn-54	312 j	3,83e-14	7,91e-16
	Mn-56	2.58 h	8,16e-14	1,62e-15
Fer	Fe-52	8.28 h	3,27e-14	7,11e-16
	Fe-55	2.70 a	0,00e+00	0,00e+00
	Fe-59	44.5 j	5,62e-14	1,10e-15
	Fe-60	1.00E+05 a	1,79e-18	1,17e-20
Cobalt	Co-55	17.5 h	9,16e-14	1,93e-15
	Co-56	78.7 j	1,73e-13	3,23e-15
	Co-57	271 j	4,97e-15	1,08e-16
	Co-58	70.8 j	4,44e-14	9,25e-16

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
	Co-58m	9.15 h	6,06e-20	6,65e-21
	Co-60	5.27 a	1,19e-13	2,30e-15
	Co-60m	0.174 h	2,00e-16	4,38e-18
	Co-61	1.65 h	3,74e-15	1,29e-16
	Co-62m	0.232 h	1,30e-13	2,58e-15
Nickel	Ni-56	6.10 j	7,82e-14	1,62e-15
	Ni-57	1.50 j	9,12e-14	1,76e-15
	Ni-59	7.50E+04 a	0,00e+00	0,00e+00
	Ni-63	96.0 a	0,00e+00	0,00e+00
	Ni-65	2.52 h	2,67e-14	5,69e-16
	Ni-66	2.27 j	1,06e-17	2,83e-20
Cuivre	Cu-60	0.387 h	1,87e-13	3,64e-15
	Cu-61	3.41 h	3,72e-14	8,21e-16
	Cu-62	9.74 min	4,60e-14	1,11e-15
	Cu-64	12.7 h	8,50e-15	1,83e-16
	Cu-66	5.10 min	4,89e-15	2,03e-16
	Cu-67	2.58 j	4,90e-15	1,05e-16
Zinc	Zn-62	9.26 h	1,92e-14	4,15e-16
	Zn-63	0.635 h	5,00e-14	1,16e-15
	Zn-65	244 j	2,72e-14	5,41e-16
	Zn-69	0.950 h	1,99e-16	2,08e-17
	Zn-69m	13.8 h	1,84e-14	3,98e-16
	Zn-71m	3.92 h	6,99e-14	1,54e-15
	Zn-72	1.94 j	6,17e-15	1,34e-16
Gallium	Ga-65	0.253 h	5,28e-14	1,21e-15
	Ga-66	9.40 h	1,23e-13	2,25e-15
	Ga-67	3.26 j	6,49e-15	1,41e-16
	Ga-68	1.13 h	4,29e-14	9,99e-16
	Ga-70	0.353 h	8,40e-16	8,48e-17
	Ga-72	14.1 h	1,31e-13	2,48e-15
	Ga-73	4.91 h	1,39e-14	3,35e-16
Germanium	Ge-66	2.27 h	3,00e-14	6,50e-16
	Ge-67	0.312 h	6,45e-14	1,46e-15
	Ge-68	288 j	1,01e-19	4,10e-20
	Ge-69	1.63 j	3,99e-14	8,39e-16
	Ge-71	11.8 j	1,02e-19	4,15e-20
	Ge-75	1.38 h	1,78e-15	7,20e-17
	Ge-77	11.3 h	4,98e-14	1,09e-15
	Ge-78	1.45 h	1,23e-14	2,67e-16
Arsenic	As-69	0.253 h	4,61e-14	1,11e-15
	As-70	0.876 h	1,92e-13	3,90e-15
	As-71	2.70 j	2,53e-14	5,42e-16
	As-72	1.08 j	8,26e-14	1,81e-15
	As-73	80.3 j	1,55e-16	5,18e-18
	As-74	17.8 j	3,40e-14	7,47e-16
	As-76	1.10 j	2,06e-14	5,24e-16
	As-77	1.62 j	5,09e-16	1,41e-17
	As-78	1.51 h	6,03e-14	1,29e-15
Sélénium	Se-70	0.683 h	4,40e-14	9,98e-16
	Se-73	7.15 h	4,78e-14	1,07e-15
	Se-73m	0.650 h	1,09e-14	2,52e-16

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
Sélénium	Se-75	120 j	1,68e-14	3,61e-16
	Se-77m	17.45 s	3,63e-15	7,77e-17
	Se-79	6.50E+04 a	3,94e-18	1,64e-20
	Se-81	0.308 h	8,69e-16	8,14e-17
	Se-81m	0.954 h	5,48e-16	1,26e-17
	Se-83	0.375 h	1,14e-13	2,29e-15
Brome	Br-74	0.422 h	2,26e-13	4,05e-15
	Br-74m	0.691 h	1,96e-13	3,82e-15
	Br-75	1.63 h	5,43e-14	1,22e-15
	Br-76	16.2 h	1,26e-13	2,44e-15
	Br-77	2.33 j	1,40e-14	2,99e-16
	Br-80	0.290 h	3,73e-15	1,04e-16
	Br-80m	4.42 h	2,37e-16	1,37e-17
	Br-82	1.47 j	1,21e-13	2,48e-15
	Br-83	2.39 h	5,34e-16	2,86e-17
Br-84	0.530 h	9,02e-14	1,67e-15	
Rubidium	Rb-79	0.382 h	6,08e-14	1,38e-15
	Rb-80	34 s	5,77e-14	1,38e-15
	Rb-81	4.58 h	2,73e-14	5,98e-16
	Rb-81m	0.533 h	1,63e-16	4,91e-18
	Rb-82	1.3 min	5,01e-14	1,20e-15
	Rb-82m	6.20 h	1,34e-13	2,74e-15
	Rb-83	86.2 j	2,21e-14	4,76e-16
	Rb-84	32.8 j	4,18e-14	8,74e-16
	Rb-86	18.7 j	4,94e-15	1,67e-16
	Rb-87	4.70E+10 a	3,30e-17	7,30e-20
	Rb-88	0.297 h	3,33e-14	7,41e-16
Rb-89	0.253 h	1,01e-13	1,97e-15	
Strontium	Sr-80	1.67 h	5,00e-18	1,60e-18
	Sr-81	0.425 h	6,24e-14	1,43e-15
	Sr-82	25.0 j	4,92e-18	1,57e-18
	Sr-83	1.35 j	3,60e-14	7,61e-16
	Sr-85	64.8 j	2,24e-14	4,84e-16
	Sr-85m	1.16 h	9,48e-15	2,02e-16
	Sr-87m	2.80 h	1,41e-14	3,04e-16
	Sr-89	50.5 j	4,37e-16	6,86e-17
	Sr-90	29.1 a	9,83e-17	1,64e-18
	Sr-91	9.50 h	3,27e-14	7,27e-16
	Sr-92	2.71 h	6,41e-14	1,23e-15
Yttrium	Y-86	14.7 h	1,69e-13	3,33e-15
	Y-86m	0.800 h	9,59e-15	2,04e-16
	Y-87	3.35 j	1,99e-14	4,31e-16
	Y-88	107 j	1,30e-13	2,41e-15
	Y-90	2.67 j	7,92e-16	1,10e-16
	Y-90m	3.19 h	2,77e-14	5,97e-16
	Y-91	58.5 j	6,22e-16	7,46e-17
	Y-91m	0.828 h	2,37e-14	5,10e-16
	Y-92	3.54 h	1,32e-14	3,83e-16
	Y-93	10.1 h	5,28e-15	2,10e-16
	Y-94	0.318 h	5,39e-14	1,19e-15
Y-95	0.178 h	4,66e-14	9,10e-16	

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
Zirconium	Zr-86	16.5 h	1,17e-14	2,56e-16
	Zr-88	83.4 j	1,73e-14	3,77e-16
	Zr-89	3.27 j	5,31e-14	1,10e-15
	Zr-93	1.53E+06 a	0,00e+00	0,00e+00
	Zr-95	64.0 j	3,36e-14	7,04e-16
	Zr-97	16.9 h	8,90e-15	2,50e-16
Niobium	Nb-88	0.238 h	1,89e-13	4,02e-15
	Nb-89	2.03 h	6,62e-14	1,39e-15
	Nb-89m	1.10 h	8,65e-14	1,94e-15
	Nb-90	14.6 h	2,05e-13	3,79e-15
	Nb-93m	13.6 a	3,05e-18	6,82e-19
	Nb-94	2.03E+04 a	7,20e-14	1,49e-15
	Nb-95	35.1 j	3,49e-14	7,28e-16
	Nb-95m	3.61 j	2,74e-15	5,91e-17
	Nb-96	23.3 h	1,14e-13	2,34e-15
	Nb-97	1.20 h	2,99e-14	6,75e-16
	Nb-97m	60 s	3,31e-14	6,95e-16
	Nb-98	0.858 h	1,14e-13	2,37e-15
Molybdène	Mo-90	5.67 h	3,64e-14	7,78e-16
	Mo-93	3.50E+03 a	1,73e-17	3,88e-18
	Mo-93m	6.85 h	1,06e-13	2,07e-15
	Mo-99	2.75 j	6,99e-15	1,78e-16
	Mo-101	0.244 h	6,48e-14	1,31e-15
Technetium	Tc-93	2.75 h	6,96e-14	1,32e-15
	Tc-93m	0.725 h	3,53e-14	6,30e-16
	Tc-94	4.88 h	1,22e-13	2,53e-15
	Tc-94m	0.867 h	8,64e-14	1,82e-15
	Tc-95	20.0 h	3,58e-14	7,50e-16
	Tc-95m	61.0 j	2,99e-14	6,32e-16
	Tc-96	4.28 j	1,14e-13	2,37e-15
	Tc-96m	0.858 h	2,09e-15	4,50e-17
	Tc-97	2.60E+06 a	2,26e-17	4,65e-18
	Tc-97m	87.0 j	3,72e-17	4,45e-18
	Tc-98	4.20E+06 a	6,41e-14	1,35e-15
	Tc-99	2.13E+05 a	2,87e-17	6,47e-20
	Tc-99m	6.02 h	5,25e-15	1,14e-16
Tc-101	0.237 h	1,50e-14	3,65e-16	
Tc-104	0.303 h	9,61e-14	1,95e-15	
Ruthénium	Ru-94	0.863 h	2,36e-14	5,00e-16
	Ru-97	2.90 j	9,91e-15	2,16e-16
	Ru-103	39.3 j	2,08e-14	4,49e-16
	Ru-105	4.44 h	3,56e-14	7,82e-16
	Ru-106	1.01 a	0,00e+00	0,00e+00
Rhodium	Rh-99	16.0 j	2,63e-14	5,66e-16
	Rh-99m	4.70 h	3,06e-14	6,39e-16
	Rh-100	20.8 h	1,33e-13	2,49e-15
	Rh-101	3.20 a	1,09e-14	2,40e-16
	Rh-101m	4.34 j	1,29e-14	2,83e-16
	Rh-102	2.90 a	9,68e-14	2,02e-15
	Rh-102m	207 j	2,15e-14	4,77e-16
	Rh-103m	0.935 h	6,02e-18	8,86e-19

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
	Rh-105	1.47 j	3,47e-15	7,42e-17
	Rh-106	29.9 s	1,06e-14	3,45e-16
	Rh-106m	2.20 h	1,35e-13	2,75e-15
	Rh-107	0.362 h	1,41e-14	3,38e-16
Palladium	Pd-100	3.63 j	3,98e-15	1,06e-16
	Pd-101	8.27 h	1,42e-14	3,09e-16
	Pd-103	17.0 j	5,32e-17	7,67e-18
	Pd-107	6.50E+06 a	0,00e+00	0,00e+00
	Pd-109	13.4 h	4,20e-16	3,73e-17
Argent	Ag-102	0.215 h	1,57e-13	3,19e-15
	Ag-103	1.09 h	3,43e-14	7,45e-16
	Ag-104	1.15 h	1,23e-13	2,52e-15
	Ag-104m	0.558 h	5,48e-14	1,14e-15
	Ag-105	41.0 j	2,26e-14	4,90e-16
	Ag-106	0.399 h	3,18e-14	7,41e-16
	Ag-106m	8.41 j	1,29e-13	2,64e-15
	Ag-108	2.37 min	1,25e-15	8,96e-17
	Ag-108m	1.27E+02 a	7,24e-14	1,55e-15
	Ag-109m	39.6 s	1,59e-16	7,52e-18
	Ag-110	24.6 s	2,46e-15	1,63e-16
	Ag-110m	250 j	1,27e-13	2,58e-15
	Ag-111	7.45 j	1,38e-15	5,28e-17
	Ag-112	3.12 h	3,23e-14	7,46e-16
	Ag-115	0.333 h	3,46e-14	7,50e-16
Cadmium	Cd-104	0.961 h	1,04e-14	2,36e-16
	Cd-107	6.49 h	5,11e-16	2,33e-17
	Cd-109	1.27 a	2,28e-16	1,66e-17
	Cd-113	9.30E+15 a	2,53e-17	5,80e-20
	Cd-113m	13.6 a	9,06e-17	1,77e-18
	Cd-115	2.23 j	1,05e-14	2,43e-16
	Cd-115m	44.6 j	1,48e-15	9,24e-17
	Cd-117	2.49 h	5,14e-14	1,04e-15
	Cd-117m	3.36 h	9,89e-14	1,85e-15
Indium	In-109	4.20 h	2,98e-14	6,24e-16
	In-110	4.90 h	1,39e-13	2,88e-15
	In-110m	1.15 h	7,15e-14	1,53e-15
	In-111	2.83 j	1,68e-14	3,68e-16
	In-112	0.240 h	1,19e-14	2,74e-16
	In-113m	1.66 h	1,12e-14	2,43e-16
	In-114	71.9 s	1,59e-16	2,76e-18
	In-114m	49.5 j	3,89e-15	8,63e-17
	In-115	5.10E+15 a	6,55e-17	3,57e-19
	In-115m	4.49 h	6,86e-15	1,51e-16
	In-116m	0.902 h	1,18e-13	2,28e-15
	In-117	0.730 h	3,06e-14	6,64e-16
	In-117m	1.94 h	4,07e-15	1,25e-16
	In-119	2.4 min	3,53e-14	8,02e-16
	In-119m	0.300 h	1,26e-15	1,30e-16
Étain	Sn-110	4.00 h	1,25e-14	2,77e-16
	Sn-111	0.588 h	2,30e-14	5,01e-16
	Sn-113	115 j	3,15e-16	1,63e-17

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
	Sn-117m	13.6 j	6,11e-15	1,40e-16
	Sn-119m	293 j	7,04e-17	7,47e-18
	Sn-121	1.13 j	3,90e-17	8,84e-20
	Sn-121m	55.0 a	5,24e-17	3,60e-18
	Sn-123	129 j	6,98e-16	6,50e-17
	Sn-123m	0.668 h	6,14e-15	1,73e-16
	Sn-125	9.64 j	1,54e-14	3,82e-16
	Sn-126	1.00E+05 a	1,84e-15	4,82e-17
	Sn-127	2.10 h	9,03e-14	1,80e-15
	Sn-128	0.985 h	2,77e-14	6,25e-16
Antimoine	Sb-115	0.530 h	4,02e-14	8,93e-16
	Sb-116	0.263 h	1,02e-13	2,03e-15
	Sb-116m	1.00 h	1,45e-13	2,93e-15
	Sb-117	2.80 h	7,15e-15	1,65e-16
	Sb-118m	5.00 h	1,19e-13	2,39e-15
	Sb-119	1.59 j	1,50e-16	1,56e-17
	Sb-120	5.76 j	1,14e-13	2,28e-15
	Sb-120	0.265 h	2,00e-14	4,67e-16
	Sb-122	2.70 j	2,02e-14	4,85e-16
	Sb-124	60.2 j	8,62e-14	1,70e-15
	Sb-124m	0.337 h	4,67e-19	5,07e-20
	Sb-125	2.77 a	1,87e-14	4,09e-16
	Sb-126	12.4 j	1,28e-13	2,72e-15
	Sb-126m	0.317 h	7,01e-14	1,55e-15
	Sb-127	3.85 j	3,12e-14	6,76e-16
	Sb-128	9.01 h	1,41e-13	2,98e-15
	Sb-128m	0.173 h	9,08e-14	1,99e-15
Sb-129	4.32 h	6,71e-14	1,37e-15	
Sb-130	0.667 h	1,50e-13	3,14e-15	
Sb-131	0.383 h	8,84e-14	1,77e-15	
Tellure	Te-116	2.49 h	1,98e-15	6,06e-17
	Te-121	17.0 j	2,50e-14	5,47e-16
	Te-121m	154 j	8,99e-15	1,98e-16
	Te-123	1.00E+13 a	1,51e-16	1,42e-17
	Te-123m	120 j	5,81e-15	1,32e-16
	Te-125m	58.0 j	3,35e-16	2,66e-17
	Te-127	9.35 h	3,34e-16	1,03e-17
	Te-127m	109 j	1,12e-16	8,56e-18
	Te-129	1.16 h	2,86e-15	1,14e-16
	Te-129m	33.6 j	1,56e-15	5,70e-17
	Te-131	0.417 h	1,92e-14	4,74e-16
	Te-131m	1.25 j	6,55e-14	1,34e-15
	Te-132	3.26 j	9,32e-15	2,12e-16
	Te-133	0.207 h	4,34e-14	9,59e-16
Te-133m	0.923 h	1,07e-13	2,24e-15	
Te-134	0.696 h	3,94e-14	8,48e-16	
Iode	I-120	1.35 h	1,31e-13	2,62e-15
	I-120m	0.883 h	2,49e-13	5,01e-15
	I-121	2.12 h	1,78e-14	3,96e-16
	I-122	3.62 min	4,31e-14	1,02e-15
	I-123	13.2 h	6,49e-15	1,53e-16

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
	I-124	4.18 j	5,04e-14	1,04e-15
	I-125	60.1 j	3,73e-16	3,14e-17
	I-126	13.0 j	2,01e-14	4,42e-16
	I-128	0.416 h	4,33e-15	1,71e-16
	I-129	1.57E+07 a	2,81e-16	1,95e-17
	I-130	12.4 h	9,67e-14	2,05e-15
	I-131	8.04 j	1,69e-14	3,64e-16
	I-132	2.30 h	1,05e-13	2,20e-15
	I-132m	1.39 h	1,42e-14	3,11e-16
	I-133	20.8 h	2,76e-14	6,17e-16
	I-134	0.876 h	1,22e-13	2,53e-15
	I-135	6.61 h	7,54e-14	1,47e-15
Cesium	Cs-125	0.750 h	3,01e-14	6,85e-16
	Cs-126	1.64 min	4,96e-14	1,18e-15
	Cs-127	6.25 h	1,78e-14	3,95e-16
	Cs-128	3.9 min	4,06e-14	9,54e-16
	Cs-129	1.34 j	1,13e-14	2,62e-16
	Cs-130	0.498 h	2,30e-14	5,41e-16
	Cs-131	9.69 j	2,38e-16	1,79e-17
	Cs-132	6.48 j	3,11e-14	6,69e-16
	Cs-134	2.06 a	7,06e-14	1,48e-15
	Cs-134m	2.90 h	7,95e-16	2,25e-17
	Cs-135	2.30E+06 a	9,50e-18	2,69e-20
	Cs-135m	0.883 h	7,25e-14	1,51e-15
	Cs-136	13.1 j	9,94e-14	2,03e-15
	Cs-137	30.0 a	9,28e-17	2,99e-18
Cs-138	0.536 h	1,15e-13	2,26e-15	
Baryum	Ba-126	1.61 h	6,41e-15	1,51e-16
	Ba-128	2.43 j	2,54e-15	6,78e-17
	Ba-131	11.8 j	1,92e-14	4,29e-16
	Ba-131m	0.243 h	2,64e-15	6,70e-17
	Ba-133	10.7 a	1,62e-14	3,73e-16
	Ba-133m	1.62 j	2,44e-15	5,97e-17
	Ba-135m	1.20 j	2,16e-15	5,38e-17
	Ba-137m	2.552 min	2,69e-14	5,79e-16
	Ba-139	1.38 h	2,54e-15	1,46e-16
	Ba-140	12.7 j	8,07e-15	1,90e-16
	Ba-141	0.305 h	3,92e-14	8,86e-16
	Ba-142	0.177 h	4,84e-14	1,01e-15
Lanthane	La-131	0.983 h	2,91e-14	6,55e-16
	La-132	4.80 h	9,41e-14	1,90e-15
	La-134	6.67 min	3,15e-14	7,50e-16
	La-135	19.5 h	7,75e-16	3,04e-17
	La-137	6.00E+04 a	3,00e-16	1,96e-17
	La-138	1.35E+11 a	5,84e-14	1,13e-15
	La-140	1.68 j	1,11e-13	2,16e-15
	La-141	3.93 h	2,88e-15	1,52e-16
	La-142	1.54 h	1,37e-13	2,49e-15
	La-143	0.237 h	5,78e-15	2,27e-16
Cerium	Ce-134	3.00 j	3,52e-16	2,15e-17
	Ce-135	17.6 h	7,93e-14	1,70e-15

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
	Ce-137	9.00 h	7,30e-16	2,98e-17
	Ce-137m	1.43 j	1,83e-15	4,72e-17
	Ce-139	138 j	5,97e-15	1,43e-16
	Ce-141	32.5 j	3,10e-15	6,93e-17
	Ce-143	1.38 j	1,21e-14	3,01e-16
	Ce-144	284 j	7,63e-16	1,84e-17
Praséodyme	Pr-136	0.218 h	9,72e-14	2,04e-15
	Pr-137	1.28 h	2,20e-14	4,97e-16
	Pr-138	1.45 min	3,72e-14	8,98e-16
	Pr-138m	2.10 h	1,13e-13	2,35e-15
	Pr-139	4.51 h	4,75e-15	1,17e-16
	Pr-142	19.1 h	3,50e-15	1,47e-16
	Pr-142m	0.243 h	0,00e+00	0,00e+00
	Pr-143	13.6 j	1,94e-16	2,06e-17
	Pr-144	0.288 h	2,65e-15	1,63e-16
	Pr-144m	7.2 min	2,20e-16	1,05e-17
	Pr-145	5.98 h	1,12e-15	9,38e-17
	Pr-147	0.227 h	3,90e-14	8,95e-16
Néodyme	Nd-136	0.844 h	1,15e-14	2,73e-16
	Nd-138	5.04 h	1,07e-15	3,75e-17
	Nd-139	0.495 h	1,77e-14	4,07e-16
	Nd-139m	5.50 h	7,12e-14	1,48e-15
	Nd-141	2.49 h	2,59e-15	6,84e-17
	Nd-141m	62.4 s	3,45e-14	7,32e-16
	Nd-147	11.0 j	5,72e-15	1,40e-16
	Nd-149	1.73 h	1,68e-14	4,06e-16
	Nd-151	0.207 h	4,21e-14	9,23e-16
Prométhium	Pm-141	0.348 h	3,39e-14	7,73e-16
	Pm-142	40.5 s	4,01e-14	9,62e-16
	Pm-143	265 j	1,35e-14	2,97e-16
	Pm-144	363 j	6,95e-14	1,49e-15
	Pm-145	17.7 a	5,49e-16	2,61e-17
	Pm-146	5.53 a	3,34e-14	7,19e-16
	Pm-147	2.62 a	8,67e-18	2,80e-20
	Pm-148	5.37 j	2,76e-14	6,11e-16
	Pm-148m	41.3 j	9,01e-14	1,91e-15
	Pm-149	2.21 j	7,08e-16	4,04e-17
	Pm-150	2.68 h	6,77e-14	1,41e-15
		Pm-151	1.18 j	1,40e-14
Samarium	Sm-141	0.170 h	6,44e-14	1,39e-15
	Sm-141m	0.377 h	9,07e-14	1,89e-15
	Sm-142	1.21 h	3,43e-15	8,95e-17
	Sm-145	340 j	1,26e-15	5,56e-17
	Sm-146	1.03E+08 a	0,00e+00	0,00e+00
	Sm-147	1.06E+11 a	0,00e+00	0,00e+00
	Sm-151	90.0 a	2,46e-20	3,54e-21
	Sm-153	1.95 j	2,04e-15	6,10e-17
	Sm-155	0.368 h	4,43e-15	1,56e-16
		Sm-156	9.40 h	4,93e-15
Europium	Eu-145	5.94 j	6,78e-14	1,34e-15
	Eu-146	4.61 j	1,15e-13	2,35e-15

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
	Eu-147	24.0 j	2,14e-14	4,62e-16
	Eu-148	54.5 j	9,83e-14	2,06e-15
	Eu-149	93.1 j	1,95e-15	5,66e-17
	Eu-150	34.2 a	6,64e-14	1,42e-15
	Eu-150m	12.6 h	2,22e-15	6,78e-17
	Eu-152	13.3 a	5,28e-14	1,08e-15
	Eu-152m	9.32 h	1,36e-14	3,35e-16
	Eu-154	8.80 a	5,75e-14	1,17e-15
	Eu-155	4.96 a	2,14e-15	5,35e-17
	Eu-156	15.2 j	6,38e-14	1,24e-15
	Eu-157	15.1 h	1,09e-14	2,76e-16
	Eu-158	0.765 h	5,00e-14	1,08e-15
Gadolinium	Gd-145	0.382 h	1,09e-13	2,09e-15
	Gd-146	48.3 j	8,61e-15	2,22e-16
	Gd-147	1.59 j	5,98e-14	1,25e-15
	Gd-148	93.0 a	0,00e+00	0,00e+00
	Gd-149	9.40 j	1,75e-14	3,92e-16
	Gd-151	120 j	1,88e-15	5,57e-17
	Gd-152	1.08E+14 a	0,00e+00	0,00e+00
	Gd-153	242 j	3,11e-15	9,22e-17
	Gd-159	18.6 h	2,16e-15	6,48e-17
Terbium	Tb-147	1.65 h	7,29e-14	1,55e-15
	Tb-149	4.15 h	7,51e-14	1,50e-15
	Tb-150	3.27 h	7,75e-14	1,62e-15
	Tb-151	17.6 h	3,87e-14	8,38e-16
	Tb-153	2.34 j	8,86e-15	2,09e-16
	Tb-154	21.4 h	1,14e-13	2,08e-15
	Tb-155	5.32 j	4,84e-15	1,25e-16
	Tb-156	5.34 j	8,34e-14	1,69e-15
	Tb-156m	1.02 j	6,24e-16	2,21e-17
	Tb-156n	5.00 h	9,73e-17	3,15e-18
	Tb-157	1.50E+02 a	5,34e-17	2,20e-18
	Tb-158	1.50E+02 a	3,58e-14	7,49e-16
	Tb-160	72.3 j	5,19e-14	1,06e-15
	Tb-161	6.91 j	8,93e-16	2,95e-17
Dysprosium	Dy-155	10.0 h	2,56e-14	5,38e-16
	Dy-157	8.10 h	1,48e-14	3,33e-16
	Dy-159	144 j	9,93e-16	3,87e-17
	Dy-165	2.33 h	1,35e-15	6,91e-17
	Dy-166	3.40 j	1,21e-15	3,51e-17
Holmium	Ho-155	0.800 h	1,65e-14	3,89e-16
	Ho-157	0.210 h	2,04e-14	4,61e-16
	Ho-159	0.550 h	1,43e-14	3,34e-16
	Ho-161	2.50 h	1,40e-15	5,14e-17
	Ho-162	0.250 h	6,70e-15	1,55e-16
	Ho-162m	1.13 h	2,54e-14	5,30e-16
	Ho-164	0.483 h	8,03e-16	3,38e-17
	Ho-164m	0.625 h	1,06e-15	3,90e-17
	Ho-166	1.12 j	1,72e-15	1,05e-16
	Ho-166m	1.20E+03 a	7,84e-14	1,65e-15
	Ho-167	3.10 h	1,59e-14	3,51e-16

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
Erbium	Er-161	3.24 h	4,11e-14	8,55e-16
	Er-165	10.4 h	8,96e-16	3,24e-17
	Er-169	9.30 j	2,97e-17	6,75e-20
	Er-171	7.52 h	1,64e-14	3,85e-16
	Er-172	2.05 j	2,29e-14	4,96e-16
Thulium	Tm-162	0.362 h	8,50e-14	1,63e-15
	Tm-166	7.70 h	8,78e-14	1,70e-15
	Tm-167	9.24 j	5,39e-15	1,31e-16
	Tm-170	129 j	3,67e-16	2,64e-17
	Tm-171	1.92 a	1,77e-17	5,55e-19
	Tm-172	2.65 j	2,30e-14	4,87e-16
	Tm-173	8.24 h	1,72e-14	3,88e-16
Ytterbium	Yb-162	0.315 h	4,92e-15	1,22e-16
	Yb-166	2.36 j	2,35e-15	7,44e-17
	Yb-167	0.292 h	9,48e-15	2,37e-16
	Yb-169	32.0 j	1,13e-14	2,78e-16
	Yb-175	4.19 j	1,75e-15	3,74e-17
	Yb-177	1.90 h	8,82e-15	2,17e-16
	Yb-178	1.23 h	1,62e-15	3,60e-17
Lutetium	Lu-169	1.42 j	4,75e-14	9,56e-16
	Lu-170	2.00 j	1,21e-13	2,19e-15
	Lu-171	8.22 j	3,00e-14	6,54e-16
	Lu-172	6.70 j	8,64e-14	1,76e-15
	Lu-173	1.37 a	4,42e-15	1,16e-16
	Lu-174	3.31 a	4,94e-15	1,12e-16
	Lu-174m	142 j	1,84e-15	5,33e-17
	Lu-176	3.60E+10 a	2,11e-14	4,57e-16
	Lu-176m	3.68 h	7,65e-16	5,60e-17
	Lu-177	6.71 j	1,50e-15	3,21e-17
	Lu-177m	161 j	4,24e-14	9,31e-16
	Lu-178	0.473 h	7,12e-15	2,15e-16
	Lu-178m	0.378 h	4,80e-14	1,08e-15
Hafnium	Hf-170	16.0 h	2,29e-14	5,11e-16
	Hf-172	1.87 a	3,40e-15	9,92e-17
	Hf-173	24.0 h	1,66e-14	3,73e-16
	Hf-175	70.0 j	1,54e-14	3,45e-16
	Hf-177m	0.856 h	9,67e-14	2,10e-15
	Hf-178m	31.0 a	1,03e-13	2,22e-15
	Hf-179m	25.1 j	3,84e-14	8,42e-16
	Hf-180m	5.50 h	4,33e-14	9,46e-16
	Hf-181	42.4 j	2,42e-14	5,25e-16
	Hf-182	9.00E+06 a	1,03e-14	2,23e-16
	Hf-182m	1.02 h	4,08e-14	8,78e-16
	Hf-183	1.07 h	3,39e-14	7,52e-16
	Hf-184	4.12 h	1,04e-14	2,46e-16
Tantale	Ta-172	0.613 h	7,10e-14	1,49e-15
	Ta-173	3.65 h	2,55e-14	5,75e-16
	Ta-174	1.20 h	2,75e-14	6,15e-16
	Ta-175	10.5 h	4,24e-14	8,49e-16

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
	Ta-176	8.08 h	1,03e-13	1,93e-15
	Ta-177	2.36 j	2,15e-15	5,87e-17
	Ta-178	2.20 h	4,32e-14	9,53e-16
	Ta-178m	9.31 min	4,12e-15	9,61e-17
	Ta-179	1.82 a	9,00e-16	2,75e-17
	Ta-180	1.00E+13 a	2,35e-14	5,18e-16
	Ta-180m	8.10 h	1,43e-15	4,23e-17
	Ta-182	115 j	5,99e-14	1,20e-15
	Ta-182m	0.264 h	9,94e-15	2,25e-16
	Ta-183	5.10 j	1,19e-14	2,68e-16
	Ta-184	8.70 h	7,25e-14	1,55e-15
	Ta-185	0.816 h	8,23e-15	2,50e-16
	Ta-186	0.175 h	7,02e-14	1,58e-15
Tungstène	W-176	2.30 h	5,98e-15	1,54e-16
	W-177	2.25 h	3,91e-14	8,38e-16
	W-178	21.7 j	3,83e-16	1,14e-17
	W-179	0.625 h	1,50e-15	4,98e-17
	W-181	121 j	1,16e-15	3,44e-17
	W-185	75.1 j	4,97e-17	1,71e-19
	W-187	23.9 h	2,13e-14	4,68e-16
	W-188	69.4 j	1,10e-16	1,82e-18
Rhénium	Re-177	0.233 h	2,76e-14	5,95e-16
	Re-178	0.220 h	5,73e-14	1,15e-15
	Re-180	2.43 min	5,33e-14	1,12e-15
	Re-181	20.0 h	3,37e-14	7,20e-16
	Re-182	2.67 j	8,49e-14	1,73e-15
	Re-182m	12.7 h	5,39e-14	1,08e-15
	Re-184	38.0 j	3,99e-14	8,37e-16
	Re-184m	165 j	1,67e-14	3,59e-16
	Re-186	3.78 j	9,97e-16	4,42e-17
	Re-186m	2.00E+05 a	4,14e-16	1,28e-17
	Re-187	5.00E+10 a	0,00e+00	0,00e+00
	Re-188	17.0 h	3,13e-15	1,45e-16
	Re-188m	0.310 h	2,56e-15	6,77e-17
Re-189	1.01 j	3,08e-15	8,41e-17	
Osmium	Os-180	0.366 h	1,96e-15	5,39e-17
	Os-181	1.75 h	5,52e-14	1,13e-15
	Os-182	22.0 h	1,83e-14	4,06e-16
	Os-185	94.0 j	3,18e-14	6,81e-16
	Os-189m	6.00 h	1,24e-19	4,83e-20
	Os-190m	9.9 min	7,03e-14	1,51e-15
	Os-191	15.4 j	2,78e-15	6,75e-17
	Os-191m	13.0 h	2,31e-16	6,40e-18
	Os-193	1.25 j	3,29e-15	9,59e-17
	Os-194	6.00 a	2,17e-17	9,55e-19
Iridium	Ir-182	0.250 h	6,07e-14	1,34e-15
	Ir-184	3.02 h	8,75e-14	1,78e-15
	Ir-185	14.0 h	2,74e-14	5,33e-16
	Ir-186	15.8 h	7,51e-14	1,51e-15
	Ir-186m	1.75 h	4,33e-14	9,16e-16
	Ir-187	10.5 h	1,54e-14	3,37e-16

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
	Ir-188	1.73 j	7,52e-14	1,42e-15
	Ir-189	13.3 j	2,77e-15	6,99e-17
	Ir-190	12.1 j	6,32e-14	1,36e-15
	Ir-190m	3.10 h	6,81e-14	1,47e-15
	Ir-190n	1.20 h	1,38e-19	5,32e-20
	Ir-192	74.0 j	3,61e-14	7,77e-16
	Ir-192m	2.41E+02 a	6,84e-15	1,47e-16
	Ir-194	19.1 h	4,73e-15	1,81e-16
	Ir-194m	171 j	1,04e-13	2,23e-15
	Ir-195	2.50 h	2,17e-15	7,37e-17
	Ir-195m	3.80 h	1,78e-14	3,98e-16
Platinum	Pt-186	2.00 h	3,27e-14	7,00e-16
	Pt-188	10.2 j	7,90e-15	1,82e-16
	Pt-189	10.9 h	1,34e-14	2,99e-16
	Pt-191	2.80 j	1,21e-14	2,78e-16
	Pt-193	50.0 a	4,07e-19	1,54e-19
	Pt-193m	4.33 j	3,76e-16	9,31e-18
	Pt-195m	4.02 j	2,44e-15	6,19e-17
	Pt-197	18.3 h	9,73e-16	2,39e-17
	Pt-197m	1.57 h	3,25e-15	7,28e-17
	Pt-199	0.513 h	9,32e-15	2,47e-16
	Pt-200	12.5 h	2,33e-15	5,46e-17
Or	Au-193	17.6 h	6,03e-15	1,42e-16
	Au-194	1.65 j	4,94e-14	9,72e-16
	Au-195	183 j	2,73e-15	7,05e-17
	Au-195m	30.5 s	8,52e-15	1,84e-16
	Au-198	2.69 j	1,81e-14	4,07e-16
	Au-198m	2.30 j	2,39e-14	5,23e-16
	Au-199	3.14 j	3,67e-15	7,97e-17
	Au-200	0.807 h	1,32e-14	3,37e-16
	Au-200m	18.7 h	9,32e-14	1,98e-15
	Au-201	0.440 h	2,62e-15	9,03e-17
Mercure	Hg-193	3.50 h	7,70e-15	1,80e-16
	Hg-193m	11.1 h	4,69e-14	9,66e-16
	Hg-194	2.60E+02 a	6,23e-19	2,24e-19
	Hg-195	9.90 h	8,38e-15	1,85e-16
	Hg-195m	1.73 j	8,78e-15	1,93e-16
	Hg-197	2.67 j	2,26e-15	5,79e-17
	Hg-197m	23.8 h	3,62e-15	8,12e-17
	Hg-199m	0.710 h	7,63e-15	1,67e-16
	Hg-203	46.6 j	1,04e-14	2,22e-16
Thallium	Tl-194	0.550 h	3,41e-14	7,35e-16
	Tl-194m	0.546 h	1,03e-13	2,23e-15
	Tl-195	1.16 h	5,94e-14	1,16e-15
	Tl-197	2.84 h	1,78e-14	3,77e-16
	Tl-198	5.30 h	9,47e-14	1,82e-15
	Tl-198m	1.87 h	5,26e-14	1,13e-15
	Tl-199	7.42 h	1,02e-14	2,27e-16
	Tl-200	1.09 j	5,98e-14	1,22e-15
	Tl-201	3.04 j	3,25e-15	7,96e-17
	Tl-202	12.2 j	2,00e-14	4,40e-16

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
	Tl-204	3.78 a	1,71e-16	1,08e-17
	Tl-206	4.20 min	3,95e-16	6,07e-17
	Tl-207	4.77 min	4,53e-16	5,56e-17
	Tl-208	3.07 min	1,69e-13	2,97e-15
	Tl-209	2.20 min	9,65e-14	1,92e-15
Plomb	Pb-195m	0.263 h	7,12e-14	1,52e-15
	Pb-198	2.40 h	1,86e-14	4,06e-16
	Pb-199	1.50 h	6,83e-14	1,36e-15
	Pb-200	21.5 h	8,17e-15	1,86e-16
	Pb-201	9.40 h	3,35e-14	7,08e-16
	Pb-202	3.00E+05 a	4,96e-19	1,91e-19
	Pb-202m	3.62 h	9,29e-14	1,93e-15
	Pb-203	2.17 j	1,30e-14	2,86e-16
	Pb-205	1.43E+07 a	5,45e-19	2,08e-19
	Pb-209	3.25 h	1,00e-16	3,19e-18
	Pb-210	22.3 a	4,48e-17	2,13e-18
	Pb-211	0.601 h	2,59e-15	9,50e-17
	Pb-212	10.6 h	6,24e-15	1,35e-16
	Pb-214	0.447 h	1,09e-14	2,40e-16
Bismuth	Bi-200	0.606 h	1,08e-13	2,26e-15
	Bi-201	1.80 h	6,08e-14	1,28e-15
	Bi-202	1.67 h	1,24e-13	2,54e-15
	Bi-203	11.8 h	1,13e-13	2,18e-15
	Bi-205	15.3 j	7,98e-14	1,54e-15
	Bi-206	6.24 j	1,51e-13	3,06e-15
	Bi-207	38.0 a	7,04e-14	1,45e-15
	Bi-210	5.01 j	2,58e-16	3,51e-17
	Bi-210m	3.00E+06 a	1,12e-14	2,40e-16
	Bi-211	2.14 min	2,04e-15	4,40e-17
	Bi-212	1.01 h	8,95e-15	2,25e-16
	Bi-213	0.761 h	6,16e-15	1,68e-16
	Bi-214	0.332 h	7,25e-14	1,44e-15
	Polonium	Po-203	0.612 h	7,59e-14
Po-205		1.80 h	7,29e-14	1,47e-15
Po-207		5.83 h	6,08e-14	1,24e-15
Po-210		138 j	3,89e-19	8,09e-21
Po-218		3.05 min	4,21e-19	8,66e-21
Astantine	At-207	1.80 h	6,09e-14	1,22e-15
	At-211	7.21 h	1,37e-15	3,32e-17
Francium	Fr-220	27.4 s	4,40e-16	9,87e-18
	Fr-221	4.8 min	1,32e-15	2,84e-17
	Fr-222	0.240 h	5,79e-16	8,74e-17
	Fr-223	0.363 h	2,20e-15	7,76e-17
Radium	Ra-222	38 s	4,03e-16	8,66e-18
	Ra-223	11.4 j	5,47e-15	1,21e-16
	Ra-224	3.66 j	4,29e-16	9,15e-18
	Ra-225	14.8 j	2,40e-16	1,07e-17
	Ra-226	1.60E+03 a	2,84e-16	6,11e-18
	Ra-227	0.703 h	7,01e-15	1,82e-16
	Ra-228	5.75 a	0,00e+00	0,00e+00
Actinium	Ac-223	2.2 min	1,87e-16	4,42e-18

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
	Ac-224	2.90 h	8,01e-15	1,77e-16
	Ac-225	10.0 j	6,37e-16	1,47e-17
	Ac-226	1.21 j	5,57e-15	1,35e-16
	Ac-227	21.8 a	5,12e-18	1,41e-19
	Ac-228	6.13 h	4,49e-14	9,39e-16
Thorium	Th-226	0.515 h	3,21e-16	7,25e-18
	Th-227	18.7 j	4,43e-15	9,81e-17
	Th-228	1.91 a	8,10e-17	2,13e-18
	Th-229	7.34E+03 a	3,36e-15	7,89e-17
	Th-230	7.70E+04 a	1,48e-17	6,37e-19
	Th-231	1.06 j	4,58e-16	1,55e-17
	Th-232	1.40E+10 a	7,24e-18	4,55e-19
	Th-234	24.1 j	2,94e-16	7,49e-18
Protactinium	Pa-227	0.638 h	7,38e-16	1,81e-17
	Pa-228	22.0 h	5,16e-14	1,05e-15
	Pa-230	17.4 j	2,91e-14	6,07e-16
	Pa-231	3.27E+04 a	1,57e-15	3,78e-17
	Pa-232	1.31 j	4,26e-14	8,82e-16
	Pa-233	27.0 j	8,55e-15	1,86e-16
	Pa-234	6.70 h	8,72e-14	1,80e-15
	Pa-234m	1.17 min	1,21e-15	1,08e-16
Uranium	U-230	20.8 j	4,56e-17	1,55e-18
	U-231	4.20 j	2,56e-15	6,40e-17
	U-232	72.0 a	1,17e-17	8,07e-19
	U-233	1.58E+05 a	1,42e-17	5,99e-19
	U-234	2.44E+05 a	6,11e-18	5,86e-19
	U-235	7.04E+08 a	6,46e-15	1,40e-16
	U-236	2.34E+07 a	3,86e-18	5,03e-19
	U-237	6.75 j	5,29e-15	1,23e-16
	U-238	4.47E+09 a	2,50e-18	4,23e-19
	U-239	0.392 h	2,13e-15	8,25e-17
	U-240	14.1 h	5,87e-17	3,19e-18
Neptunium	Np-232	0.245 h	5,38e-14	1,13e-15
	Np-233	0.603 h	3,39e-15	7,79e-17
	Np-234	4.40 j	6,83e-14	1,31e-15
	Np-235	1.08 a	4,19e-17	2,86e-18
	Np-236	1.15E+05 a	4,74e-15	1,11e-16
	Np-236m	22.5 h	1,92e-15	4,38e-17
	Np-237	2.14E+06 a	8,87e-16	2,52e-17
	Np-238	2.12 j	2,56e-14	5,34e-16
	Np-239	2.36 j	6,95e-15	1,54e-16
	Np-240	1.08 h	5,88e-14	1,24e-15
	Np-240m	7.4 min	1,55e-14	3,87e-16
Plutonium	Pu-234	8.80 h	2,49e-15	5,78e-17
	Pu-235	0.422 h	3,45e-15	8,00e-17
	Pu-236	2.85 a	4,68e-18	7,35e-19
	Pu-237	45.3 j	1,76e-15	4,25e-17
	Pu-238	87.7 a	3,50e-18	6,26e-19
	Pu-239	2.41E+04 a	3,48e-18	2,84e-19
	Pu-240	6.54E+03 a	3,42e-18	6,01e-19
	Pu-241	14.4 a	6,33e-20	1,72e-21

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
	Pu-242	3.76E+05 a	2,90e-18	4,98e-19
	Pu-243	4.95 h	9,61e-16	2,27e-17
	Pu-244	8.26E+07 a	2,08e-18	4,16e-19
	Pu-245	10.5 h	1,86e-14	4,06e-16
	Pu-246	10.9 j	5,35e-15	1,23e-16
Americium	Am-237	1.22 h	1,55e-14	3,38e-16
	Am-238	1.63 h	4,04e-14	8,27e-16
	Am-239	11.9 h	9,26e-15	2,08e-16
	Am-240	2.12 j	4,67e-14	9,57e-16
	Am-241	4.32E+02 a	6,74e-16	2,33e-17
	Am-242	16.0 h	6,09e-16	1,61e-17
	Am-242m	1.52E+02 a	2,49e-17	2,26e-18
	Am-243	7.38E+03 a	1,85e-15	4,79e-17
	Am-244	10.1 h	3,59e-14	7,60e-16
	Am-244m	0.433 h	3,63e-16	5,55e-17
	Am-245	2.05 h	1,45e-15	4,12e-17
	Am-246	0.650 h	3,06e-14	6,80e-16
	Am-246m	0.417 h	4,74e-14	9,95e-16
Curium	Cm-238	2.40 h	2,85e-15	6,56e-17
	Cm-240	27.0 j	4,17e-18	7,69e-19
	Cm-241	32.8 j	2,11e-14	4,65e-16
	Cm-242	163 j	4,02e-18	7,02e-19
	Cm-243	28.5 a	5,30e-15	1,18e-16
	Cm-244	18.1 a	3,40e-18	6,44e-19
	Cm-245	8.50E+03 a	3,49e-15	8,05e-17
	Cm-246	4.73E+03 a	3,10e-18	5,76e-19
	Cm-247	1.56E+07 a	1,38e-14	2,99e-16
	Cm-248	3.39E+05 a	2,35e-18	4,40e-19
	Cm-249	1.07 h	1,02e-15	3,32e-17
	Cm-250	6.90E+03 a	0,00e+00	0,00e+00
Berkelium	Bk-245	4.94 j	9,26e-15	2,06e-16
	Bk-246	1.83 j	4,27e-14	8,88e-16
	Bk-247	1.38E+03 a	4,20e-15	9,42e-17
	Bk-249	320 j	4,68e-19	5,34e-21
	Bk-250	3.22 h	4,12e-14	8,43e-16
Californium	Cf-244	0.323 h	4,74e-18	8,19e-19
	Cf-246	1.49 j	3,92e-18	5,73e-19
	Cf-248	334 j	3,25e-18	5,58e-19
	Cf-249	3.50E+02 a	1,45e-14	3,15e-16
	Cf-250	13.1 a	3,09e-18	5,32e-19
	Cf-251	8.98E+02 a	5,01e-15	1,13e-16
	Cf-252	2.64 a	3,63e-18	5,24e-19
	Cf-253	17.8 j	1,75e-17	5,17e-20
	Cf-254	60.5 j	1,01e-20	1,73e-21
Einsteinium	Es-250	2.10 h	1,76e-14	3,65e-16
	Es-251	1.38 j	3,65e-15	8,39e-17
	Es-253	20.5 j	1,60e-17	6,63e-19
	Es-254	276 j	1,57e-16	9,76e-18
	Es-254m	1.64 j	2,11e-14	4,58e-16
Fermium	Fm-252	22.7 h	3,45e-18	5,41e-19
	Fm-253	3.00 j	3,12e-15	7,14e-17

Nucléide	Demi-vie	Coefficients de dose externe		
		panache (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³)	sol (Sv s ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	
Fm-254	3.24 h	4,76e-18	5,99e-19	
Fm-255	20.1 h	8,82e-17	6,29e-18	
Fm-257	101 j	4,15e-15	9,50e-17	
Mendelevium	Md-257	5.20 h	4,52e-15	1,01e-16
	Md-258	55.0 j	3,89e-17	3,32e-18