

Annalen
van
de Belgische Vereniging
voor
Stralingsbescherming

VOL. 5 N° 1

1980

Driemaandelijkse
uitgave

Publication
trimestrielle

Annales
de
l'Association Belge
de
Radioprotection

Hoofdredacteur

Dr M.H. FAES
S.C.K./C.E.N.
2400 Mol.

Rédacteur en chef

Redactiesecretariaat

Mme Cl. STIEVENART
14, rue Juliette Wytmansstraat,
1050 Bruxelles - Brussel.

Secrétaire de rédaction

INHOUD.

SOMMAIRE

P. HUBLET :

L'exposition professionnelle aux radiations ionisantes en Belgique.

5 - 24

R. VAN BRUWAENE, R. KIRCHMANN and G.B. GERBER :

Technetium transfer through the food chain : an analysis of present knowledge and perspectives for future research.

25 - 34

R. VAN BRUWAENE, R. KIRCHMANN, G.B. GERBER and

J. VAN DEN HOEK :

Incorporation of tritium in the human food chain.

35 - 48

Conseils aux auteurs

49 - 51

Richtlijnen voor auteurs

53 - 55

Liste des membres - Ledenlijst - 1980.

57 - 66

L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE AUX RADIATIONS IONISANTES EN BELGIQUE.

Professeur P. HUBLET, Inspecteur général - Chef de l'inspection médicale du travail.

Ministère de l'Emploi et du Travail, 53, rue Belliard,
1040 Bruxelles

Professeur à l'Université libre de Bruxelles.

Janvier 1981.

RESUME :

L'auteur décrit la législation en vigueur en Belgique qui repose sur les principes de radioprotection établis par la Commission internationale de protection radiologique (C.I.P.R.) et sur les normes Euratom.

L'évolution de celles-ci est esquissée et la situation existante est expliquée. Quelques exemples concrets montrant les difficultés pratiques rencontrées sont relatés afin d'en tirer les enseignements qui s'imposent.

Il conclut que pour les travailleurs exposés, le risque professionnel radiologique est maîtrisé grâce aux structures techniques et administratives mises en place au niveau des entreprises et au contrôle de l'efficacité de celles-ci par les autorités de santé publique.

I. INTRODUCTION

La législation belge relative à la protection de la population et des travailleurs contre le danger des radiations ionisantes assure le respect des normes de base en la matière établies sous forme de directives, conformément aux dispositions du traité instituant la Communauté européenne de l'énergie atomique (Euratom). Depuis la fusion des divers exécutifs européens, les directives se rapportant à cet objet sont prises par la Commission des Communautés européennes et dans le langage technique et administratif, on continue à les appeler "normes Euratom".

La 1ère directive fixant les normes de base date du 2/2/1959 ; les suivantes datent respectivement des 5/3/1961, 27/10/1966 et 1/6/1976.

Elles se fondent sur les principes de radioprotection élaborés par la Commission internationale de protection radiologique (C.I.P.R.) et les révisions intervenues ont eu pour but de les adapter en tenant compte de l'expérience découlant de leur mise

en application ainsi que de l'évolution des connaissances dans ce domaine où les progrès sont constants depuis une vingtaine d'années.

La parution en 1966 de la publication n° 9 de la C.I.P.R. a entraîné une révision générale des normes de base, sous forme de la directive du Conseil des Communautés européennes du 1/6/1976. Dans celles-ci, figurent donc les modifications complètes intervenues, ainsi que des annexes donnant les limites d'incorporation annuelles pour les divers radionuclides ainsi que les limites dérivées des concentrations dans l'air.

La parution de la publication n° 26 de la C.I.P.R. au début de 1977 a déclenché à l'échelon des Communautés européennes, la procédure de la révision de ces normes. Celle-ci est donc en cours et la parution très prochaine d'une nouvelle directive aura pour effet que les états membres seront tenus de modifier, à bref délai, leur législation nationale en conséquence. (*)

Il est dès lors opportun de décrire la pratique en usage actuellement et d'en développer les caractéristiques les plus importantes.

II. EXPOSE DE LA LEGISLATION BELGE

La loi de base sur laquelle s'appuie la réglementation belge est celle du 29 mars 1958 relative à la protection de la population contre les dangers résultant des radiations ionisantes modifiée par les lois des 29 mai et 3 décembre 1969.

Elle a été prise à un moment où les états et les populations étaient inquiets suite aux retombées radioactives provenant des essais nucléaires effectués dans l'atmosphère.

(*) Celle-ci a eu lieu depuis que cet exposé a été fait verbalement : il s'agit de la directive du 15 juillet 1980, portant modification des directives fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants. Journal officiel des Communautés européennes du 17/9/1980.

Cette loi a été modifiée à deux reprises, en 1963 et en 1989. Cette dernière modification particulièrement importante est la suivante : "Le Roi peut établir des redevances à percevoir au profit de l'Etat ou des organismes de contrôle agréés pour couvrir, en tout ou en partie, les frais d'administration, de contrôle ou de surveillance, résultant de l'application de la réglementation prise en exécution de la présente loi. Il fixe le taux et les modalités de paiement de ces redevances. Les arrêtés à prendre en exécution du présent alinéa seront contresignés par le Ministre de l'Emploi et du Travail, par le Ministre de la Santé Publique et par le Ministre des Affaires Economiques".

Cette possibilité de percevoir des redevances au profit de l'Etat ou des organismes agréés pour couvrir des frais d'administration, de contrôle et de surveillance n'a jusqu'à présent pas été appliquée.

Par ailleurs, cette loi est caractérisée par l'importance des peines en cas d'infraction (article 7 de celle-ci), amendes de 1.000 à 10.000 Fr et/ou emprisonnement de 3 mois à 2 ans. (Soit actuellement pour les amendes au coefficient 40, de 40.000 à 400.000 Fr).

La réglementation belge s'appuie essentiellement sur cette loi, car c'est celle dont le champ d'application était le plus étendu et les juristes avaient fait observer qu'il était très difficile d'appliquer des arrêtés royaux s'appuyant sur des lois dont les pénalités prévues sont différentes.

Les arrêtés d'application sont ceux du 28 février 1963. Ils ont été élaborés après de nombreuses consultations entre des divers départements ministériels concernés ainsi qu'entre les utilisateurs de rayonnements.

En fait, chaque département ministériel est compétent, chacun en ce qui le concerne de l'application de la réglementation. On voit déjà surgir les difficultés liées à la multiplication des départements et des administrations concernées, par exemple, Ministère des Affaires Economiques : administration de l'énergie ; Ministère de la Santé Publique ; administration de l'hygiène publique et Institut d'hygiène et d'épidémiologie ; Ministère de

l'Emploi et du Travail ; administration de l'hygiène et de la médecine du travail, administration de la sécurité ; Ministère de l'Agriculture, etc...

Dans la pratique cependant, ces difficultés ont été réduites grâce à une bonne collaboration entre les diverses administrations concernées.

En vertu de l'arrêté royal du 28 février 1963 portant règlement général de la protection de la population et des travailleurs contre le danger des radiations ionisantes, modifié par les arrêtés royaux des 17 mai 1966, 22 mai 1967, 23 décembre 1970 et 23 mai 1972, l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (Ministère de la Santé publique) s'est vu confier la tâche de collationner toutes les informations en matière nucléaire.

Conformément à la tradition administrative belge (police des établissements classés) l'importation, la production, la fabrication, etc... d'appareils, d'installations, de substances capables d'émettre des radiations ionisantes ont été classés en classes selon la nature et l'importance du risque. Il y a 4 classes.

La classe détermine la procédure à suivre pour obtenir l'autorisation. La particularité est que les établissements des 3 premières classes font l'objet d'une autorisation préalable qui, lorsqu'elle est accordée, permet d'aboutir éventuellement à une autorisation définitive, moyennant le respect de toutes les conditions fixées par le règlement ainsi que des conditions particulières complémentaires que l'autorité (les administrations techniques concernées) a le droit d'imposer.

Une caractéristique essentielle qui va dans le sens de la sécurité est que, même si l'exploitation est autorisée moyennant des conditions particulières, à tout moment il est possible d'imposer à l'exploitant de nouvelles conditions.

Cette disposition est importante. Il est apparu que la Belgique, et c'est une garantie pour la population et pour les travailleurs, était le seul pays de la Communauté européenne qui se réservait cette faculté.

La classe I comprend les établissements qui sont caractérisés par un risque de criticité. On y trouve, outre les réacteurs nucléaires, les usines de retraitement de combustibles irradiés, enrichis ou non enrichis, ainsi que les établissements où sont mises en oeuvre ou détenues des quantités de substances fissiles (uranium naturel exclu) supérieures à la moitié de la masse critique minimum.

Pour les établissements de 1ère classe, les Ministres concernés ne peuvent accorder l'autorisation d'installer ou d'exploiter l'établissement, en l'occurrence les centrales nucléaires, dans l'exemple choisi, que moyennant l'avis favorable de la Commission spéciale. Cette disposition est quasi unique dans le droit administratif belge (subordination du pouvoir exécutif à l'avis favorable d'une commission).

Cette commission spéciale se compose de fonctionnaires des départements ministériels intéressés (Ministère de la Santé Publique, administration de l'hygiène publique, Institut d'hygiène et d'épidémiologie ; Ministère de l'Emploi et du Travail, administration de la sécurité du travail, administration de l'hygiène et de la médecine du travail) ainsi que de 10 personnalités du monde scientifique appartenant à des disciplines connexes à la radioprotection (météorologie, radiobiologie, biologie, physique nucléaire, chimie nucléaire, etc...)(*)

Comme il est évident qu'un dossier relatif à une centrale nucléaire ne peut en quelque sorte être déposé en une fois et qu'il est matériellement impossible de statuer dans les délais prescrits, afin de faciliter le cheminement des dossiers et leur étude, des groupes de travail, groupes de contacts officiels par centrale, ont été institués.

Participent à ces groupes, en plus des fonctionnaires des administrations compétentes, les représentants du futur exploitant et ceux des bureaux d'études.

(*) (Cfr. Arrêté Royal du 28/2/63 portant règlement général de la protection de la population et des travailleurs contre le danger des radiations ionisantes. Article 5.6 - Composition et statut de la commission spéciale).

Au cours de ces réunions, les dossiers sont examinés et des objections sont faites, auxquelles il est répondu dans les réunions suivantes. Ce travail important se poursuit pendant plusieurs mois, voire plusieurs années. Cette manière de faire est officielle et découle de l'aspect pragmatique qu'il a bien fallu prendre en considération pour aboutir à la décision finale qui est celle de la mise en exploitation de la centrale nucléaire dans l'exemple choisi. Cette pratique est analogue pour tous les établissements de 1ère classe.

La classe II comprend les établissements où sont mises en oeuvre ou détenues des quantités quelconques de substances fissiles non reprises à la classe I (uranium naturel exclu), les établissements où sont mises en oeuvre ou détenues des quantités de nucléides radioactifs dont l'activité totale exprimée en milli ou microcuries est fixée dans un tableau (uranium naturel inclus). Ces radionuclides y étant rangés en 4 catégories selon leur radiotoxicité. Comme la réglementation ne fait pas la différence entre les sources scellées et non scellées, il s'ensuit que dans la pratique, les installations où sont mises en oeuvre des radionuclides appartiennent le plus souvent à la classe II. Dans celle-ci figurent aussi les établissements s'occupant de la collecte, du traitement, du conditionnement et du stockage des produits radioactifs, ceux utilisant des appareils non transportables générateurs de rayons X pouvant fonctionner à une tension de crête supérieure à 200 kilovolts.

Dans la classe III sont rangés les établissements où sont mises en oeuvre ou détenues des quantités de nucléides radioactifs dont l'activité est comprise dans une gamme de valeurs fixées dans un tableau analogue à celui qui vient d'être décrit (activité exprimée en sous-multiples du curie, selon 4 catégories de radioactivité). Figurent aussi en classe III, les établissements utilisant des appareils non transportables générateurs de rayons X pouvant fonctionner sous une tension de crête égale ou inférieure à 200 kilovolts, ceux utilisant des appareils transportables générateurs de rayons X.

La classe IV comprend des établissements où sont mises en oeuvre ou détenues des quantités de radionuclides fixées en fonction de leur radiotoxicité, comme pour les 2 classes précédentes. Elle comprend aussi les établissements détenant ou mettant en oeuvre des appareils contenant des substances radioactives en quantités éventuellement supérieures à celles fixées pour cette classe, à condition, entre autres, que la dose ne dépasse pas 0,1 millirem par heure en tout point accessible distant de 0,1 mètre de la distance de l'appareil. Pour la classe IV, il n'y a aucune formalité d'autorisation ou de déclaration. Toutefois, les établissements doivent respecter les autres dispositions de la réglementation.

Tous ces établissements classés, sauf pour la classe IV, sont soumis à un régime d'autorisation, la classe de l'établissement déterminant l'autorité compétente habilitée à délivrer le permis d'exploitation et pour ce faire, fixant la procédure à suivre ainsi que les conditions à remplir par l'exploitant. En bref, ces établissements doivent faire l'objet d'un agrément ("agrégation" selon le belgicisme en usage).

L'"agrégation" constitue donc une des caractéristiques principales de la réglementation dont les autres sont : le contrôle physique des radiations et le contrôle médical des travailleurs exposés.

Le contrôle physique des radiations est confié à un chef de service dont la qualification et l'expérience exigées varient selon l'importance de l'établissement (la "classe" au sens de la réglementation). Ces missions consistent en la surveillance radiologique des installations (sécurité et salubrité) ainsi que du voisinage. Celle-ci comporte notamment la délimitation et la signalisation des zones contrôlées, l'examen et le contrôle des dispositions et des moyens de protection existants, l'examen et l'approbation préalable des projets d'installations comportant un danger d'irradiation ou de criticalité, la détermination de l'intensité du rayonnement et l'indication de la nature des radiations dans les endroits intéressés.

Le service de contrôle physique, hormis pour les établissements de 1ère classe, peut être confié à un organisme agréé. Dans ceux-ci, un tel service fonctionne à demeure sur place et la sécurité est en outre contrôlée par un organisme agréé auquel l'établissement doit s'affilier. Les activités de ce service et organisme sont elles-mêmes supervisées par l'administration de la sécurité du travail du Ministère de l'Emploi et du Travail. De la sorte, il existe dans ces établissements de 1ère classe, un contrôle à 3 niveaux :

- 1) le service de contrôle physique de l'établissement ;
- 2) le contrôle de la sécurité effectué par l'organisme agréé (qui est donc extérieur à l'établissement) ;
- 3) la supervision par l'administration de la sécurité du Ministère de l'Emploi et du Travail (inspection technique du travail).

Pour le contrôle du site et des divers effluents, la supervision est assurée par l'Institut d'hygiène et d'épidémiologie du Ministère de la Santé Publique. Pour être complet, nous ajouterons que le contrôle médical des travailleurs dont nous allons parler est supervisé par l'inspection médicale du travail de l'administration de l'hygiène et de la médecine du travail du Ministère de l'Emploi et du Travail.

Le contrôle médical des travailleurs exposés.

Il est exercé par des médecins du travail agréés. Cette protection radiologique se fonde sur la notion de la zone contrôlée qui est un lieu de l'espace où des personnes professionnellement exposées sont susceptibles de recevoir une dose de 1,5 mrem/an, dans cette zone s'exerce un contrôle physique des radiation et un contrôle médical des travailleurs exposés.

Les travailleurs doivent porter un dosimètre d'un type agréé afin d'effectuer le relevé individuel des doses reçues. Les doses sont fournies au service médical par le service du contrôle physique, de sorte que le médecin interprète pour chaque travailleur, en fonction de ses antécédents familiaux et personnels qu'il est seul à connaître, la signification biologique de la dose reçue,

celle-ci étant un des éléments sur lequel il se base pour décider de l'aptitude au poste de travail considéré ou de l'écartement éventuel de ce poste.

La dose annuelle admissible est fixée à 5 rem par an pour les irradiations totales, pour les travailleurs âgés de 18 ans et plus. Elle doit s'intégrer dans la formule de base, établie de la manière suivante : $D = 5 (N-18)$, N étant l'âge du travailleur et D la dose exprimée en rem. En outre, en 13 semaines, il ne peut être délivré une dose supérieure à 3 rem (ce qui représente 3 rem par trimestre). De plus, les protections (blindages) doivent être telles que la dose de 100 millirem par semaine pour un travailleur travaillant à raison de 8 heures par jour ne soit pas dépassée. (En tenant compte de 5 rem par an comme dose maximale admissible et de ce qu'une année comprend grosso modo 50 semaines, on aboutit à la dose semaine de 100 millirem qui est celle prise en compte pour le calcul des blindages. La réglementation fixe également les doses maximum admissibles pour les irradiations partielles.

Le relevé des doses individuelles est repris dans un tableau d'irradiation dont l'employeur doit adresser une fois l'an (au plus tard le 1er février de l'année qui suit celle à laquelle il se rapporte) 3 copies conformes à l'Administration de l'hygiène et de la médecine du travail du Ministère de l'Emploi et du Travail.

En fait, le tableau d'irradiation est établi à partir des doses consignées dans la ou les fiches d'irradiation qui sont insérées dans le dossier médical des travailleurs.

Le tableau d'irradiation avec les doses reçues et au verso duquel figurent des renseignements administratifs concernant l'entreprise et le travailleur vise à renseigner les autorités de santé publique sur les risques encourus par les travailleurs exposés. Un exemplaire de ce tableau (il y en a 3) est transmis par le Ministère de l'Emploi et du Travail au Ministère de la Santé Publique qui a dans ses attributions la détermination de la dose population. Cette dose se calcule en prenant entre au-

tres en considération la dose moyenne reçue par les travailleurs.

Sur le plan de la réglementation, il s'impose d'attirer l'attention sur les faits suivants :

- "le risque radiologique" pour les travailleurs est un cas particulier parmi les risques d'accident ou de maladie professionnelle pouvant survenir sur les lieux de travail et il se traite donc dans le cadre de l'institution des services médicaux du travail, lesquels ont été créés par l'Arrêté royal du 16/4/65 (Moniteur belge du 4/6/65) et dans la pratique ont fonctionné depuis le 1/8/58.

Comme on le sait, les services médicaux du travail sont soit propres à une entreprise, soit communs à plusieurs entreprises et ils s'appellent alors des services médicaux interentreprises.

Les services médicaux interentreprises ont une compétence territoriale et/ou professionnelle. Ils sont agréés par le Ministre de l'Emploi et du Travail sur avis favorable d'une commission d'agrégation. Les critères d'agrégation sont relatifs :

- aux locaux
- au matériel
- au personnel (parmi ceux-ci figurent ceux relatifs à la qualification des médecins du travail).

Les tâches et les missions de ces services sont prévus à l'article 104-§2 du règlement général pour la protection du travail (en abrégiation R.G.P.I.).

En ce qui concerne le contrôle sanitaire des travailleurs, les radiations ionisantes figurent dans la liste des agents nocifs pour lesquels la surveillance médicale des travailleurs est imposée. Il s'agit du groupe 2 de cette liste (2.1).

Parmi les examens spéciaux à pratiquer, figurent à titre exemplatif : le scanning des organes ou de l'organisme entier ou le dosimétrie sanguine, urinaire, biliaire : ou l'examen hématologique ou l'examen dermatologique, oculaire, génital ou le dosage des acides aminés urinaires. La fréquence de l'examen médical périodique est semestrielle pour les travailleurs de catégorie A,

c'est-à-dire pour ceux travaillant dans une zone contrôlée, annuelle pour les autres . (*)

III. ANALYSE DE LA SITUATION

Cette analyse est faite à partir des données des tableaux d'irradiation adressés par les employeurs au sujet des travailleurs exposés à l'administration de l'hygiène et de la médecine du travail. Celle-ci a élaboré un dossier par employeur et un dossier par travailleur, ainsi que nous l'avons exposé dans une publication antérieure sur ce sujet (réf.16).

La synthèse des données essentielles relatives aux travailleurs exposés figure dans le tableau ci-après ((Tableau I). Ils sont répartis en quatre grands secteurs d'activité exposant aux radiations ionisantes : les établissements de soins, les entreprises industrielles et commerciales, la recherche et l'enseignement et les "producteurs". Il faut entendre par cette rubrique les grandes installations nucléaires (Centre de l'énergie nucléaire de Mol, les usines de fabrication de combustible nucléaire, les centrales nucléaires, l'usine de retraitement de combustible irradié).

On constate que de 1965 à 1971, soit en six ans, globalement le nombre de travailleurs a plus que doublé puisqu'il passe de 5.491 à 11.297.

En considérant les 4 secteurs séparément, les tableaux I et II font apparaître que le nombre de travailleurs exposés à un risque a plus que doublé dans les établissements de soins, il est multiplié par 2,6 dans les entreprises industrielles et commerciales (il passe de 977 à 2.514), il est multiplié par un peu moins de 4 dans l'enseignement et la recherche (il passe de 1.101 à 4.337), il augmente de 20 % environ pour les "producteurs" (il passe de 1.881 à 2.044).

L'augmentation du nombre de travailleurs exposés dans les établissements de soins est lié au développement de la médecine nu-

(*) (Cfr. R.G.P.T. annexe II à l'article 124 -2e- Arrêté royal du 10/4/74 - Moniteur belge du 8/5/74).

cléaire et à celui de l'usage des radioisotopes à des fins diagnostiques et thérapeutiques. Ceux-ci sont également la cause principale de l'augmentation du nombre de travailleurs exposés dans les entreprises industrielles et commerciales et dans les établissements d'enseignement et de recherche. L'augmentation du nombre des travailleurs exposés chez les "producteurs" est liée à la mise en service de centrales nucléaires. Pour l'année 1978, le nombre de travailleurs exposés dans les 4 grands secteurs d'activités nucléaires était respectivement de 7.885 pour les établissements de soins, 3.889 pour les entreprises industrielles et commerciales, 6.374 pour l'enseignement et la recherche et 2.824 pour les "producteurs", soit au total 20.972 travailleurs.

IV. COMMENTAIRES

Chaque dépassement de dose fait l'objet depuis la mise en vigueur de la réglementation d'une enquête approfondie effectuée sur place et bien plus, il en a été de même lorsque, par comparaison avec des installations similaires, les doses reçues par les travailleurs dans un type donné d'installation se révélaient être supérieures.

La prise de conscience par les travailleurs eux-mêmes et par les employeurs de l'importance du risque radiologique est attestée par le nombre de cas dans lesquels, pour un travailleur donné, les doses n'ont pas été mesurées ou ont été partiellement mesurées, ce nombre a fortement diminué puisqu'il était en 1955 de 23,22 % (pour 1.275 travailleurs sur 5.491 travailleurs). D'année en année, ce chiffre a régulièrement diminué et en 1970, il était de 0,1 % (12 cas sur 11.297 dossiers de travailleurs). Depuis 1970, ce chiffre reste inférieur à 0,1 %.

Relevons qu'une grande proportion de travailleurs professionnellement exposés reçoivent en fait une dose nulle et que, par exemple, en 1969, 1970 et 1971, 30 % des travailleurs environ n'ont pas reçu de dose de radiation professionnelle. Depuis cette da-

te, cette proportion a tendance à ^{augmenter} ~~s'abaisser~~ et en 1978, elle est de l'ordre de 40,5 % (8.494 cas de dose nulle sur 20.972 dossiers).

Les dépassements de dose de 1969 à 1971 représentaient chaque année une proportion de l'ordre de 2 % des travailleurs professionnellement exposés (voir article antérieur - bibliographie : n°16). Depuis 1971, ces chiffres ont encore été abaissés et à titre d'illustration, voici quelques données sur l'année 1978 : sur les 20.972 travailleurs professionnellement exposés, 20.593 ont reçu une dose inférieure ou égale à 1,5 rem, 372 ont reçu une dose se situant entre plus de 1,5 rem et 5 rem (cfr. tableau II).

L'expérience découlant d'enquêtes effectuées sur le lieu du travail nous a appris que très souvent les doses relativement élevées reçues par les travailleurs sont dues à un enchaînement de causes, c'est ainsi que par exemple, dans un hôpital ancien, aux locaux vétustes, bien qu'équipé de façon moderne, nous avons constaté que souvent les malades devant subir des examens radiographiques devaient parcourir de longs couloirs et attendre dans ceux-ci pour subir ces examens. Il s'ensuivait des refroidissements fréquents et pour éviter ceux-ci, bon nombre d'examens radiographiques (RX du thorax) étaient pratiqués dans les salles ou chambres d'hospitalisation (au lit du malade), de sorte que le personnel infirmier recevait ces doses de rayonnements supérieures à la moyenne, par suite de cette pratique.

Nous avons aussi observé dans beaucoup d'hôpitaux et de cliniques que durant la période des vacances, le personnel paramédical des services de radiologie était plus irradié professionnellement car il était amené, à cause des congés, à effectuer des remplacements de collègues plus au courant qu'eux des techniques utilisées.

Nous avons aussi observé que généralement dans les installations à haut risque (centres nucléaires, centrales atomiques) les mesures de protection rigoureuses et la meilleure discipline concourent au fait que pratiquement ces travailleurs sont professionnellement peu irradiés.

Encore faut-il souligner une tendance qui tend à se développer , à savoir : confier à des entreprises sous-traitantes des travaux de réparations ou d'entretiens dans les zones contrôlées. Comme ce personnel est extérieur à ces entreprises, les doses reçues par celui-ci ne figurent pas dans les informations fournies par ces établissements à haut risque. Cette remarque nuance donc les propos optimistes que nous venons d'émettre.

A l'avenir, il s'imposera de pratiquer une plus fine caractérisation du personnel soumis au risque de radiation et des difficultés sont à prévoir lors de la mise en application du système d'unité international (système S.I.); notamment pour les mesures des doses de radiations. De telles données sont actuellement disponibles pour certains pays (réf. 18, 19).

V. CONCLUSIONS

La Belgique est un des rares pays où depuis plus de 15 ans, des données globales sont disponibles au sujet de l'irradiation professionnelle des travailleurs exposés (réf. 19).

Le risque radiologique qui découle de cette exposition professionnelle est maintenu dans des limites acceptables qui sont celles fixées par les instances internationales (I.C.R.P. - Commission internationale de protection radiologique, entre autres).

Ce bon résultat a pu être obtenu grâce à une excellente collaboration entre les employeurs, les travailleurs et leurs représentants, entre les services de contrôle physique des radiations et les services médicaux du travail sur les lieux du travail ainsi qu'avec les divers services d'inspection des départements ministériels concernés.

TABLEAU I

Nombre de travailleurs exposés

Année	Etablissements de soins	Entreprises Industrielles et commerciales	Recherche et enseignement	Producteurs	Total
1965	1532	977	1101	1881	5491
1970	3237	2070	4100	1890	11297
1971	3706	2514	4337	2044	12601
1975	5697	3071	6510	2292	17570
1976	6393	3383	6625	2445	18846
1977	8222	3815	5913	2652	20602
1978	7885	3889	6374	2824	20972

TABLEAU II

Répartition par secteur des doses d'origine professionnelle
Renseignements puisés dans les copies des tableaux d'irradiation

	Secteurs	Doses non mesurées	Doses partiellement mesurées	Valeur des doses mesurées en rem				Dépassements			Totaux
				Nullés	jusque 0,150	+ de 0,150 à 1,5	+ de 1,5 à 5	+ de 5 rcm	+ de 3 rcm 13 sem.	+ de 3 rem en 1 fois	
1973	Etablissements de soins	2		856	2320	1295	174	2	2	5	4656
	Entreprises industrielles et commerciales			1388	658	389	48			2	2485
	Recherche et enseignement			3248	1816	972	57	1	2	4	6100
	Producteurs			1055	549	393	127	13	3		2140
	Totaux			<u>6547</u>	<u>5343</u>	<u>3049</u>	<u>406</u>	<u>16</u>	<u>7</u>	<u>11</u>	<u>15381</u>
	1974	Etablissements de soin			1132	2434	1393	164	3	1	6
Entreprises industrielles et commerciales				1583	807	376	48		6	1	2821
Recherche et enseignement				3096	2151	947	62	2	1	10	6269
Producteurs				1257	390	469	186	7			2309
Totaux				<u>7068</u>	<u>5782</u>	<u>3185</u>	<u>460</u>	<u>12</u>	<u>8</u>	<u>17</u>	<u>16532</u>

TABLEAU II (suite)

Secteurs	Doses non mesurées	Doses partiellement mesurées	Valeur des doses mesurées en rem				Dépassements			Totaux
			Nullés	jusque 0,150	+ de 0,150 à 1,5	+ de 1,5 à 5	+ de 5 rem	+ de 3 rem à 13 sem.	+ de 3 rem en 1 fois	
1975	Etablissements de soins	1	1246	2886	1422	138	2	2		5697
	Entreprises industrielles et commerciales		1261	1318	435	54	1	2		3071
	Recherche et enseignement	.	3206	2422	826	47	3		6	6510
	Producteurs		1099	603	446	142	2			2292
	Totaux	<u>1</u>	<u>6812</u>	<u>7229</u>	<u>3129</u>	<u>381</u>	<u>8</u>	<u>4</u>	<u>6</u>	<u>17570</u>
1976	Etablissements de soins		1501	2895	1860	151	11		1	6419
	Entreprises industrielles et commerciales		1653	937	539	64				3193
	Recherche et enseignement		3555	1995	1024	40			2	6616
	Producteurs		1099	525	607	213			1	2445
	Totaux		<u>7808</u>	<u>6352</u>	<u>4030</u>	<u>468</u>	<u>11</u>		<u>4</u>	<u>18673</u>

TABLEAU II (suite)

	Sccteurs	Doses non mesurées	Doses partiellement mesurées	Valeur des doses mesurées en rem						Totaux	
				Nullles	jusque 0,150	+ de 0,150 à 1,5	+ de 1,5 à 5	+ de 5 rem	+ de 3 rem 13 sem.		+ de 3 rem en 1 fois
1977	Etablissements de soins			2114	4007	1940	153	3	3	2	8222
	Entreprises industrielles et commerciales			1933	1221	601	55		1	4	3815
	Recherche et enseignement			3570	1726	588	28			1	5913
	Producteurs			1232	580	640	197	1	2		2652
	Totaux			<u>8849</u>	<u>7534</u>	<u>3769</u>	<u>433</u>	<u>4</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>20602</u>
1978	Etablissements de soins			2569	3668	1539	107	2			7885
	Entreprises industrielles et commerciales			2058	1252	516	59		1	3	3889
	Recherche et enseignement			2705	2730	899	39	1			6374
	Producteurs			1162	662	833	167				2824
	Totaux			<u>8494</u>	<u>8312</u>	<u>3787</u>	<u>372</u>	<u>3</u>	<u>1</u>	<u>3</u>	<u>20972</u>

BIBLIOGRAPHIE :

- (1) Directive du Conseil des Communautés européennes du 2/2/59 - Journal officiel des Communautés européennes du 20/2/59.
- (2) Directive du Conseil des Communautés européennes du 5/3/62 - Journal officiel des Communautés européennes du 9/7/62.
- (3) Directive du Conseil des Communautés européennes du 27/10/65 - Journal officiel des Communautés européennes du 26/11/65.
- (4) Directive du Conseil des Communautés européennes du 1/6/76 - Journal officiel des Communautés européennes du 12/7/76.
- (5) Loi du 29/3/56 relative à la protection de la population contre les dangers résultants des radiations ionisantes (Moniteur belge du 30/4/58), modifiée par les lois des 29/5/63 (Moniteur belge du 26/6/63) et 3/12/69 (Moniteur belge du 6/6/70).
- (6) Arrêté Royal du 28/2/63 portant règlement général de la protection de la population et des travailleurs contre les dangers résultants des radiations ionisantes (Moniteur belge du 16/5/63).
- (7) Arrêté Royal du 28 février 1963 modifiant le Règlement général pour la Protection du Travail (Moniteur belge du 16/5/63).
- (8) Arrêté Royal du 15/3/63 modifiant le Règlement général pour la Protection du Travail (Moniteur belge du 16/5/63).
- (9) Arrêté Royal du 17/5/66 modifiant l'Arrêté Royal du 28/2/63 portant règlement général de la protection de la population et des travailleurs contre le danger des radiations ionisantes (Moniteur belge du 4/6/66).
- (10) Arrêté Royal du 22/5/67 modifiant l'Arrêté Royal du 28/2/63 portant règlement général de la protection de la population et des travailleurs contre le danger des radiations ionisantes (Moniteur belge du 2/9/67).
- (11) Arrêté Royal du 23/12/70 modifiant l'Arrêté Royal du 28/2/63 portant règlement général de la protection de la population et des travailleurs contre le danger des radiations ionisantes (Moniteur belge du 17.2.71).
- (12) Arrêté Royal du 23/5/72 modifiant le tableau A de l'annexe de l'Arrêté Royal du 28 février 1963 portant règlement général de la protection de la population et des travailleurs contre le danger des radiations ionisantes (Moniteur belge du 27/6/72).
- (13) Arrêté Royal du 16/4/65 instituant des services médicaux du travail, réorganisant les secours et premiers soins dans les lieux de travail et modifiant les titres II et III du Règlement Général pour la Protection du Travail (Moniteur belge du 4/6/65).
- (14) Arrêté Royal du 2/8/68 relatif aux services médicaux du travail et modifiant le titre II, chapitre III, section I, du Règlement Général pour la Protection du Travail (Moniteur belge du 24/8/68).
- (15) Arrêté Royal du 3/12/59 modifiant le titre II, chapitre III, section I, du Règlement Général pour la Protection du Travail (Moniteur belge du 7/1/70).
- (16) HUBLET, P., "Étude sur la protection des travailleurs contre les radiations ionisantes en Belgique, Journal belge de Radiologie, 56 2 (1973) 184-189.
- (17) Arrêté Royal du 10 avril 1974 étendant la surveillance médicale des travailleurs confiée aux services médicaux du travail et modifiant les titres II et V du règlement général pour la protection du travail (Moniteur belge du 8 mai 1974).
- (18) "Sources et effets des rayonnements ionisants", Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des rayonnements ionisants, Rapport à l'Assemblée générale et annexes, 1977.
- (19) "Occupational radiation exposure in nuclear fuel cycle facilities", International Atomic Energy Agency, Vienna, 1980.- Proceedings of a symposium, Los Angeles, 18-22 June 1979 - jointly organized by IAEA and NEA (OECD).

SAMENVATTING

De schrijver geeft een overzicht van de in België vigerende wetgeving die steelt op de beginselen van de radioprotectie die vastgelegd werden door de Internationale Commissie voor Stralingsbescherming (I.C.S.) en op de Euratom maatstaven.

De evolutie van deze beginselen en maatstaven wordt geschetst en de bestaande toestand wordt uitgelegd. Enkele met de werkelijkheid overeenstemmende voorbeelden die de praktische moeilijkheden illustreren worden aangehaald ter einde de nodige lessen te trekken. Hij eindigt met de bewering dat het stralingsgevaar voor de beroepshalve blootgestelde werknemers in toom wordt gehouden dank zij de huidige technische en administratieve voorzorgsmaatregelen op het niveau van de ondernemingen en volgens de daarop uitgeoefende controle door overheidsinstellingen (Volksgezondheid) voor wat hun efficiency betreft.

SUMMARY

The author describes the set of rules in force in Belgium, which are based on the principles set by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) and on the norms of Euratom. Their development is outlined and their present state is explained. A few real-case instances, showing the difficulties encountered in practice, are mentioned in order to draw the necessary lessons.

He comes to the conclusion that the radiological hazard for the professionally exposed worker is overcome thanks to the technical and administrative means set up at the level of each enterprise and to the supervision of their efficiency as it is performed by the public health authorities.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Autor beschreibt die in Belgien geltende Gesetzgebung, die sich auf die von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) aufgestellten Strahlenschutzgrundsätzen und Euratom-Normen stützt.

Die Entwicklung dieser Grundsätze wird aufgezeigt, und die gegenwärtige Situation wird erklärt. Einige konkrete Beispiele, die die praktischen Schwierigkeiten illustrieren, werden mit der Absicht angeführt, die notwendigen Lehren daraus zu ziehen.

Er konkludiert, daß das Strahlenrisiko der berufshalber exponierter Personen beherrscht wird durch die technischen und administrativen Maßnahmen der Betriebe und der Kontrolle ihrer Wirksamkeit durch die Gesundheitsbehörden.

TECHNETIUM TRANSFER THROUGH THE FOOD CHAIN :
AN ANALYSIS OF PRESENT KNOWLEDGE AND PERSPECTIVES FOR FUTURE RESEARCH.

Van Bruwaene R., Kirchmann R. and Gerber G.B.

Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire, Department of Radiobiology,
B-2400 Mol, Belgium.

December 1980.

SUMMARY.

⁹⁹Techneium can be liberated in considerable amounts, particularly from reprocessing plants. In view of its long half life of 2.15×10^5 years, the risk due to environmental contamination by ⁹⁹technetium appeared not urgent a priori, but recent data on the transfer of technetium from soil to plant have indicated much higher factors of concentration than previously assumed. Most likely the ratio of technetium to iodine will never exceed a value of 10^{-3} so that the thyroid dose should remain well below the presently accepted level of 1.5 rem/year. Nevertheless, local conditions may vary and many unknown factors affect this estimate, so that it appears unsafe to rely exclusively on transfer factors of iodine for the assessment of technetium hazards as is done now. Experimental determination of technetium transfer factors in middle sized animals is, therefore, urgent. In view of the concentration of technetium in the thyroid, the influence on transfer of chemical form, thyroid activity, dietary iodine should be studied. Chemical toxicity of ⁹⁹technetium may not be negligible and should be evaluated.

INTRODUCTION.

Techneium-99 is produced at high yield (about 6 % from ²³⁵U fission). Other technetium isotopes are of minor importance for radioprotection, ^{99m}Tc plays, however, a role only at a very local scale and we shall not discuss it further in this context. The present inventory of ⁹⁹Tc in the environment originates mainly from weapon's tests (about 1000 Ci) and from the release from reprocessing plants (about 1000 Ci/year at Windscale) (1,7). Release from power reactors is only one hundredth or less than from reprocessing plants, and production by spontaneous fission and from decay of ^{99m}Tc used in nuclear medicine are negligible. Production of ⁹⁹Tc in an pressurized water reactor has been compared with that of other important fission products (8). About 0.84 kg of ⁹⁹Tc is produced per metric ton of uranium fuel compared to 1.3 kg of ^{137m}Cs and 0.55 kg of ⁹⁰Sr (4).

The significance of technetium-99 for human health had formerly been neglected because of its long half life of 2.5×10^5 years, but recent studies indicate that technetium may be concentrated in the biosphere, particularly in marine organism and plants. Technetium, therefore, requires attention at an approximately similar level of urgency as iodine-129. Considerable information is already available concerning the behavior of technetium in plants and marine organisms whereas almost nothing is known, except data obtained after injection of ^{99m}Tc , concerning its behavior in mammals.

TRANSFER OF TECHNETIUM IN PLANTS AND MARINE ORGANISM.

The chemical and physiological behavior of technetium has often been compared to that of iodine. In many respects, chemistry of technetium resembles, however, more that of rhenium. Pertechnetate is the principal form under which technetium is released in liquid effluents. Elemental technetium is non-volatile, but the oxide Tc_2O_7 can enter the atmosphere during reprocessing, and the volatile fluoride can be formed during the UF_6 conversion process. Aerial releases of technetium seem, however, less important than liquid ones (30). Pertechnetate is reduced in contact with cell (4) - including the microflora of the soil (9, 19, 23). Moreover, technetium can form a great variety of complexes, particularly with organic molecules, such as cysteine, as well as with biomacromolecules. This behavior makes it difficult to study experimentally the ecology of technetium under in site conditions because environmental technetium levels are almost everywhere too low to be followed directly, and added Tc tracers may behave in an unpredictable manner differing from that of environmental technetium. A soil to plant transfer factor of 0.25 (pCi/g fresh plant per pCi/g dry soil) has earlier been assumed (2). More recent data (9, 23, 25, 26, 27, 30, 33) suggest, however, that this may be an underestimate and that in some cases as much as 1000 times larger values may be found under experimental conditions. On the other hand, the latter experiments may markedly overestimate the actual behavior since equilibrium does not exist under these conditions, and the chemical species present in soil may differ markedly from those applied artificially. Nevertheless, until better experimental data become available, a soil to plant concentration factor of 10-50 seems appropriate (25, 26, 27, 30).

Accumulation of technetium in lower organism has been studied mainly in marine environments (4, 10, 19, 22). High accumulation of technetium, with concentration factors of more than 1,000, is found in organism which accumulate iodine such as brown algae. Concentration factors of less than 10 have usually been observed in molluscs, crustacea, echinoderms although in certain organs such as the hepatopancreas of crustacea much higher concentrations (e.g 180 in that of shrimps) may occur. Among crustacea the lobster represents an exception with a concentration factor of about 1,000 where again highest activities are found in the hepatopancreas. Certain polychaetes perhaps due to their living in the sediment display concentration factors in the order of 100 whereas the concentration in fishes does not appear to exceed much that of the water.

TRANSFER OF TECHNETIUM IN MAMMALS.

As mentioned above the metabolic behavior of technetium in mammals resembles in a qualitative manner that of iodine. Both isotopes are readily absorbed by the gastro-intestinal tract, diffuse into all organs including the developing organism and are concentrated mainly in thyroid. They are excreted into milk, urine, saliva and gastric juices. The critical organ for exposure to soluble technetium compounds is, therefore, the thyroid, but significant doses may also be delivered to the intestinal tract, particularly from insoluble technetium compounds. In the absence of valid data on the behavior of technetium the transfer coefficients for iodine are commonly utilized (6, 16, 17, 21, 28) to assess the hazards of technetium (table 1), but this may give rise to serious errors.

	MEAT fraction/kg	MILK fraction/l	LIVER fraction/kg
E.G. Commission (6)	1×10^{-2}	1×10^{-2}	4×10^{-2}
IAEA proposal (17)	2×10^{-2}	1×10^{-2}	
Iodine	2×10^{-2}	1×10^{-2}	2×10^{-2}

TABLE 1 : Transfer coefficients proposed for Technetium.

Indeed, nearly all data available on metabolism of technetium in mammals originate from human studies with ^{99m}Tc , an isotope widely utilized in nuclear medicine. They indicate that technetium excretion displays three exponential components with respective turnover times of 1.6, 3.7 and 22 days, the latter component playing only a minor role. Technetium is initially excreted mainly into urine; fecal excretion raises to maximal values 3-4 days after administration and may determine the slow component of turnover (3). Other investigations in man indicate that technetium is excreted into saliva, gastric juices (12) and milk (13, 24, 31, 34) and that it can be taken up by the nursing child (24). Studies in rats (14, 15, 18) suggest that the technetium concentration in the rat embryo and the mammary gland is about the same, i.e. about 0.2 % of the dose/g tissue 24 hours after injection. Information on the behavior of injected technetium is, however, unsuitable to calculate transfer coefficients in the environment in as much as absorption of technetium compounds depends on valency and the presence of complexing agents and even under clinical conditions is highly erratic (12, 32).

In view of the paucity of pertinent data and the uncertainty to which extent iodine data are applicable, it is mandatory that actual transfer coefficients of technetium be determined experimentally. Preferably such studies should not only be carried in rodents but, in view of the influence of diet and intestinal microflora, also in cattle. Middle-sized animals, such as sheep, given ^{99m}Tc as label diluted with different amounts of ^{99}Tc , would allow replicate determinations of excretion in milk, urine and feces as well as of organ content and would make it possible to study the influence on absorption of the different forms under which technetium may occur in the environment. Eventually, plants grown on soil contaminated with technetium could be used as food.

Thyroid is the critical organ for the hazard from technetium, and technetium is absorbed by thyroid cells but cannot replace iodine in thyroid hormones. Technetium metabolism in the thyroid depends on thyroid activity and on dietary uptake of iodine. Pertechnetate uptake by the thyroid is in the order of 8-10 % in the normal thyroid and 6-30 % in the hyperactive one (11), but an uptake of only 2 % has also been reported (30).

Large differences exist within the European Community or between the Community and the U.S. with respect to dietary uptake of iodine and thyroid activity, and the influence of these factors on transfer of technetium would, therefore, merit a detailed investigation. Differences between sites may even be more marked for livestock than for man, since man relies on a more diversified diet than cattle. Sheep, proposed above for the determination of transfer coefficients, would also be eminently suitable to follow the effect of dietary iodine and thyroid activity and to correlate it with external measurement of thyroid uptake and with thyroid histology. Such data could eventually give rise to recommendations for animals (human) diets minimizing the uptake of ^{99}Tc and of ^{129}I .

In this context, a comparison between the behavior of ^{99}Tc and of ^{129}I appears useful, as both radioisotopes have recently been implicated in the long range hazards of nuclear energy (table 2).

	^{99}Tc	^{129}I
Half life years	2.15×10^5	1.5×10^7
Spec. Act. mCi/g	17.14	0.1785
g/mCi	0.0583	5.6
Eff. Energy keV	84.6	40
Dose rate rad/mCi/hr	180	85.2
mrad/pCi/yr	1.58	0.748
nCi/g thyroid for 1.5 rem/yr	0.95	2.00
ng/g thyroid for 1.5 rem/yr	55	11200

TABLE 2 : Comparison between ^{99}Tc and ^{129}I .

Both radioisotopes are liberated from nuclear industries and both have a relatively long half life. As ^{99}Tc has a half life about 75 times shorter than ^{129}I and has almost twice its effective beta energy, it would be more than 100 times more toxic than ^{129}I from a radiological point of view.

The limiting dose of 1.5 rem/year would be delivered to the thyroid if 0.016 % of its iodine were replaced by technetium-99, compared to about 3 % for ^{129}I (29). It seems unlikely, however, that such large technetium/iodine ratios could ever occur in the environment, except perhaps at a very local scale. In addition, it is likely that the thyroid discriminates to some extent between technetium and iodine.

In view of its relatively low specific activity, technetium may, however, not only exert harmful effects via its radiation but may also be toxic at low levels (e.g. at a ratio Tc/I of less than 1 %) from a chemical point of view, an aspect not at all explored so far in mammals, although some experiments indicate such toxicity in plants. It would be desirable, therefore, to investigate, preferably at first in rodents, which effects continuous technetium application has on the thyroid (histopathology, tumor incidence, iodine uptake, hormone levels). These effects could be compared with those from ^{99}Tc which has a ten times longer half life (2.6×10^6 years) and a correspondingly lower radiological but the same chemical toxicity. In addition, the effects of technetium could be compared with those of external or internal irradiation.

REFERENCES :

- (1) APROSI G., Le technetium, informations générales et synthèse bibliographique, Electricité de France, Serv. Appl. Electricité et Environnement, Chatou, France (1979).
- (2) BAKER D.A., HOENES G.R. and SOLDAT J.K., Food as interactive code to calculate internal radiation doses from contaminated food products, BNWL-SA 5523 (1976).
- (3) BEASLEY T.M., PALMER H.E. and NELP W.B., Distribution and excretion of technetium in humans, Health Phys. 12 (1966) 1425-1435.
- (4) BITTEL R., Le technetium et l'environnement, Radioprotection, 15 (1980) 141-146.
- (5) CARMODY R. and HIGHMAN J.H., Uptake of pertechnetate in mammary tissue and thyroid after pregnancy, Brit. J. Radiol. 48 (1975) 63-64.
- (6) Commission of the European Communities, Méthodologie pour l'évaluation des conséquences radiologiques des rejets d'effluents radioactifs en fonctionnement normal, CEA-NRPC Doc. 365/79, Brussels (1979).
- (7) EHRHARDT K.G. and ATTREP M., Technetium in the atmosphere, Environm. Sci. Technol. 12 (1978) 55-57.
- (8) FINNEY B.C., BLANCO R.E., DAHLMAN R.C., HILL G.S., KITTS F.G., MOORE R.E. and WITHERSPOON J.P., Correlation of radioactive waste treatment costs and the environmental impact of waste effluents in the nuclear fuel cycle-reprocessing light-water reactor fuel, ORNL/NUREG/TM-6 (1976).
- (9) GAST R.G., LANDA E.R. and THORVIG L.J., The behavior of technetium-99 in soils and plants, USAEC Report COO-2447 - 4 and 5 (1977).

- (10) GEARING P.J., van BAALEN C. and PARKER P.L., Biochemical effects of technetium-99 pertechnetate on microorganisms, *Plant Phys.*, 55 (1975) 240.
- (11) HARPER P.V., LATHROP K.A., McCARDLE R.J. and ANDROS G., The use of technetium-99m as a clinical scanning agent for thyroid, liver and brain, *Medical Radioisotope scanning*, Vol. II, IAEA (1964).
- (12) HAYS M.T., Technetium-99m-Pertechnetate transport in man. Absorption after subcutaneous and oral administration, secretion into saliva and gastric juice, *J. Nucl. Med.*, 14 (1973) 331-335.
- (13) HEATON B., The build-up of technetium in breast milk following the administration of Technetium-99m labeled macroaggregated albumin, *Brit. J. Radiol.*, 52 (1979) 149-150.
- (14) HEIDENREICH P., KRIEDEL H., HOER G., GOEGER R., KEYL W. and SCHRAMM E., Technetium-99m - DTPA (Sn) : Biologische und klinische Untersuchungen zu Verteilung, Kinetik und in-vivo Stabilität einer neuen Clearance Substanz, Radioaktive Isotope in Klinik und Forschung II. R. Hoefer ed. (1975) Urban Schwarzenberg, München, 174-185.
- (15) HOER G., KRIEDEL H., HEIDENREICH P. and SCHRAMM E., Untersuchungen zum biologischen Verhalten von Radio-Technetium, Radio-Indium und Radio-Gallium während der Laktation, *Intern. J. Appl. Rad. Isot.*, 24 (1973) 525-529.
- (16) HOFFMAN F.O. and BAES C.F. (eds). A statistical analysis of selected parameters for predicting food chain transport and internal dose of radionuclides, ORNL/NUREG/T-282 (1979).
- (17) IAEA, Generic models and parameters for assessing the environmental transfer of radionuclides in predicting exposure to critical groups from routine releases, Draft manuscript (1980).
- (18) KRIEDEL H., Pharmakologische und biokinetische Daten bei Verwendung von Technetium-99m markierten Phosphatverbindungen, *Med. Welt*, 28 (1977) 55-60.
- (19) MASSON M., APROSI G., LANICEF A., GUEGENAT P. and BELOT Y., Approches expérimentales de l'étude des transferts du technetium à des sédiments et à des espèces marines benthiques, IAEA-SM-248/124 (1980).
- (20) MOUSNY J.M. and MYTTEAERE C., Behaviour of technetium in typical European soils, in press.
- (21) NG, Y.C., COLSHER C.S. and THOMPSON S.E., *Transfer factors for assessing the dose from radionuclides in agricultural products*, UCRL-82545, Rev. 11 (1979).
- (22) PENTHEATH, R.J., The biological availability to marine organisms of trans-uranium and other long-lived nuclides, IAEA-SM-248/102 (1980).
- (23) ROUTSON R.C. and CATALDO D.A., Accumulation of Technetium-99m by tumbleweed and cheat grass grown on arid soils, *Health Phys.*, 34 (1978) 685-690.
- (24) RUMBLE W.F., AAMODT R.L., JONES A.E., HENKIN R.I. and JOHNSTON G.S., Accidental ingestion of Technetium-99m in breast milk by a 10 week old child, *J. Nucl. Med.*, 19 (1978) 913-915.
- (25) SAAS A., GRAUBY A., DENARDI J.L. and QUINAULT J.M., Absorption of technetium through the root of the lettuce as a function of soil content. Consequences on the ingestion of this isotope by man, *Health Phys.*, in Press.
- (26) SAAS A., DENARDI J.L. and COLLE L., Evaluation du comportement du technetium-99 dans le système sol-plante. II Absorption racinaire du technetium-99 par le tabac (*Nicotiana Tabacum L.*), *Chemosphere*, in press.
- (27) SAAS A., DENARDI J.L., COLLE C. and QUINAULT J.M., Cycle du molybdène et du technetium dans l'environnement ; évaluation physico-chimique et mobilité dans les sols et les végétaux. II Symposium International de Radioécologie, Cadarache (1979) 443-489.

- (28) SAM D., WILLIAMS W.F., ROCKMANN D.R. and ALLEN J.T., Transfer coefficients of radionuclides secreted in the milk of dairy cows, NSW/WOL TR 78-58 (1978).
- (29) SOLDAT J.K., Radiation doses from iodine-129 in the environment, Health Physics, 30 (1976) 61-70.
- (30) TILL J.E., HOFFMAN F.O. and DUNNING Jr, D.E., A new look at Technetium-99 releases to the atmosphere, Health Phys., 36 (1979) 21-30.
- (31) VAGENAKIS A.G., ABREAU C.M. and L.E. BRAVERMAN, Duration of radioactivity in the milk of a nursing mother following Technetium-99m administration, J. Nucl. Med., 12 (1971) 188.
- (32) WELCH M.J., ADATEPE M. and POCHIN E.J., An analysis of technetium ($^{99}\text{TcO}_4$) kinetics : The effect of perchlorate and iodide pretreatment, Int. J. Appl. Radiat., 20 (1969) 437-445.
- (33) WILDUNG R.E., GARLAND T.R. and CATALDO D.A., Accumulation of technetium by plants, Health Phys., 32 (1977) 315-317.
- (34) WYBURN, J.R., Human breast milk excretion of radionuclides following administration of radiopharmaceuticals, J. Nucl. Med., 14 (1973) 115-117.

Supported by contract 236-77-1 BIO B of the Radiation Protection Program of the European Community.

RESUME.

Des quantités considérables de technetium-99 peuvent entrer dans l'environnement surtout au niveau des usines de retraitement du combustible. Vu sa longue demi-vie de 2.15×10^5 ans, le risque résultant d'une contamination du milieu par le technetium-99 ne semble pas important, mais des données récentes concernant le transfert du technetium sol/plantes indiquent que les facteurs de concentration observés sont plus importants que ceux estimés à ce jour. Il est probable que le rapport technetium/iode ne dépassera jamais la valeur 10^{-3} , de telle sorte que la dose de radiation pour la thyroïde ne dépassera pas la valeur acceptée de 1,5 rem/an. Cependant les conditions locales peuvent être très différentes et d'autres facteurs inconnus peuvent affecter cette estimation.

Il est dangereux d'utiliser exclusivement les coefficients de transfert de l'iode pour estimer le risque provenant du technetium, comme cela se fait actuellement. Il semble nécessaire de déterminer des coefficients de transfert réels pour le technetium dans les animaux de taille moyenne.

Vu que la thyroïde concentre le Tc l'influence des formes chimiques, de l'activité thyroïdienne et l'influence de l'iode provenant de la diète sur le transfert du Tc mérite une attention particulière. La toxicité chimique du technetium peut être non négligeable et devrait être également étudiée.

SAMENVATTING.

Aanzienlijke hoeveelheden technetium-99 kunnen terecht komen in het milieu vooral ter hoogte van de splijtstof opwerkingsinstallaties. Gezien zijn lange halveringstijd van 2.15×10^5 jaren, schijnt het risico voortvloeiend uit een milieu vervuiling door technetium-99 niet zo belangrijk, maar recente gegevens in verband met de overdracht van technetium van de grond naar de planten tonen aan dat de waargenomen concentratie factoren aanzienlijk hoger liggen dan deze die vooropgesteld zijn. Waarschijnlijk zal de verhouding technetium/jodium nooit de waarde 10^{-3} overschrijden, zodat de stralingsdosis in de thyroïde de vooropgestelde waarde van 1,5 rem/jaar niet zal overschrijden.

Nochtans, lokale omstandigheden kunnen zeer verschillend zijn en andere onbekende factoren kunnen deze schatting beïnvloeden.

Het lijkt zeker niet veilig om uitsluitend te steunen op de transfer coefficienten van jodium in de risikoberekening voor technetium, zoals heden wordt gedaan.

Het is noodzakelijk dat realistische overdrachtscoëfficiënten voor technetium in middel grote dieren worden bepaald.

Gezien technetium, zich concentreerd in de thyroïde, verdienen de invloed van de scheikundige vormen, de thyroïde activiteit en de invloed van het jodium uit de voeding op de transfer van technetium bijzondere aandacht. De scheikundige toxiciteit van technetium kan belangrijk zijn en dient te worden onderzocht.

ZUSAMMENFASSUNG.

Technetium-99 kann in beträchtlicher Mengen, vor allem von Wiederaufarbeitungsanlagen, freigesetzt werden. Durch seine lange Halbwertszeit von 2.5×10^5 Jahren scheint das Risiko der Kontaminierung der Umwelt durch Technetium nicht gross, doch lassen neuere Untersuchungen wesentlich höhere Transferfaktoren von Technetium vom Boden zur Pflanze vermuten als früher angenommen wurde. Wahrscheinlich wird das Verhältnis Technetium zu Jod nie einen Wert von 10^{-3} ueberschreiten, so dass die Schilddruesendosis weit unterhalb des gegenwaertig akzeptierten Werts von 1.5 rem/Jahr bleiben wird. Lokale Verhaeltnisse koennen jedoch unterschiedlich sein und noch unbekannte Faktoren koennen diese Abschaetzung beeinflussen, so dass nicht allein die Transferfaktoren von Jod bei Technetium anzuwandt werden sollten, wie est gegenwaertig geschieht. Die experimentelle Bestimmung der Transferfaktoren von Technetium bei mittelgrossen Tieren ist daher erforderlich. Da Technetium in der Schilddruese konzentriert wird, sollte auch der Einfluss der chemischen Form, der Schilddruesenaktivitaet und der Jodaufnahme untersucht werden. Die moegliche chemische Toxizitaet des Technetiums sollte gleichfalls nicht vernachlaessigt werden und bedarf der Untersuchung.

INCORPORATION OF TRITIUM IN THE HUMAN FOOD CHAIN.

Van Bruwaene R., Kirchmann R., Gerber G.B. and van den Hoek J.

Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire, Department of Radiobiology,
B-2400 Mol, Belgium and University of Wageningen, Department Animal Physio-
logy, The Netherlands.

December 1980.

SUMMARY.

The release of tritium by the nuclear industry which may increase as fusion reactors become operational requires an assessment of the food chain by which tritium reaches man. In contrast to most other radioisotopes, tritium is incorporated into organic molecules by plants and animals and thus may have half lives much longer than tritium water. Moreover more organically bound tritium in the body arises when food with organic tritium is given than after application of tritium water. Studies on transfer of tritium water and of food with organically bound tritium were carried out in livestock. Such studies reveal that the risk from organic tritium is probably not more than 1.5 times greater than from tritium oxide. Investigations in which tritium oxide was given to pigs during the entire pregnancy also confirm that the additional risk from the formation of organic molecules is not very large.

INTRODUCTION.

Tritium released by the nuclear industry occurs mostly in form of tritium oxide. Tritiated water follows non-radioactive water being mixed rapidly with the water in the environment. Tritium, as carbon-14, differs, however, from other radionuclides in that it can be incorporated into organic molecules (1, 2, 3, 5, 6, 11, 13, 14, 15), some of which have a turnover much slower than tritium oxide. Thus, plants introduce tritium with high efficiency into organic molecules by means of the photosynthetic pathway, and the resultant compounds can be taken up by man and livestock. In addition, the mammalian organism incorporates 10-20 % of its ingested water into organic molecules by synthetic and reductive metabolic reactions (1, 10, 14, 16, 17, 18, 19, 20). These organic molecules may not only have half lives much longer than tritium oxide, they may also be concentrated in certain tissues or even in certain areas of the cell, e.g. in nuclear DNA, where the damage exerted by their radiation or their decay may be much larger than that from homogeneously distributed tritium water.

- In assessing the transfer and the dose from tritium one can, therefore, not confine oneself only to tritium oxide but must also take in account organic tritium and its turnover. Since several years, the Department of Radiobiology at Mol in cooperation with Dr van den Hoek from the Department of Animal Physiology at the University Wageningen, is concerned with the problems of transfer of tritium in the food chain, in particular with the questions :
- a) How much tritium oxide is converted to organic tritium and what is the turnover and contribution to dose of the resultant organic molecules ?
 - b) What is the metabolic fate and contribution to dose of organic molecules taken up in the food ?
 - c) Which are the appropriate factors to calculate transfer of tritium to man via milk and meat ?
 - d) How large is the transfer of tritium to the developing organism and what is the life span of such tritium incorporated in organic molecules in utero or infancy ?

These studies are performed mainly on large animals, cows, calves and pigs since only such data can be relevant for in site conditions. Both departments, Mol and Wageningen, have at their disposal experimental farms with facilities to handle such experiments on radioactive material. The studies a) and b) carried out in the past will be reviewed briefly ; the most recent experiment d) will be discussed in some more detail :

- a) Transfer to milk and its organic constituents has been studied in cows after a single or continuous exposure to tritium oxide in the drinking water as well as after feeding tritiated organic food (7, 19, 20, compare also 12) ;
- b) Transfer of inorganic and organic tritium to meat was followed in calves or pigs. Calves were given either tritium oxide or organic tritium in the form of milk powder. Pigs also received tritium oxide or organic tritium either in milk powder or in potatoes (8).
- d) Transfer in the developing organism was investigated in pigs given tritium oxide during the entire pregnancy.

In all these experiments, accumulation in organs, excretion into urine and feces were followed. As these experiments require application of food containing tritium incorporated into organic molecules, their preparation will be briefly described. It should be noted that hereby tritium should be incorporated as homogeneously as possible into all organic molecules utilized by the body. Design and interpretation of such experiments thus differs fundamentally from those where exposure to only one compounds e.g. thymidine is considered (4).

PREPARATION OF ORGANICALLY BOUND TRITIUM FOR FEEDING EXPERIMENTS.

To approach as much as possible in vivo conditions, one may not feed any single tritiated organic compound but must make use of normal mixed food labeled by biosynthetic pathways. Three different types of food have been mainly utilized.

Tritiated milk powder was prepared from the milk of cows which, for a period of 40 days, received daily 1.4 mCi of tritiated water daily to drink. The daily milk production was about 14 l and a total of 419 l milk was obtained which was dried in a spray type machine and yielded 51.3 kg of milk powder. The milk powder contained about 0.96 % of the tritium given and had a specific activity of 57.2 nCi/g. The specific activity in lipids and lactose was higher, 70 and 61.2 nCi/g respectively, than in casein, 38 nCi/g. The milk powder was fed to two calves for 28 days and to three young pigs for 14, 19 and 25 days respectively.

Tritiated hay was obtained on a normal pasture of about 250 m² by spraying ten times between May 25th and June 15th with water containing 2 mCi of tritium per liter. The spraying was carried out with a mobile motor unit, and the grass was cut one week after the last application and dried. About 0.023 % of the activity delivered was incorporated into organic molecules. This hay was fed to a lactating cow for 9 days. Recently, additional preparations of hay have been made and been used in long term experiments on excretion of organic and inorganic tritium into milk.

The potatoes were grown on a field of about 36 m² which was sprinkled once with 1.12 mCi/m² and harvested 63 days later. About 0.18 % of the delivered activity was recovered in the wet potatoes, about 0.03 % was present in organic matter.

Tritiated food with higher activities cannot be produced on the field, but must be grown in glove boxes or in containers in a disposable green house. Such food is also prepared at Mol.

INCORPORATION OF INORGANIC AND ORGANIC TRITIUM IN COWS, CALVES AND PIGS.

Transfer coefficients, i.e. the percentage of ingested tritium secreted as a given compound per liter milk or present per kg organ, are presented in fig. 1. for cows given a single or repeated dose of tritium oxide or organic tritium in hay.

COMPONENT	THO INGESTION		TRITIATED HAY
	single oral dose	40 days exposure	8 days exposure
Milk THO	$2.0 \cdot 10^{-1}$	1.50	$5.0 \cdot 10^{-1}$
Dry matter	$7.0 \cdot 10^{-3}$	$6.7 \cdot 10^{-2}$	$4.0 \cdot 10^{-1}$
Fat	$2.0 \cdot 10^{-3}$	$2.6 \cdot 10^{-2}$	$3.0 \cdot 10^{-1}$
Lactose	$4.0 \cdot 10^{-3}$	$2.9 \cdot 10^{-2}$	$3.0 \cdot 10^{-2}$
Casein	$4.0 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-1}$
Albumin		$2.0 \cdot 10^{-3}$	

FIG. 1 : Transfer coefficient* (%) for cow's milk constituents.
(from ref. 19, 20)

- The transfer coefficient is defined as the percentage of ingested tritium which, for a particular milk constituent, is secreted in one litre of milk.
- Values on the day of maximum activity.

Transfer coefficients in ecological modelling are normally defined for continuous application and only the transfer coefficient after continuous exposure would be valid for equilibrium conditions. After a single application of tritium oxide, transfer for tritium oxide is about 30 times greater than that for organic tritium. Under continuous exposure, transfer is about 10 times larger as is expected from the turnover time of tritium in the body. When tritiated hay is given continuously, the transfer coefficient into tritium oxide is only 1.3 times larger than that of organic tritium (compared to the above factor of 10 after application of tritium oxide), most organic tritium occurring in milk fats at this time.

For still longer periods of feeding, i.e. at equilibrium, the transfer coefficient for organic tritium may still increase slightly as components with long turnover become increasingly more important, but it seems unlikely that after feeding tritiated hay, the transfer coefficient into organic tritium ever exceeds that for tritium oxide by more than a factor of 1.5.

When tritium oxide is given to calves, about 5 % of the organ activity is present as organic tritium (fig. 2). This percentage increases markedly, to about 50 % when tritiated milk powder is fed.

ORGANS	³ H ADMINISTERED			
	AS THO		AS MILK POWDER	
	organic ³ H	organ THO	organic ³ H	organ THO
KIDNEYS	0.033	0.70	0.62	0.69
LIVER	0.14	2.55	3.44	3.50
SPLEEN	0.020	0.42	0.33	0.65
LUNGS	0.051	1.15	0.78	1.90
MUSCLE	2.46	50.29	35.6	88.0
TONGUE	0.030	0.59	0.43	0.85
HEART	0.046	0.72	0.90	1.02
BRAIN	0.023	0.51	0.34	0.44
SUM	2.803	56.93	42.44	97.05

FIG 2 : Distribution of tritium in THO and in organic fractions of calves organs (%. of total activity ingested).

In pigs given tritiated milk powder (fig. 3) organic tritium activity in organs is from 2 to 10 times larger than after application of tritium oxide. Feeding tritiated potatoes raises this ratio to 10 to 15.

ORGANS	³ H ADMINISTERED IN		
	WATER	MILK POWDER	POTATOES
LUNGS	0.190	1.11	2.00
LIVER	0.400	0.98	4.47
SPLEEN	0.045	0.16	0.36
PANCREAS	0.031	0.23	0.32
DUODENUM	0.086	0.86	1.86
LARGE INTESTINE	0.190	4.20 ^a	2.78
KIDNEYS	0.056	0.47	0.80
MUSCLE	6.0	31.70	96.6
BRAIN	0.023	0.10	0.23
THYMUS	0.019	0.27	0.36
SUM	7.00	40.8	109.8

^a Contamination by faeces ?

Fig. 3 : Distribution of tritium in organic fractions of pig organs (% of total activity ingested).

The latter value agrees with the observations on calves and confirms the observation in cows that the total activity in organic tritium will about equal that in tritium oxide after application of organically bound tritium. As about 20 % of the hydrogen in an organ is incorporated into organic molecules, the rest being water, the average specific activity of organic tritium would be about 5 times that of tritium oxide after feeding organic tritium only. On the other hand, one finds, after application of tritium oxide, about 10 - 20 % of the activity in organic tritium under equilibrium conditions. Under usual conditions, tritium would be taken up only in part in organic form, and organic molecules would, therefore, not greatly increase the risk under conditions of long term application.

TRANSFER OF TRITIUM TO YOUNG PIGS DURING PREGNANCY.

Recently, we have investigated the transfer of tritium to pigs during pregnancy and infancy as well as the turnover of inorganic and organic tritium in different organs labeled in utero or during infancy. Information from such experiments is not only useful to evaluate transfer in the food chain, it also is relevant to estimate the risk to man from tritium administration during pregnancy since so far one disposes only of data obtained in species which much shorter gestation periods than man.

Pregnant sows were given two different doses of tritiated water from conception to delivery and for 43 days thereafter. The young pigs were, in part, left with their mother, in part, they were swapped with uncontaminated new-borns in order to follow tritium oxide and organic tritium in different organs with respect to :

- a) continuing uptake after birth,
- b) uptake from milk,
- c) loss of activity after birth.

The design of the experiments is summarized in fig. 4. Two sows were mated and given drinking water containing (A) 0.517 mCi/l or (B) 1.531 mCi/l of tritium oxide from the begin of pregnancy. One third sow (C) was mated at the same time and kept as control. The total amount of water drunk by the contaminated sows is also presented on fig. 4. Blood samples were taken at different intervals to follow accumulation of tritium oxide and incorporation into serum proteins. At delivery, 3 young pigs from sow A and 2 from sow B were transferred to control sow C, whereas 3 non-contaminated young pigs were placed with each sow A and B. Young pigs of each group were sacrificed at an age of 23, 43 or 86 days. Organs were removed, weighed, and their tritium activity in water and organic matter was determined. Application of tritium oxide was continued after delivery for a period of 43 days. Blood samples were also taken from the young pigs at different times.

Turnover times T_0 and equilibrium values were calculated by fitting the increase in activity to a one term integrated exponential function using non-linear regression analysis. Turnover times from the loss of activity were estimated from single term or double term exponential functions. Only selected results will be presented in this paper ; the rest will be published elsewhere.

When tritium oxide is given to pregnant sows, activity of tritium oxide in plasma rapidly attains equilibrium at a level of 66.2 +/- 4.2 % of the activity of the water supplied. Turnover time cannot be determined exactly from these data since activity has been followed only from day 29 when equilibrium had been nearly reached ; it would be 10 days or less. Equilibrium in serum proteins requires more time ($T_0 = 40$ days) and occurs at an activity ratio of 9.5 +/- 0.5 % of that of the drinking water. When ingestion of tritium oxide is discontinued activity in water and proteins diminishes with turnover times of 26 and 39 days respectively. These values may include a component of slow turnover which could not be detected due to the few samples available. Tritium oxide in all organs of new-born pigs has the same activity ratio (70.2 +/- 0.2 %) independently of the dose when the activity is related to that of the water given. Young pigs transferred to a non-contaminated mother rapidly lose tritium oxide ($T_0 = 8.26$ +/- 0.13 days for pigs from the mother on the low dose, 10.7 +/- 0.3 days for those from the mother on the high dose). The difference between the behavior in the offspring of the two sows is unknown.

SOW	DOSE	WEIGHT	WATER CONSUMPTION AFTER			YOUNG PIGS	TREATMENT YOUNG PIGS
			77	100	120 DAYS		
A	0,517 mCi/l	158 kg	535 l	752 l	975 l	A 1 A 2 A 3 A 4 A 5 A 6 A 7	kept with A, killed at birth A, at 23 days age A, at 43 days age A, at 86 days age transferred to C, killed at 23 days age C, 43 days age C, 86 days age
B	1,532 mCi/l	139 kg	485 l	747 l	1022 l	B 1 B 2 B 3 B 4 B 5 B 6	kept with B, killed at birth B, at 23 days age B, at 43 days age B, at 86 days age transferred to C, killed at 23 days age C, 43 days age
C	control	131 kg	(not determined)			C 1 C 2 C 3 C 4 C 5 C 6 C 7 C 8	kept with C, killed at birth C, at 23 days age transferred to A, killed at 23 days age A, 43 days age A, 86 days age transferred to B, killed at 23 days age B, 43 days age B, 86 days age

FIG. 4. : SUMMARY OF EXPERIMENTAL DESIGN.

It seems unlikely that it is caused by the radiation ; rather it may reflect physiological differences in growth etc. The activity-time curves suggest the presence of another metabolic component of tritium oxide with slow turnover representing less than 20 % of the total. Activity in organically bound tritium is about the same for all organs (10.9 +/- 0.3 %) at birth regardless of the dose level, except for brain where it is higher (17.6 +/- 0.5 %) in agreement with data by others on brain (9). According to their turnover of organic tritium, the organs studied can be classified into four groups. Brain has the slowest replacement rate for organically bound tritium ($T_0 = 36.6 \pm 2.3$ days), followed by heart and muscle ($T_0 = 31.2 \pm 0.9$ days) and kidney, pancreas and spleen ($T_0 = 22.1 \pm 1.4$ days). Turnover in intestine and liver is most rapid ($T_0 = 16.5 \pm 1.1$ days).

Non-contaminated young pigs transferred to a mother drinking tritium oxide rapidly attain constant activity in tritium oxide (< 6 days). Organically bound tritium attains equilibrium most rapidly in liver ($T_0 < 8$ days) but at a comparatively low level (10.5 +/- 0.5 %). Brain, muscle and heart incorporate organic tritium most slowly ($T_0 = 46.3 \pm 5.6$ days) but attain the highest equilibrium value (18.3 +/- 1.4 %). Intestine, kidney, pancreas, spleen occupy an intermediate position ($T_0 = 22.3 \pm 5$ days, equilibrium 13.5 +/- 2.2 %).

In summary, turnover of tritium oxide in pigs exposed continuously displays two metabolic components but the slow one appears to represent not more than 5 % of the total. About 70 % of the body water is derived from ingested water, the rest originates from water in food or formed by metabolism. This value is about the same in adult and neonatal pigs and agrees with data of others. No difference is found between organs with respect to metabolism of tritium oxide between organs.

Organically bound tritium attains an equilibrium value of about 11 % of that of the tritium oxide given. Only brain has a significantly higher activity ratio (about 17 %) in agreement with observations by others authors. Turnover of organic tritium varies among organs, it is slowest in brain, followed by muscular tissues, it is most rapid in liver and intestine. Serum proteins have about the same turnover and the same equilibrium value as organs. From these values, one can estimate that continuous exposure to tritium oxide during pregnancy results in a dose from organic tritium which in most organs is only about one third to two third of that due to tritium oxide alone. In brain, the dose from organic tritium may, however, be as

large as that from tritium oxide. These values have been calculated by integrating the activity time curves using maximal values found for turnover times. Since organic tritium attains its equilibrium at about 11 % of the activity of the tritium oxide within about a month one could use this value to calculate equilibrium transfer coefficients.

CONCLUSIONS.

- a) The contribution of organic molecules is insignificant following a single intake of tritium oxide.
- b) When exposure to tritium oxide is continuous about 12 % of the activity (up to 17 % in brain) may eventually consist of organic tritium. It is unlikely that the half life of organic tritium, averaged over the participation of all molecules, is more than 3 to 10 times longer than that of tritium oxide. Organic molecules would thus contribute not more than about 20 % to the integrated dose after application of tritium oxide, assuming about 20 % organic matter in organs.
- c) When a food containing a mixture of tritiated molecules is ingested for some length of time, total activity in organic tritium about equals that of water i.e. is about 20 - 30 times higher than after application of tritium oxide, and the specific activity of organic tritium would be about 5 times greater than that of tritium water. As organic and inorganic tritium is usually ingested together, both would contribute about equally to the integrated dose.
- d) These considerations appear also valid for the developing organism as long as a mixture of organic molecules is given. The situation could differ for molecules preferentially incorporated into long lived structures in the body.
- e) The specific activity model, recently proposed, estimates the dose from inorganic and organic tritium in a very conservative manner and is of value when continuous releases have to be estimated. A more accurate and not overly conservative assessment of the effects of discontinuous releases, must be based on models of the behavior of organic tritium and requires additional information on tritium incorporation and turnover in different organic molecules.

REFERENCES :

- (1) COMMERFORD S.L., CARSTEN A.L. and CRONKITE E.P., The distribution of tritium in the glycogen, hemoglobin and chromatin of mice receiving tritium in their drinking water, *Rad. Res.* 72 (1977) 333-342.
- (2) ELWOOD J.W., Ecological aspects of tritium behavior in the environment, *Nuclear Safety*, 12 (1971) 326-337.
- (3) FEINENDEGEN L., Tritium-labeled molecules in biology and medicine, Acad. Press, New York (1967).
- (4) GERBER G.B. and MAES J., Incorporation and turnover of tritium in neonatal mice and their mothers after feeding tritiated thymidine during pregnancy, *Health Phys.* In press.
- (5) HATCH F.T. and MAZRIMAS J.A., Tritiation of animals from tritiated water, *Rad. Res.*, 50 (1972) 339-357.
- (6) JACOBS D.G., Sources of tritium and its behavior upon release to the environment, TID-24635 (1968).
- (7) KIRCHMANN R., REMY J., CHARLES P., KOCH G. and van den HOEK, J., Distribution et incorporation du tritium dans les organes de ruminants, Environmental behavior of radionuclides released in the nuclear industry, IAEA-SM-172/81, Vienna (1973) 385-402.
- (8) KIRCHMANN R., CHARLES P., VAN BRUWAENE R., REMY J., KOCH G. and van den HOEK, J., Distribution of tritium in the different organs of calves and pigs after ingestion of various tritiated feeds, *Curr. Top. Rad. Res. Quart.*, 12 (1977) 291-313.
- (9) MAJOR Z., Incorporation of tritium into organic compounds of brain, *Int. J. Rad. Biol.*, 37 (1980) 455-458.
- (10) MEWISSEN D.J., FUREDI M., UGARTE A. and RUST J.R., Comparative incorporation of tritium from tritiated water versus tritiated thymidine, uridine or leucine, *Curr. Top. Rad. Res.*, 12 (1977) 225-253.
- (11) KORANDA J.J., MARTIN J.R. and ANSPAUGH L.R., The significance of tritium releases to the environment, CRL-73546 (1971).
- (12) MULLEN A.L., MOGHISSI A.A., WAWERNA J.C., MITCHELL B.A., BRETTHAUER E.W. and STANLEY R.E., Tritium retention by cows and steers and transfer to milk, EPA-600/3-77-076 (1977).
- (13) NCRP Report 62, Tritium in the environment, Washington D.C. (1979).
- (14) NCRP Report 63, Tritium and other radionuclide labeled organic compounds incorporated into genetic material, Washington D.C. (1979).
- (15) OSBORNE R.V., Permissible levels of tritium in man and the environment, *Rad. Res.*, 50 (1972) 197-211.
- (16) PIETRZAK-FLIS Z., RADWAN I. and INDEKA L., Tritium in rabbits after ingestion of freeze-dried tritiated food and tritiated water, *Rad. Res.*, 76 (1978) 420-428.
- (17) RICHMOND C.R., LANGHAM W.R. and TRUJILLO T.T., Comparative metabolism of tritiated water in mammals, *J. Cell. Comp. Physiol.*, 59 (1962) 45-53.
- (18) ROCHALSKA M. and SZOT Z., The incorporation of organically bound tritium of food into some organs of the rat, *Int. J. Rad. Biol.*, 31 (1977) 391-395.
- (19) VAN DEN HOEK P. and KIRCHMANN R., Tritium secretion into cow's milk after administration of organically bound tritium and tritiated water, *Intern. Sympos. Radioecology applied to the protection of man and his environment*, Rome Sept 7-10 (1971) EUR. 4800, 1121-1133.
- (20) VAN DEN HOEK J., GERBER G.B. and KIRCHMANN R., Excretion of organic and inorganic tritium in the milk after application of tritiated water to cows, *Radiation Protection, A systematic approach to safety*, Pergamon Press, Oxford (1980) 1068-1071.

Supported by contract of the Radiation Protection of the European Community.

RESUME.

La libération du tritium par l'industrie nucléaire, phénomène qui risque de devenir encore plus important quand les réacteurs à fusion deviendront opérationnels, nécessite une étude approfondie du transfert du tritium dans la chaîne alimentaire vers l'homme.

Au contraire d'autres radioisotopes, le tritium est incorporé dans les molécules organiques des plantes et des animaux qui manifestent généralement des demi-vies plus longues que l'eau tritiée.

En outre la quantité de matière organique tritiée présente dans le corps est plus importante après ingestion d'un aliment tritié dans sa matière organique qu'après ingestion d'eau tritiée.

Des recherches concernant le transfert du tritium après ingestion d'eau tritiée et après ingestion d'aliments tritiés ont été réalisées sur du bétail. Ces études nous montrent que le risque provenant de l'ingestion de tritium lié à la matière organique ne dépasse probablement pas 1,5 fois celui provenant de l'ingestion d'eau tritiée.

Une expérience dans laquelle de l'eau tritiée était administrée pendant toute la période de gestation à des truies, confirme que le risque additionnel provenant de la synthèse de molécules tritiées n'est pas très important.

SAMENVATTING.

Het vrijkomen van tritium in de kernindustrie, een fenomeen dat nog belangrijker kan worden indien de fusie reaktoren operationeel worden, vereist een grondige studie van de overdracht van tritium door de voedingsketen naar de mens.

In tegenstelling tot de meeste andere radioisotopen, wordt tritium ingebouwd door plant en dier in organische moleculen met een halveringstijd die aanzienlijk langer kan zijn dan deze van net getritieerd water.

Daarenboven is de hoeveelheid getritieerd organisch materiaal aangetroffen in het organisme belangrijker na opname van organisch getritieerd voedsel dan na opname van tritium oxide.

De transfer van tritium werd onderzocht na opname van getritieerd water en na opname van voeders die organisch gebonden tritium bevatten bij het vee. Deze studies toonden aan dat het risico voortvloeiend uit de opname van organisch gebonden tritium waarschijnlijk slechts 1,5 maal het risico bedraagt voortvloeiend uit de opname van tritium oxide.

Een onderzoek waarbij tritium oxide, gedurende de ganse zwangerschapsperiode, werd toegediend aan zeugen bevestigt dat het bijkomende risico voortvloeiend uit de synthese van organisch getritieerde moleculen niet erg belangrijk is.

ZUSAMMENFASSUNG.

Die Freisetzung von Tritium durch die atomare Industrie, die sich mit der Entwicklung von Fusionsreaktoren noch vergrössern wird, verlangt eine Abschaetzung des Tritium Transports in der Nahrungsmittelkette zum Menschen. Im Gegensatz zu anderen Radioisotopen, kann Tritium durch Pflanzen und Tiere in organische Molekuele eingebaut werden, deren Halbwertszeit wesentlich ueber der von Tritium Wasser liegt. Mehr organisch gebundenes Tritium wird zudem aus mit organischem Tritium kontaminierter Nahrung gebildet also aus Tritiumoxyd. Untersuchungen ueber das Verhalten von inorganischem und organischen Tritium wurden in Vieh durchgefuehrt. Sie zeigten, dass das Risiko von organischem Tritium waerscheinlich nicht mehr als 1,5 mal groesser ist als das von Tritium Oxyd. Untersuchungen, bei denen Tritiumoxyd Schweinen waehrend der gesamten Schwangerschaft gegeben wurde, bestaetigen ebenfalls, dass das zusaetzliche Risiko durch Bildungen organischer Molekuele nicht sehr gross ist.

ANNALES de l'ASSOCIATION BELGE DE RADIOPROTECTION.

CONSEILS AUX AUTEURS.

Il est demandé aux auteurs de contributions ou de communications qui ont été acceptées pour publication dans les "ANNALS de l'ASSOCIATION BELGE DE RADIOPROTECTION" de bien vouloir tenir compte des directives suivantes.
IMPRESSION.

Le texte remis par l'auteur étant reproduit tel quel (après réduction à 9/10), il est nécessaire de respecter les règles reprises ci-après pour que l'impression soit bien lisible.

- Dactylographier le texte sur une machine électrique de préférence ;
- Utiliser un ruban noir neuf ;
- Employer de l'encre noire pour les formules écrites à la main et les dessins ;
- Fixer à la colle blanche les figures insérées dans le texte (pas de papier adhésif) ;
- Remettre l'exemplaire original ; pas de copie au carbone ni de photocopie.

PRESENTATION.

- Utiliser exclusivement du papier blanc de format Din A4 ;
 - Maintenir le texte, dessins et figures dans un cadre de 160 x 240 mm ;
 - Dactylographier sur une seule face ;
 - Dactylographier l'article en interligne 1 1/2 et les résumés en interligne simple.
 - Prévoir la place nécessaire dans le texte pour insérer les photos éventuelles ;
 - Joindre les photos en y mentionnant au verso, le nom de l'auteur, le titre de l'article, le numéro de la figure, l'indication du haut et du bas (ne pas les coller aux places réservées) ;
 - Veiller à ce que :
 - les légendes des figures, photos et tableaux soient explicites indépendamment du texte mais que d'autre part les références se retrouvent néanmoins dans le texte ;
 - les indications sur les figures et photos soient de dimension suffisante pour rester lisibles après réduction ;
 - les formules mathématiques apparaissent sur des lignes séparées et soient numérotées ;
 - les fractions soient tapées avec une barre de fraction oblique ;
- Numéroter les pages au crayon au verso.

SUBDIVISIONS. (voir le schéma à la page suivante)

1) TITRE (en majuscules)

Veiller à ce que le titre contienne des mots clefs (en vue d'une recherche bibliographique ultérieure).

Sous le titre viennent dans l'ordre :

- le(s) auteur(s) (nom et initiales des prénoms) ;
- nom et adresse du laboratoire ou de l'institut.
- Garder 5 lignes en blanc, afin de pouvoir y insérer la date de réception.

2) Résumé.

Tenir compte que le résumé peut paraître isolément dans un journal d'abstracts. Il donnera une brève description du contenu de l'article, le résultat final ou la conclusion (environ 10 lignes).

3) Article.

L'article est divisé en paragraphes, numérotés en chiffres arabes.

4) Références.

Suivre les mentions dans l'ordre : auteur(s), revue, volume, n° ou références document, (année de parution), page. Les extraits de recueil sont indiqués avec les titre, auteur, année et éditeur.

La communication du titre de la publication se fait uniquement si elle est nécessaire pour l'identification.

5) Résumés en français, néerlandais, allemand, anglais.

Les traductions du résumé paraissent après le texte de l'article et sont dactylographiées sur une page séparée en simple interligne. Le résumé dans la langue de la publication (qui paraît en première page) n'est pas repris. Les traductions du résumé peuvent être faites par la rédaction.

REMARQUES.

- Chaque auteur reçoit gratuitement 25 exemplaires de son article.
- Il peut, sur demande, en recevoir plus au prix coûtant, à condition d'en préciser le nombre à la remise du manuscrit.
- Le nombre de photos (uniquement en noir et blanc) est limité à 4 par article ; les photos supplémentaires sont à charge de l'auteur.
- Le nombre total de pages devrait être de préférence un multiple de 4.
- Les textes non conformes aux directives ci-dessus sont retournés aux auteurs pour une nouvelle mise en page, ce qui allonge forcément le délai de parution.

TITRE (en majuscules).

Dupont D.,

Laboratoire ou Institut (nom, adresse, ville, pays)

Date (réception texte)

RÉSUMÉ.

..... interligne simple
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

INTRODUCTION.

..... interligne 1 1/2
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

REFERENCES :

- (1) GILROY, E.M., Trans. Amer. Nucl. Soc., 3, 1 (1960) 19C.
- (2) SURINSKY, D.H. et al., Finding a container material for the uranium-bismuth system, Nucleonics, 12, 7 (1954) 40.
- (3) ALLEN, R.A. et al., UKAEA Rep. AERE-R2938 (1961) 199.
- (4) GSCHNEIDER, K.A. Jr et al., Principles of the alloying behaviour of rare-earth metals, Ch. 17 of "The Rare Earths", Speuding F.H., Daano, A.H. Eds (1961) Wiley, New York.
- (5) ...

ANNALEN van de BELGISCHE VERENIGING VOOR STRALINGSBESCHERMING.

RICHTLIJNEN VOOR AUTEURS.

De auteurs van wetenschappelijke bijdragen of mededelingen die aanvaard werden voor publikatie in de "ANNALEN van de BELGISCHE VERENIGING VOOR STRALINGSBESCHERMING" worden verzocht rekening te willen houden met de volgende richtlijnen.

DE GETIJPTE TEKST.

De door de auteur getijpte tekst wordt rechtstreeks afgedrukt (na reductie op 8/10). Om de afdruk mogelijk te maken en een goede leesbaarheid te bekomen, zijn de volgende richtlijnen te respecteren.

- Een goede, liefst elektrische, schrijfmachine gebruiken ;
- Een zwart nieuw lint gebruiken ;
- Zwarte inkt gebruiken voor handgeschreven formules en tekeningen ;
- Tekeningen op ware grootte in de tekst op de juiste plaats met witte lijm kleven (geen kleefband) ;
- Het origineel exemplaar indienen, geen doorslag of fotokopie.

PRESENTATIE.

- Uitsluitend wit papier gebruiken van Din A4 formaat ;
- Tekst, tekeningen en figuren binnen een kader van 160 x 240 mm houden ;
- Enkel op een zijde typen ;
- De tekst met anderhalve tussenregels, de abstracts met enkele tussenregels typen ;
- Ruimte voorzien in de tekst voor het eventueel inlassen van foto's ;
- De foto's afzonderlijk bezorgen met melding op de keerzijde van naam van de auteur, titel van de publikatie, nummer van de figuur, melding van boven- en onderzijde (niet op de voorziene plaats kleven) ;
- Zorgen dat de bijschriften van figuren en tabellen zo duidelijk zijn dat zij kunnen begrepen worden zonder het artikel te lezen. Nochtans moet in de tekst de referentie naar deze figuren en tabellen terug te vinden zijn ;
 - meldingen op foto's en tabellen groot genoeg zijn om leesbaar te blijven na reductie ;
 - de wiskundige formules op afzonderlijke lijnen voorkomen en genummerd zijn ;
 - de in de tekst voorkomende breuken met een schuine deelstreep geschreven worden ;
- Zorgen dat de bladzijden op de keerzijde met potlood genummerd worden.

INDELING. (zie schema op volgende bladzijde).

1) TITEL (in hoofdletters).

Zorg er voor dat de titel enkele belangrijke trefwoorden bevat (met het oog op literatuur onderzoek).

Onder de titel, komen achtereenvolgens :

- auteur(s), naam en beginletter van voornaam ;
- naam en adres van het laboratorium of instituut.
- Vijf lijnen open laten voor eventuele melding van datum van ontvangst.

2) Abstract.

Rekening houden dat deze abstract afzonderlijk in een abstracts tijdschrift kan verschijnen. Hij moet een korte beschrijving van de inhoud van het artikel en de uitslagen of de conclusies weergeven (ongeveer 10 lijnen).

3) Artikel.

Het artikel wordt ingedeeld in paragrafen genummerd met arabische cijfers.

4) Referenties.

Vermeldingen komen in de volgorde : auteur(s), tijdschrift, volume, nummer of referentie document (jaar van uitgave), bladzijde. Bij uittreksels van verzamelwerken worden deze laatste aangegeven met titel, auteur, jaar, uitgever.

Vernedding van de titel van het artikel enkel indien noodwendig voor identificatie.

5) Abstracts in Nederlands, Frans, Duits en Engels.

Deze vertalingen van de abstracts komen na de tekst van het artikel en worden op een afzonderlijk blad met enkele tussenregel getijpt. De abstract in de taal van de publicatie (die op eerste blad voorkomt) wordt niet herhalen. Vertalingen van de abstract kunnen door de redactie gedaan worden.

OPMERKINGEN.

- Elke auteur ontvangt gratis 25 uittreksels van zijn artikel.
- Een hogere oplage is verkrijgbaar aan uittrekeprijsmits voorafgaande melding van het gewenste aantal bij tinnenleveren van het manuscript.
- het aantal foto's (enkel zwart wit) is beperkt tot 4 per artikel.
- wijkende foto's vallen financieel ten laste van de auteur.
- het totale aantal bladzijden zal bij voorkeur een veelvoud van 4 zijn.
- De teksten die een de hoger gegevev richtlijnen niet voldoen, worden naar de auteurs terugggezonden voor een nieuwe opstelling, hetgeen uiteraard de publicatie termijn verlengt.

TITEL (in hoofletters).

Dupont D., ...

Laboratorium of instituut (naam, adres, stad, land).

Datum (van ontvangst).

ABSTRACT.

..... enkele tussenregel

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

INLEIDING.

..... anderhalve tussenregel

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

REFERENTIES :

- (1) GILROY, H.M., Trans. Amer. Nucl. Soc., 3, 1 (1960) 190.
- (2) GURINSKY, D.H. et al., Finding a container material for the uranium-bismuth system, Nuclonics, 12, 7 (1954) 40.
- (3) ALLEN, R.A. et al., UKAEA Rep. AERE- R2938 (1961) 199.
- (4) GSCHNEIDER, K.A. Jr et al., Principles of the alloying behaviour of rare-earth metals, Ch. 17 of "The Rare Earths", Spedding F.H., Deane, A.n. Eds (1961) Wiley, New York.
- (5) ...

LISTE DES MEMBRES - LEDENLIJST - 1980.

ABRAHAM J.P. (Centr.Nucl.Tihange)	Grand Route 14, 5201 Tihange (Ing.)
ABSIL P.	Av. Jouret 12, 7800 Ath (Dr.)
ALDERHOOT J. (EURO)	Luxemburglaan, 5, 2440 Geel (Chim.)
ALLARD V. (UM)	Bd. Mettwie 71, 1080 Bruxelles (Dr.)
ALLEWAERT J.	Ridder de Gellincklaan, 6 9820 St. Denijs Westrem (Dr.Sc.)
ANDRE G. (UM)	Rue Marianne 40, 1180 Bruxelles (Ing.)
ANDRE B. (Carbochim)	Rue de la Carbo, 7340 Tertre (Chim.)
APERS D. (UCL)	Naamsesteenweg 507, 3030 Heverlee (Prof.)
BAILLOT P.(ULg)	Rue Jacob Makoy 15, 4000 Liège (Ass.)
BALLE-HELAERS E. (Mme)	Rue A. Renard 55, 1060 Bruxelles (Dr.)
BARUH-GILLARD J.(Mme) (MSP)	Av. du Feuillage 7, 1180 Bruxelles (Chim)
BATAILLE R. (MAEE)	Tuinbouwlaan 28, 1710 Dilbeek (Ing.)
BAUDELET C.(Ass.Vinçotte)	Rue d'Acoz 97, 6071 Châtelet (Ing.)
BAUDUIN J.C. (MDN)	Av. Palfijn 102, Bte 9, 1090 Bruxelles (Ing.)
BAUGNET J.M. (CEN/SCK)	Boeretang 240, 2400 Mol (Ing.)
BAUWENS M.	Mgr. Van Haerlelaan 54, 8500 Kortrijk(Dr)
BERCY A. (ULg)	Rue Trieu du Charney 50, 6300 Acoz(Dr.)
BEUMIER A. (UCL)	Place E. Keym 43, Bte 17, 1050 Bruxelles (Math.)
BODART F. (Fac.Un.Namur)	Rue Deprez 5, 5004 Bouge (Phys.)
BODSON N.	Quai Glacesener 5, 4000 Liège(Dr.)
BONNET M.P. (Nucleobel)	Rue J. Vanderlinden 9, 1180 Bruxelles (Ing.)
BOSSUT M.	Engelselaan 6, 1990 Hoeilaart (Dr.)
BOUDENGEN B.	Latemestraat 49, 9810 Drongen (Chim.)
BOULENGER R.R. (CoRaPro)	Villa 15, Boeretang 284, 2400 Mol (Phys)
BOUQUIAUX J. (MSP)	Square Marie-Louise 56, 1040 Bruxelles (Chim.)
BOURDA Z. (RJG)	Gordunakaai 18, 9000 Gent (Dr.)
CANTILLON G. (MSP)	Bd. Brand Whitlock 142, 1200 Bruxelles (Pharm.)
CAUSSIN J. (UCL)	Av. Gribaumont 126, 1200 Bruxelles(Ass.)
CENTNER B. (Electrobel)	Av. des Touristes 19, 1150 Bruxelles(Ing)
CHAMPION J.L.	Rue Alban Poulet 12, 4600 Chênée (Phys.)
CLASENS R. (Nuclex)	B.P. 1423, 1000 Bruxelles (Arch.)
COLARD J (C.E.N./S.C.K.)	Strasbourglaan 12, 2400 Mol (Phys.)

COLLARD J.	Rue du Palais 14, 4800 Verviers (Dr.)
CONSTANT R. (IRE)	Av. du Nord de Gilly, 220, 6220 Fleurus (Dr.Sc.)
COOLENS L.	Aldestraat 53, 3500 Hasselt (Dr.)
COOMANS J.(Controlatom)	Boomgaardoord 10, 1950 Kraainem (Ass.)
COOSEMANS R. (UM)	Av. Z. Gramme 1, 1810 Wemmel (Dr.)
CORDIER J.M.	Résidence "Les Chenêts", Chaussée de Châtelet 93, Bte 7, 6060 Gilly (Dr.)
CULOT J.P. (Corapro)	Berkvenstraat 96, 2400 Mol (Phys.)
CZERWIEC W. (Kern Cent.Doel)	Wilgengaarde 8, 1720 Groot Bijgaarde(Ing.)
CZERWIEC-POTE J. Mevr.	Wilgengaarde 8, 1720 Groot Bijgaarde(Ing.)
DANCOT H.	Rue Meyerbeer 24, 1180 Bruxelles (Dr.)
DEAN A. (Philips)	Place de Brouckère 2, Bte 1, 1000 Bruxel- les (Ass.)
DEBACKER J. (RUG)	Coupure 173, 9000 Gent (Dr.)
DEBAUCHE A. (UCL)	Rue St. Lambert 17A, 5880 Tourinnes St. Lambert (Phys.)
DEBRY A. (MDN)	Waalsebaan 57, 1980 Tervueren (Dr.)
DECHAMPS L. (UM)	Avenue du Manoir 56, 1180 Bruxelles (Ing.)
DECKERS C.	St. Jansbergsteenweg 303, 3030 Heverlee(Dr.)
DECLERCQ-VERSELE H. (MSP)	Bloemhof 68, 1630 Linkebeek (Chim.)
DECLERK A. (KUL)	Sneppedreef 12, 8200 Brugge (Dr.)
DEFAYS F.	Rue de Lustin 1B, 5330 Assesse (Dr.)
DEHEEM L. (Ass.Vinçotte)	Association Vinçotte, 1640 Rhode St.Genèse (Ing.)
DEJONGHE P. (CEN/SCK)	Boeretang 262, 2400 Mol (Agr.)
DELHOVE J. (Controlatom)	Av. de la Malmaison 49, 1410 Waterloo (Ing.)
DELWAIDE P. (ULg)	Rue des Bonnes Villes 1, 4000 Liège (Dr.)
de MAERE D'AERTRYCKE X.(CEN)	Av. des Tourterelles 8, 1959 Kraainem (Ing.)
DEHULDER R. (Philips)	Place de Brouckère 2, Bte 1, 1000 Bruxelles (Dr.)
DEMUYNCK G.	Raamstraat 1, 8000 Brugge (Dr.)
DEMUYNCK H. (RUG)	Lakenmeerstraat 46, 9730 Nazareth (Ass.)
DENAYER F.	Jachtlaan 37, 1040 Brussel (Dr.)
DE PLAEN P.	Av. Général de Gaulle 10,Bte 5, 1050 Bru- xelles (Dr.)
de RAS E. (BCMN)	Turnhoutsebaan 264, 2400 Mol (Ing.)
DE ROO M.	Herendreef 26, 3030 Heverlee (Dr.)
DEROUAUX J. (ULg)	Rue Simonon 13, 4000 Liège (Dr.)
DERWAE J. (TSE)	Koudenaerdestraat 43, 1710 Dilbeek (Chim.)

DE SAESELEER G. (UCL)	Dreef Huldenberg 198, 1900 Overysel (Dr.Sc.)
DE SCHRYVER A. (RUG)	Bosstraat 47, 9830 St. Martens Latem (Dr.)
DE SLOOVERE J.	W. Van Laarstraat 27, 2600 Berchem (Dr.)
de THIBAUT de BOESINGHE L.(RUG)	St. Maartenstraat 12, 9000 Gent (Dr.)
DETILLEUX E. (EURO)	Straatsburglaan 32, 2400 Mol (Chim.)
DETROUX L. (UCL)	Langeveld 101, 1180 Bruxelles (Dr.)
DETROUX-COOLEN M.L. (Mme)	Rue E. Claus 47, 1050 Bruxelles (Dr.)
DEVLESAVER C.	Rue de Turenne 44, 6000 Charleroi (Dr.)
DEWULF L (RUG)	St. Denijsstraat 4, 9820 St. Denijs- Westrem (Dr.)
DIERKENS F. (Centre & Sud)	Av. Winston Churchill 163, 1180 Bruxelles (Ing.)
DOPCHIE H. (Ass. Vinçotte)	Ass. Vinçotte, 1640 Rhode St. Genèse(Ing)
DOR L.	Route de Philippeville 11, 6270 Lovervall (Dr.)
DRESSE H. (Electrobel)	Warandeborg 47, 1970 Wezenbeek-Oppem(Ing)
DREZE P (Camira)	Rue J. Delhay 11, 5001 Belgrade (Chim.)
DROISSART (UM)	Rue du Konkel 29, 1150 Bruxelles (Math.)
DRYMAEL H. (Ass. Vinçotte)	Rue du Repos 11, 1180 Bruxelles (Ing.)
DUFOUR J.M.	Rue Bohémont 12, 6800 Bertrix (Chim.)
DULCINO J. (CEN/SCK)	Beemdenstraat 4, 2300 Turnhout (Chim.)
DUMONT G. (UM)	Rue Demolder 11, 1341 Ceroux-Mousty (Ing)
DUQUENNE-FONTENELLE (Mme) (FN)	Av. de l'Observatoire 64, 4000 Liège(Ing)
DUSONG M. (Electrobel)	Roeselaerstraat 2, 9562 St.Antelinks(Ing)
DÜWELZ E.	Grands-Prés-Pont Canal 467,7000 Mons(Ass)
DUYCKAERTS G. (ULg)	Institut de Chimie, Université de Liège, Sart Tilman, 4000 Liège (Chim.)
EGGERMONT G. (RUG)	R. Soenenspark 31, 9820 St. Denijs- Westrem (Dr.Sc.)
FAES M. (CEN/SCK)	Fazantendreef 13, 2850 Keerbergen (Dr.)
FEREMANS W. (ULB)	Av. Château de Walzin 9, Bte 1, 1180 Bruxelles (Dr.)
FIEUW G. (CEN/SCK)	Boeretang 233, 2400 Mol (Ing.)
FISCHER J. (C.G.R.)	Rue Delvaux 20, 5069 Cortil-Wodon (Ass.)
FOSSOUL E. (BN)	Av. d'Huart 221, 1950 Kraainem (Ing.)
FRANCHOIS H. (KernCent.Doe1)	Dennenlaan 48, 2758 Haasdonk (Ing.)
FUGER J.M. (ULg)	Rue des Nations 6, 4200 Ougrée (Dr.Sc.)
GARSOU J. (ULg)	Rue E. Jacquemotte 53, 4500 Jupille-sur- Meuse (Dr.Sc.)

GAYE P.	Trieu Macotte 126, 6591 Macon (Pharm.)
GENET P.	Rue de Marbais 9, 5751 Floriffoux,(Dr.)
GILLET R. (MSP)	Rue des Moulins 57, 5981 Archennes (Pharm.)
GODFROI E.E.	Rue de l'Europe 12, 4100 Seraing (Dr.)
GOENS J.	Av. des Petits Bois 16, 1640 Rhode St.Genève (Ing.)
GOOSSENS H. (FBFC)	Leopoldlaan 25, 2400 Mol (Ing.)
GOUTIER R. (ULg)	Bd. de la Constitution 32,4000 Liège (Dr.)
GUEBEN M. (Cent.Nucl.Tihange)	Av. de l'Europe 2, 5200 Huy (Ing.)
GUILLAUME J. (ULg)	Rue de la Vieille Tour 2, 4030 Liège-Grivegnée (Ass.)
HALLEUX O. (Balteau)	Rue de Verviers 25, 4000 Liège (Ing.)
HALTER S. (MSP)	Chaussée de Gand 1116, 1080 Bruxelles (Dr.)
HAVAUX A. (Controlatom)	Av. des Avocettes 15, 1420 Braine-l'Alleud (Ing.)
HENRIST M. (ULg)	Rue Prof. Mahaim 3, 4200 Ougrée (Dr.Sc.)
HENRY F.	Av. Père Damien 88, 1150 Bruxelles (Dr.)
HENRY J.	Av. Defré 267, 1180 Bruxelles (Dr.)
HENSGENS J. (ACEC)	ACEC Div. Nucléaire, 6000 Charleroi (Ing.)
HEUSGHEM C. (ULg)	Rue des Bonnes Villes 1, 4000 Liège (Pharm)
HOLVOET A.	Groeningebaai 44, 8500 Kortrijk (Dr.)
HOSTE J. (RUG)	Instituut voor Nucleaire Wetenschappen, Rijksuniversiteit Gent, Proeftuinstraat 80, 9000 Gent (Chim.)
HUBERT E.H. (UEEB)	Drève de Soetkin 58A, 1070 Bruxelles (Ing.)
HUBLET P. (MET)	Rue Kindermans 14, 1050 Bruxelles (Dr.)
HUYSKENS C.	Stralingsbescherming Dienst T.H. Eindhoven Postbus 513, Eindhoven, Nederland (Ing.)
JACOBS R. (RUG)	Grotenbroek 40, 9745 Semmerzake (Dr.Sc.)
JACQUEMIN R. (IRE)	Av. de la Pairelle 39, 6269 Aiseau-Presles (Ass.)
JACQUERYE R. (UCL)	Venelle des Mérésiers 22, 1301 Bierges (Dr.Sc.)
JANSSENS A. (RUG)	Helstwegel 1, 9210 Heusden (Phys.)
JOLIVET A. (CEE)	Av. Château de Walzin 9, 1180 Bruxelles(Dr)
JONCKHEER M. (VUB)	Heilsborrestraat 2A, 1700 Asse (Dr.)
JOVANOVIC D. (UCL)	Tiensesteenweg 92, 3040 Korbeek-Lo (Dr.)
KEUSTERS J.	Ganzendries 85, 3041 Pellenberg (Dr.)
KEYEUX A. (UCL)	Rue des Wallons 28, 1348 Louvain-la-Neuve (Dr.)

KIRCHMANN R. (CEN/SCK)	Rue Cardinal Cardijn 5, 4480 Oupeye(Agr.)
KIRSCH-VOLDERS M. (Mevr)(VUB)	Lab. Antropogenetica VUB, Pleinlaan 2 1050 Bruxelles (Vet.)
KOCH G. (CEN/SCK)	Boeretang 234, 2400 Mol (Chim.)
LADRIELLE T. (Controlatom)	Av. Charles de Lorraine 20, 1420 Braine- l'Alleud (Dr.Sc.)
LAFONTAINE A. (MSP)	Bd. Brand Whitlock 95, 1040 Bruxelles(Dr)
LAFONTAINE I. (BN)	Engelandlaan 6, 2440 Geel (Chim.)
LAMBOTTE J.M. (MSP)	Av. J.S.Bach 24, 1080 Bruxelles (Ass.)
LAURENT A. (MET)	Av. des Ortolans 87, 1170 Bruxelles (Ing)
LEBLANC M. (MDN)	Av. Ch. Verhaegen 15 1950 Kraainem (Dr.)
LECOMTE P. (ULB)	Bloemendaal 7, 1650 Beersel (Dr.)
LEJEUNE P. (MSP)	Av. Commandant Lothaire 50, 1040 Bruxel- les, (Dr.)
LEJEUNE S. (ULB)	Av. des Phalènes 35, Bte 4, 1050 Bruxel- les (Ing.)
LEMAHIEU S.	Freren Fonteinstraat 8, 8000 Brugge (Dr.)
LEMAIRE M. (Melle)	Rue Colson 31, 4431 Loncin (Dr.)
LEROY R. (CEN/SCK)	Domaine du Bois du Roi 7, 7141 Epinois (Ass.)
LESCOT J.P. (Sabena)	Service Médical, Aéroport National 1930 Zaventem (Dr.)
LINCHET G. (UCL)	Av. Napoléon 3, 1420 Braine-l'Alleud(Dr.)
LION G.	Av. des Châtaigniers 10, 1150 Bruxelles (Dr.)
LORIDAN W. (Forum Nucl.)	Rue de la Pépinière 36, 1000 Bruxelles (Ing. Com.)
LUJA M.	H. Consciencelaan 3, 8401 Bredene (Dr.)
LUYKX F. (CEE)	Commission des Communautés Européennes B1g. Jean Monnet, Kirchberg, Luxembourg Grand-Duché (Ing.)
MAES D. (MDN)	Av. des Pinsons 6, 1420 Braine-l'Alleud (Ing.)
MAES G. (CEN/SCK)	Collegestraat 60, 2300 Turnhout (Dr.)
MAESEN L. (Cent.Nucl.Tihange)	Quartier des Ardennes 2, 5570 Beauraing (Ing.)
MAISIN H.	Rue de Grez, 5989 Bossut-Gottechain(Dr.)
MAISIN J. (CEN/SCK)	Radiobiologie CEN/SCK, 2400 Mol (Dr.)
MALENGREAUX J. (Unerg)	Rue Voie de Liège 40bis-Villa 7 4920 Embourg, (Ing.)
MAMBOUR C. (Controlatom)	Rue Sainte-Anne 34, 6238 Luttre (Ass.)
MANCHE P. (Techni-Test)	Rue du Lac 40, 1050 Bruxelles (Ing.)

MARTIAL A. (ULg)	Rue Saint Laurent,193, 4000 Liège (Ass.)
MASSCHELEIN W. (CIBE)	Av. des Tourterelles 32, 1150 Bruxelles (Dr.Sc.)
MAUGUIS M.L. (ULg)	Parc du Bay Bonnet 5/31, 4620 Fléron (Ass.)
MERCHIE G. (ULg)	Quai de Rome 66/091, 4000 Liège (Dr.)
MERCKX R. (Gevaert)	Gevaert-Agfa N.V., 2510 Mortsel (Dr.)
MICHAUX J.	Chsée de Cnâtelet 59, Bte 2,6060 Gilly(Dr.)
MINET P.	Rue du Vieux Mayeur 2, 4000 Liège (Dr.)
MOERMAN J. (RUG)	Holeinde, 9288 Kalken (Dr.)
MOTTE F. (CEN/SCK)	Europawijk 5, 2400 Mol (Ing.)
NØRDVIK N. (SNC3)	Av. de Tervueren,116, 1040 Bruxelles (Dr.)
NUYTS R. (MET)	A. Drouartlaan 32, 1160 Brussel (Ing.)
OSIPENCO A. (EURO)	Boeretang 263, 2400 Mol (Ing.)
PAHAJT H.	Route de Hesbaye 75, 4000 Liège (Dr.)
PENELLE G. (Corapro)	Kievitstraat 150, 2400 Mol (Ing.)
PEPERSACK J.P. (SABCA)	Av. de la Floride 100, 1180 Bruxelles (Dr.)
PESCHE A. (ULg)	Av. Nicolaï 14, 4802 Verviers (Math)
PHILIPS R. (Landis & Gyr)	Gergelstraat 48, 1970 Wezembeek-Oppem(Ass.)
PIRET P. (ULg)	Av. Clemodeau 195C, 4155 Villers le Temple (Ing.)
PIRON A. (Bordet)	Av. des Ménestrels 100, 1080 Bruxelles(Phys)
POLAK A.	Huis-ten-Halven 29, 2698 Tielrode (Ass.)
POMA K.	Kerkelei 40, 2610 Wilrijk (Chim.)
POSKIN M. (BN)	Av. Marie la Misérable 11, 1150 Bruxelles (Ing.)
POTEMANS M. (Kern Cent.Doe1)	Dennenlaan 46, 2758 Haasdonk (Ing.)
QUAEGHEBEUR L.	Dr. Van de Perrelei 29, 2200 Borgernout (Dr)
RANSBØTYN J. (UCL)	Av. Vanden Thoren 30, 1160 Bruxelles (Ing.)
RECHT P. (CEE)	Bd. Général Jacques 30, 1050 Bruxelles (Dr.)
REGIBEAU A. (UCL)	Rue de l'Ornoy 15A, 5870 Mont St.Guibert (Ass.)
RØDERBOURG J.	Rue du Houx 36, 1170 Bruxelles (Agr.)
RELS J.F.M.	B.P. 247 Kinshasa XI, 1190 Bruxelles (Ass.)
ROGGEN G. (ULB)	Av. Jupiter 87, 1190 Bruxelles (Dr.)
ROMBOUTS Y. (Mevr.)	Potaerdenbergstraat 339, 1070 Brussel (Dr.)
ROOSE J.	Ph. Devosstraat 19, 1710 Dilbeek (Ing.)
SCHONKEN P. (KUL)	Corbielaan 15, 3060 Bertem (Chim.)
SCHØULEUR L. (MBLE)	Rue des Deux Gares 80, 1070 Bruxelles (Dr.)
SEGAERT O. (RUG)	Beukenlaan 44, St.Denijs Westrem (Phys.)

SELLESLAGH E. (Kern Cent.Doel) Dennenlaan 42, 2758 Haasdonk (Ing.)

SIMON S. (Melle) Av. de l'Université 49, 1050 Bruxelles (Dr.)

SMEETS J. (CEE) Bosdallaan 50, 1950 Kraainem (Agr.)

SMONS A. (ULg) Rue de Manihant-Elvaux 3, 4651 Battice (Chim.)

STALLAERT P. (MET) Molenstraat 38, 9360 Buggenhout (Ing.)

STIEVENART-GODEAU C. (Mme) Av. A. Huysmans 206,Bte 10, 1050 Bruxelles (Phys.)

TASNIER A. Miksebaan 81, 2130 Brasschaat (Dr.)

THIELENS G. (RUG) Willem Tellstraat 19, 9000 Gent (Dr.Sc.)

TOUSSAINT G. Berkenlaan 7B, 2610 Wilrijk (Dr.)

UYTDENHOEF A. (MET) Av. P. et J. Carsoel 82, 1180 Bruxelles(Dr.)

VAN CRAENENBROECK W. (AWW) Varenstraat 18, 2560 Rumst (Dr.Sc.)

VAN DAM J. (St.Rafaël Leuven) Dienst Radiotherapie B, Acad. Ziekenhuis St. Rafaël, 3000 Leuven (Phys.)

VAN DAMME R. (MAEE) Demotstraat 24, 1040 Brussel (Ing.)

VAN DEN DAMME R. (Intercom-Electrobel) Place du Trône 1, 1000 Bruxelles (Ing.)

VAN DEN WINKEL P. (VUB) Vosholleweg 7, 9440 Erembodegem (Dr.Sc.)

VANDERBECKEN F. Av. Winston Churchill 195, 1180 Bruxelles (Dr.)

VAN DER BORGHT O. (CEN/SCK) Kraaibossen 25, 2440 Geel (Dr.Sc.)

VAN DER STRICHT E. (CEE) Commission des Communautés Européennes, Bldg. Jean Monnet, Kirschberg, Luxembourg, Grand-Duché (Chim.)

VAN ELST P. (Henricot) Rue de l'Eglise 7A, 1482 Couture St.Germain (Dr.)

VAN GIJSEL T. Vilstraat 50, 3511 Kuringen (Dr.)

VAN GRIEKEN R. Universitaire Instelling Antwerpen, Dept. Scheikunde, Universiteitsplein 1, 2610 Wilrijk (Dr.Sc.)

VAN HOECK G. Rue du Seigneur 25, 1410 Waterloo (Ass.)

VAN MALDER M. (Controlatom) Steenweg op Wemmel 1E, 1881 Brussegem(Ass.)

VAN MEIRHAEGHE A. (RUG) Aalbessenlaan 21, 9030 Wondelgem (Dr.)

VAN MIERLO F. (CEN/SCK) Maria van Zimmerenstraat 27, 2300 Turnhout (Ass.)

VAN MULDER J. (Traction-Electricité) Av. P. et J. Carsoel 80, 1180 Bruxelles (Ing.)

VAN ROY R. (SNCB) Av. Bëosier 5, 3200 Kessel-Lo (Dr.)

VERHAMME E. (MH) Metallurgie Hoboken, 2430 Olen (Dr.)

VIJFEYCKEN J. Chaussée de Boitsfort 122, 1170 Bruxelles (Dr.)

WAMBERSIE A. (UCL)	Rue A. Matton 30, 1302 Dion-Valmont (Dr.)
WESPES J.P. (Electrobel)	Allée de la Fragne 6, 1400 Nivelles (Ing.)
ZALCMAN R.	Rue de Pavie 19, 1040 Bruxelles (Dr.)

MEMBRES AGREES EN 1980 -

BAEKELANDT L. (MSP)	Donkstraat 13, 9168 Moerzeke (Phys.)
BALLIAUW A. (Ass.Vinçotte)	Patrijzenlaan 15, 1510 Buizingen (Ing.)
BRUYNS A. (Hôpital St.Gilles)	Av. du Parc 39, 1060 Bruxelles (Dr.)
CORNELIS G.	K. Leopold II laan 53E, 9000 Gent (Dr.)
DELABARRE P.	Vlieguit 5, 9830 St.Martens Latem (Dr.)
DE VIERMAN M. (Mevr.)	De Blokskens 4, 2241 Halle (Zoersel) (Dr.)
DOUWEN M. (MH)	Martelarenstraat 99, 2400 Mol (Dr.)
FRAIX J. (Intercom)	Rue de l'Inradji 1, 1400 Nivelles (Ing.)
GEBRUEERS B.	Alfons Dewitstraat 69, 3079 Meerbeek (Ass.)
GOVERNEUR J.C.I.	Rue des Noisetiers 3, 6290 Nalinnes (Dr.)
HENKINBRANT J.M.	Rue de France 32, Bte 5, 488 Verviers (Dr.)
HEUSE A. (ULB)	Rue Ten Bosch 85, Bte 78, 1050 Bruxelles (Dr.)
HIEMELEERS J. (MH)	Leemanslaan 35, 2430 Olen (Chim.)
LARDINOIS A. (CPAS Brux.)	Av. des Glycines 10, 1030 Bruxelles (Dr.)
MEERT L. (KUL)	Verbindingslaan 86, Bus 52, 3030 Leuven (Ass.)
MERGAN Y. (Mme)	Av. Beau Séjour 62, 1180 Bruxelles (Dr.)
MORRE M.	Sabina v. Beierenlaan 18, 9620 Zottegem (Chim.)
ROOSEMONT G. (Mevr.)	Coosemansstraat 99/6, 3200 Leuven (Chim.)
SAINT-GEORGES J.C.	Rue des Sables 103, 4100 Seraing (Dr.)
SWYSEN M (SMIB)	Av. Clays 89, 1030 Bruxelles (Dr.)
THYSSENS L.	Maarschalk Gerardstraat 27, 2000 Antwerpen(Ing)
VAN OUYTSEL J. (MH)	Lichtaartseweg 193, 2410 Herentals (Chim.)
WILLE C.	Nieuwlandstraat 83, 8400 Oostende (Dr.)
WINANT M. (Fabricom)	Av. du Globe 245, 1180 Bruxelles (Ass.)
HAUT H. (UCL)	Neutronothérapie, Tour Claude Bernard, UCL 54.69, Av. Hippocrate 54, 1200 Bruxelles (Ing.)
JACQUES P.	Hoogstraat, 23, 3043 Bierbeek (Dr.).

ABREVIATIONS - AFKORTINGEN

AWW	Antwerpse Water Werken
BN	BelgoNucléaire
Camira	Comité d'Application des Méthodes Isotopiques aux Recherches Agronomiques - C/O Institut Agronomique Gembloux
CEE	Communautés Européennes - Europese Gemeenschappen
CEN/SCK	Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire Studiecentrum voor Kernenergie
Corapro	Contrôle Radioprotection
EURO	Eurochemic
FBFC	Franco Belge de Fabrication de Combustibles
IRE	Institut National des Radioéléments Nationaal Instituut voor Radio-elementen
ITSE	Institut Supérieur de l'Etat pour les Sciences nucléaires appliquées - Hoger Rijksinstituut voor Kernenergiebecrijven.
KUL	Katholieke Universiteit Leuven
MAEE	Ministère des Affaires Economiques et de l'Energie Ministerie van Economische Zaken en Energie
MBLE	Manufacture Belge de Lampes et de Matériel Elec- tronique
MON	Ministère de la Défense Nationale - Ministerie van Landsverdediging
MET	Ministère de l'Emploi et du Travail - Ministerie van Tewerkstelling en Arbeid
MH	Metallurgie Hoboken
MSP	Ministère de la Santé Publique Ministerie van Volksgezondheid
RUG	Rijksuniversiteit Gent
SNCB	Société Nationale des Chemins de fer Belges - NMBS Nationale Maatschappij der Belgische Spoorwegen
UCL	Université Catholique de Louvain
ULB	Université Libre de Bruxelles
ULg	Université de l'Etat à Liège
UM	Union Minière S.A.
VUB	Vrije Universiteit Brussel

Ass.	Membre associé - Buitengewoon Lid
Agr.	Diplôme en Agronomie - Diploma in Landbouwkunde
Chim.	Diplôme en Chimie - Diploma in Scheikunde
Dr.	Diplôme en Médecine - Diploma in Geneeskunde
Dr.Sc.	Diplôme en Sciences - Diploma in Wetenschappen
Ing.	Ingénieur - Ingenieur
Ing. Com.	Ingénieur Commercial - Handelsingenieur
Math.	Diplôme en Mathématiques - Diploma in Wiskunde
Pharm.	Pharmacien - Apotheker
Phys.	Diplôme en Sciences Physiques - Diploma in de Natuurkunde
Vet.	Diplôme en Sciences Vétérinaires - Diploma in Dierkunde