

**Annalen
van
de Belgische Vereniging
voor
Stralingsbescherming**

Vol 1. N° 1

1976

**Annales
de
l'Association Belge
de
Radioprotection**

| | | |
|---------------------------|----------------------|-------------------------|
| Hoofdredacteur | Prof. Dr. O. SEGAERT | Rédacteur en Chef |
| Redactiesecretariaat | Mme Cl. STIEVENART | Secrétaire de Rédaction |
| 14 Juliette Wytsmanstraat | | 14 rue Juliette Wytsman |
| 1050 | BRUSSEL | 1050 BRUXELLES |

INHOUD

SOMMAIRE

| | pagina |
|--|-----------|
| Editoriaal - Editorial | 4 - 6 |
| I. LAFONTAINE : Production et mise en œuvre industrielle de Plutonium | 9 |
| J. LAFUMA : Comportement biologique du Plutonium-239 | 43 |
| E. VAN DER STRICHT : Du controle de sécurité dans les installations industrielles traitant du Plutonium | 55 |
| E. HUBERT : Essai de synthèse et conclusions | 71 |
| A. LEONARD : Evaluation pour l'homme des dangers génétiques présentés par une exposition aux radiations ionisantes | 77 |
| | |
| Statuten - Statuts | 101 - 104 |
| Ledenlijst - Liste des membres | 107 |
| Overzicht van eerdere publicaties - Aperçu des publications antérieures | 119 |
| Wenken voor auteurs - Conseils aux auteurs | 127 - 131 |

EDITORIAAL

De doelstelling van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming is het bevorderen van wetenschappelijk gefundeerde studie en navorsingswerk op gebied van bescherming van het individu en van zijn milieu tegen de gevaren van ioniserende stralingen. Deze doelstelling impliceert het verwezenlijken van samenwerking tussen meerdere universitaire disciplines. De betekenis en de veelzijdige problematiek van de stralingsbescherming vergt de belangstelling en de inbreng van wetenschappelijke kennis op gebied van geneeskunde, fysika, scheikunde, biologie, toegepaste wetenschappen, toxicologie, ecologie, recht, economie e.a.

Sedert haar oprichting op 9 april 1963 heeft de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming een succesvolle ontwikkeling gekend. De publicatie van de wetenschappelijke voordrachten en lezingen in de "Journal Belge de Radiologie" en het verspreiden onder vorm van "Mededelingen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming" aan alle leden, hebben hiertoe bijgedragen.

Met de bedoeling de gepubliceerde mededelingen door grotere verspreiding in het licht van een bredere multi-disciplinaire belangstelling te plaatsen en meteen een grotere toegankelijkheid te scheppen voor de behandeling van de veelzijdige problematiek van de stralingsbescherming heeft de vereniging thans de "Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming" als autonoom tijdschrift in het leven geroepen. Onze vereniging betracht de publicatie van waardevolle wetenschappelijke bijdragen over alle aspecten van de stralingsbeveiliging. Na goedkeuring door een leescommissie worden bijdragen aanvaard over het meten van individuele, collectieve en ambiante stralingsniveau's, stralingsecologie, dosimetrie, afscherming, opbergen van radioactieve afval, transport van radionucliden, inwendige en uitwendige stralingsbelasting, contaminatie-controle, verspreiding van radionucliden in water en lucht, fallout, resuspensie van oppervlaktebesmetting, praktische richtlijnen, stralingsongevallen, wisselwerking van straling met materie : op atomaire en nucleaire schaal, op kristallen, gassen, vloeistoffen, vaste stoffen, cellen, organismen, dierlijke en ecosystemen, studie van stralingsschade en hitteverschijnselen, stralingsniveau's, toelaatbare doses en concen-

traties, meten van doses en energiespectra, kwaliteits- en RBE factoren, medisch diagnostische en therapeutische stralenbelasting met uitwendige en inwendige stralingsbronnen, stralingsbeveiliging bij stralinggenererende installaties, fissie en fusie reactoren in normaal bedrijf en in accidentele omstandigheden, interventieplanning, safeguards, straling in de ruimte, recht, reglementering, enz.

We verwelkomen tevens bijdragen met betrekking op actuele interessegebieden zoals dosimetrie en studie van biologische effecten bij lasers, ultraviolet licht, ultrageluid, intense magnetische velden, enz. Alhoewel aan het toegepast onderzoek zowel bij moeilijke als bij eenvoudige dagelijkse problemen grote aandacht wordt besteed, moet steeds aan de vooruitgang van het fundamenteel vorsingswerk een geïntegreerde plaats worden toegekend.

Het tijdschrift beoogt een vrije uitwisseling van informatie en biedt aan de leden van de vereniging de mogelijkheid waardevolle wetenschappelijke publicaties in een van de drie nationale talen of in de engelse taal te laten verschijnen zonder noodzakelijke voorafgaande verbale presentatie op één van de vergaderingen.

In haar gebondenheid met de "International Radiological Protection Association" opent de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming de mogelijkheid tot uitwisseling van wetenschappelijke informatie uit elk van de betrokken disciplines.

Bij het verschijnen van dit eerste nummer doen we beroep op de daadwerkelijke medewerking van alle leden en stellen ons vertrouwen in een stimulerende verruiming van de belangstellingssfeer.

1 maart 1976.

Prof. Dr. O. SEGAERT.

EDITORIAL

L'objectif de l'Association Belge de Radioprotection est de favoriser l'étude scientifique approfondie et les travaux de recherche dans le domaine de la protection de l'individu et de son milieu contre les dangers des radiations ionisantes. Cet objectif implique la collaboration de plusieurs disciplines universitaires. L'importance de la radioprotection et la multiplicité des problèmes exigent l'intérêt et l'apport de connaissances scientifiques en médecine, physique, chimie, biologie, sciences appliquées, toxicologie, écologie, droit, économie, etc...

Depuis sa création le 9 avril 1963, l'Association Belge de Radioprotection s'est développée avec succès. La publication des exposés et conférences scientifiques dans le Journal Belge de Radiologie et leur diffusion à tous les membres sous forme de tirés-à-part intitulés "Travaux présentés aux séances de l'Association Belge de Radioprotection" ont contribué à ce développement.

Dans le but de diffuser plus largement les publications et de les rendre plus accessibles dans les divers milieux intéressés par les facettes multiples de la radioprotection, l'Association a créé un journal autonome : "Les Annales de l'Association Belge de Radioprotection". Notre Association souhaite publier des contributions scientifiques de qualité sur tous les aspects de la radioprotection. Après approbation par un comité de lecture, sont acceptées les communications qui portent sur la mesure des niveaux de radiations individuels, collectifs et ambiants, sur la radioécologie, la dosimétrie, les blindages, le confinement des déchets radioactifs, le transport des radionucléides, les charges radioactives internes et externes, le contrôle de la contamination, la dispersion des radionucléides dans l'air et l'eau, les retombées, la mise en suspension de la contamination superficielle, les directives pratiques, les accidents nucléaires, l'interaction des rayonnements avec la matière (à l'échelle atomique et nucléaire) sous forme de cristaux, de gaz, de liquides, de solides, de cellules, d'organismes, de systèmes animaux et d'écosystèmes, l'étude des dommages et de l'échauffement causés par les radiations, les niveaux de radiations, les doses

et concentrations permises, les mesures de doses et le spectre d'énergie, les facteurs de qualité et l'EBR, les charges radioactives dues au diagnostic médical et à la thérapeutique avec des sources de rayonnement externes et internes, la sécurité près des installations sources de rayonnements, réacteurs de fission et fusion en fonctionnement normal ou dans des conditions accidentelles, les plans d'intervention, la sauvegarde, les rayonnements dans l'espace, le droit et la réglementation, etc...

Nous accueillons en outre, des communications en rapport avec des sujets d'actualité comme la dosimétrie, l'étude des effets biologiques près des lasers, de la lumière ultraviolette, des ultrasons, des champs magnétiques intenses, etc...

Bien que la recherche appliquée réclame une grande attention tant dans les problèmes difficiles que dans les simples problèmes journaliers, une place doit toujours être réservée à l'avancement de la recherche fondamentale.

Le journal a pour but de favoriser un libre échange d'informations et donnera aux membres de l'association la possibilité de faire paraître des publications scientifiques de valeur dans l'une des trois langues nationales ou en anglais, sans qu'elles soient nécessairement précédées d'une présentation orale à l'une des assemblées de l'Association.

Enfin, par son affiliation à l'"International Radiological Protection Association", l'Association Belge de Radiprotection se donne la possibilité d'échanger des informations scientifiques dans chaque discipline concernée.

A l'occasion de la parution de ce premier numéro, nous faisons appel ici à votre collaboration effective. Nous mettons notre confiance dans le dynamisme des membres de notre Association et dans l'élargissement stimulant de notre sphère d'intérêt.

le 1er mars 1976

Prof: Dr. O. Segaert

PRODUCTION ET MISE EN OEUVRE INDUSTRIELLE DU PLUTONIUM.

I, LAFONTAINE.

Belgonucléaire s.a.

25, rue du Champ de Mars

1050 BRUXELLES.

30 mai 1975.

RESUME

Ce document se propose d'abord d'évaluer les quantités de plutonium qui seront produites par la population de centrales nucléaires jusqu'en 1980 et quelles sont les installations susceptibles actuellement de pouvoir traiter les combustibles nucléaires usés afin de récupérer cette matière.

Dès que le plutonium, sous forme de dioxyde, est mis à disposition, son transport est effectué, vers les installations de fabrication de barreaux et d'assemblage de combustible, dans les emballages spécialement agréés par les Autorités Compétentes et devant satisfaire à des épreuves très sévères prescrites par l'Agence Internationale de Vienne. Des protections supplémentaires sont assurées en cours de transport notamment dans l'éventualité d'une tentative de diversion des matières nucléaires.

L'installation de fabrication de combustibles nucléaires est conçue sur la base d'études approfondies de sécurité. En effet, diverses probabilités d'accidents et les risques y associés ont été évalués et ont donné lieu notamment à des normes sûres de travail ainsi qu'à la mise en place d'éléments de protection.

1. EVOLUTION DE LA PUISSANCE ELECTRIQUE INSTALLEE D'ORIGINE NUCLEAIRE ET PRODUCTION DE PLUTONIUM.Evolution de la puissance électrique installée.

Lors d'un exposé donné en juin 1970 à la Société Beige de Radioprotection (référence 1), cette évolution avait été décrite sur la base des études de l'expansion de la puissance nucléaire réalisées par des organismes tels que l'Agence Européenne pour l'Energie Nucléaire (ENEA) et l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA).

L'optimisme qui était affiché en 1970 quant à l'expansion de l'implantation de centrales nucléaires doit être révisé maintenant en fonction du développement de l'inquiétude qui s'est développée dans une partie de l'opinion publique de certains pays.

En conséquence, le présent document se propose de donner des chiffres

en principe celle de Wak avec 35 T/an. Cette dernière devrait être recon-ditionnée pour le traitement de combustibles HTR et R,R. Du côté améri-cain, NFS (300 T/an) n'a plus de licence d'exploitation, GE-Morris ne mettra pas son unité en service; quant au projet Barnwell (1,500 T/an en LWR), la construction est en cours. Wak a aussi un projet de mise en ser-vice en 1980 d'une unité de 1,500 T/an LWR.

En résumé, pour l'année 1975, il n'y a plus de capacité de retraite-ment aux Etats-Unis, et la situation dans le domaine du traitement des combustibles LWR n'est pas brillante en Europe avec une disponibilité maximale de 100 T/an. Toutefois, une capacité très importante de l'ordre de 4.300 T/an pour le traitement des combustibles MGR est assurée.

2. TRANSPORT DE PLUTONIUM

Caractéristiques des conteneurs de transport.

Le règlement édité par l'Agence de Vienne dans les collections de sé-curité 6 et 37, donne les prescriptions auxquels il y a lieu de satisfai-re pour effectuer le transport de matières radioactives dans des condi-tions de sécurité optimales (références 10, 11),

Dans le cas du plutonium, cet élément appartenant au Groupe I de la classification des matières radioactives, le transport doit s'effectuer dans des conteneurs du type B, et relevant également d'une classe fis-sile I, II ou III dès que la quantité transportée dépasse 15 g.

Les conteneurs mis en oeuvre doivent avoir été agréés par l'Autorité Compétente du pays d'origine de ces derniers et leurs certificats doivent aussi être validés par les Autorités Compétentes des territoires sur les-quels leur transport doit s'effectuer. A l'appui d'une demande pour ob-tenir l'agrément d'un container, le dossier doit contenir toutes les étu-des de sécurité tendant à prouver que ce conteneur répond aux pres-criptions précitées tant du point de vue prévention à la dispersion des matières radioactives lors d'un accident très grave (collision routière, feu d'hydrocarbure, chute, immersion, etc.,) que de celui de la préven-tion à la criticité s'il s'agit de transport de matières fissiles. Les emballages de matières radioactives du type B doivent satisfaire notam-ment à des épreuves très sévères telles que chute libre de 9 mètres, pé-nétration, chute avec pénétration, épreuve thermique à 800° C pendant

30 minutes, aspersion, immersion, etc.,.

Le tableau VI donne une liste non-exhaustive des conteneurs en type B et en classe fissile I ou II usuellement utilisés pour le transport de matières plutonifères.

Le transport de ces containers peut s'effectuer par camion, par train, par bateau et par air. Dans chacun de ces cas, une réglementation adéquate est d'application. En ce qui concerne la Belgique, lorsque notamment l'activité des matières à transporter dépasse celles données dans les autorisations générales de transport accordées par le Ministère de la Santé Publique, le transport ne peut s'effectuer que sur la base d'une autorisation spéciale délivrée par l'Autorité Compétente.

Protection contre la diversion de matières nucléaires lors de transports sur la voie publique,

Sans vouloir revenir aux prescriptions particulières données par la réglementation de l'AIEA, par les règlements nationaux ainsi que par les règlements particuliers pour des transports par route (ADR), par air (IATA), par rail (RID), par mer (IMCO), par canaux et cours d'eau (ADN), il y a lieu de préciser que des dispositions spéciales sont prises afin que les transports soient réalisées avec un maximum de sécurité,

En ce qui concerne plus particulièrement les transports, soit de matières irradiées, soit de quantités notables de matières fissiles, ceux-ci sont effectués par la BELGONUCLEAIRE depuis de nombreuses années, avec escorte de la Gendarmerie, afin d'éviter tout problème de circulation routière et de disposer d'un support logistique immédiat en cas de difficulté. Il s'avère dans le contexte actuel que les mesures de sécurité qui sont prescrites par exemple aux Etats-Unis en vue d'éviter une agression éventuelle par une organisation terroriste vont donc dans le même sens que celles mises d'initiative en application par nos soins. Il y a lieu de souligner également que des liaisons radio sont assurées situés le long de l'itinéraire suivi. Une illustration d'un transport effectué par BELGONUCLEAIRE est donnée à la figure 2,

Sécurité des transports aériens,

Des journaux, en date du mois de mars 1975, ont relaté la protestation de l'association américaine des pilotes de ligne contre la livraison par voie aérienne de quantités importantes d'oxyde de plutonium à l'aéro-

port de Kennedy. L'appréhension de cette association, ainsi que des parlementaires quant aux suites pouvant résulter d'un accident à l'atterrissage ou lors d'une éventuelle collision aérienne est compréhensible. Toutefois, il est indispensable de se rappeler qu'il ne s'agit pas de simples colis dont l'emballage serait facilement destructible. Il y a lieu de se référer à la solidité exceptionnelle des conteneurs de transport qui sont prévus pour résister à des accidents très graves.

En complément d'information, il faut souligner que des études ont été réalisées à l'étranger et ont été polarisées sur l'éventualité d'un sabotage en vol d'un avion transportant des matières radioactives. Dans ce cadre, des essais en chute libre de conteneurs conçus pour le transport d'oxyde de plutonium ont été réalisés à partir d'une relativement haute altitude. Les résultats sont tels qu'aucune dispersion de la matière n'est à craindre même si ces conteneurs percutent, après leur longue chute, un sol en béton. Ce type d'essais devrait rassurer l'opinion publique quant à la fiabilité de la conception des conteneurs de transport.

3. LA SECURITE DANS UNE USINE DE FABRICATION DE COMBUSTIBLES PLUTONIFERES.

Cadre de la notion sécurité.

A maintes reprises (références 11, 12, 13), les principes généraux présidant à la construction et l'exploitation d'une usine de fabrication de combustibles plutonifères ont été soulignés. Dans le cadre de la préoccupation première d'assurer la santé des travailleurs et de la population avoisinante, les principes généraux sont basés sur les vecteurs de sécurité suivants :

- protection sanitaire des travailleurs,
- salubrité des lieux de travail,
- protection de l'environnement,
- fonctionnement optimal de l'usine.

Bien que depuis de nombreuses années des dispositions sont assurées pour empêcher le vol et le détournement de matière fissiles dans le cadre du Traité de Rome, la préoccupation de protection contre le sabotage de caractère industriel n'était pratiquement pas envisagé durant la décennie précédente en Belgique. Cette nouvelle optique est particulièrement contraignante et les dispositions qu'il y a lieu de mettre en

Aussi est-il intéressant de déterminer les quantités de plutonium fissile qui seront produites en 1975 et en 1980 ainsi que les quantités cumulées à ces dates dans les pays de la CEE et dans le monde (à l'exclusion des pays à économie socialiste). Ces valeurs sont données au tableau IV. En ce qui concerne plus particulièrement la CEE, des quantités de 3,3 et 7,5 tonnes de Pu fissile seront formées dans les combustibles à la fin respectivement des années 1975 et 1980. La quantité totale qui sera cumulée depuis 1971 jusqu'à 1980 est évaluée à 38,7 tonnes de plutonium fissile, par rapport à 98 tonnes de Pu fissile dans le restant du monde (non compris les pays à économie socialiste), (références 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9). Des valeurs beaucoup plus optimistes ont été publiées par l'Institut International de Recherche sur la Paix (SIPRI) (référence 15). Cet institut estime que la production totale mondiale cumulée pourrait être de 85 T en Pu total (soit 65 T Pu fissile) en 1975 et de 360 T en Pu total (~ 270 T Pu fissile) en 1980. Ces valeurs sont établies en tenant compte du fait que 20 T (~ 16 T Pu fissile) sont déjà cumulées en 1970.

Retraitement des combustibles irradiés,

Un proverbe dit qu'il y a parfois loin de la coupe aux lèvres. Ce proverbe pourrait bien s'appliquer aux disponibilités en plutonium. En effet, pour en disposer dans le cadre de son recyclage dans les réacteurs à eau légère ou pour l'utiliser comme combustible de base dans les surgénérateurs, il faut d'abord passer par l'étape du traitement des combustibles usés sortant des centrales nucléaires précitées. Le tableau V donne la situation globale des installations susceptibles de traiter les combustibles irradiés et de restituer aux clients le plutonium formé. Dans l'immédiat, seules les unités de Windscale (2,500 T/an), de la Hague (1,500 T/an) et de Marcoule (300 T/an) ont une capacité importante permettant de traiter des combustibles MGR. En ce qui concerne le traitement de combustible LWR, les opérations sont arrêtées à Windscale et n'ont pas été entamées à l'Usine Principale de la Hague pour laquelle une capacité de 900 T/an est prévue. Le Japon devrait mettre en service en 1975 une unité de 100 T/an pour du combustible LWR. Des unités de plus petites capacités peuvent traiter également des combustibles usés LWR telles que celles d'Eurochemic (60 T/an), de Cusex (~ 20 T/an) et

relatifs aux réacteurs déjà en fonctionnement et ceux dont la construction est en cours et dont la divergence a une bonne probabilité d'être réalisée avant 1980.

Le tableau I reprend pour 1975 et 1980 la puissance électrique nette installée et prévisionnelle d'origine nucléaire pour les pays membres de la CEE et pour d'autres pays européens. Pour la CEE, cette puissance passera de 18,7 GWe en 1975 à une valeur comprise entre 55,6 et 64,6 GWe en 1980. Pour d'autres pays européens, l'Union Soviétique n'étant pas considérée dans cette évaluation, la croissance de la puissance électrique d'origine nucléaire passera de 5,3 GWe en 1975 à une prévision de 22,1 à 29,2 GWe (références 1,2,3).

Le tableau II concerne plus spécifiquement l'évolution de la puissance électrique nette entre 1962 et 1980 pour la Belgique. Les centrales nucléaires actuellement en service sont : la petite centrale expérimentale BR 3 située au SCK/CEN-Mol, les centrales de Chooz et de Tihange 1 (dont la production d'énergie est répartie 50/50 entre la France et la Belgique), ainsi que les centrales Doel 1 et Doel 2. Deux nouvelles centrales, celles de Doel 3 et Tihange 2, devront diverger au plus tard en 1980. Il y a lieu aussi de citer la participation belge au surgénérateur SNR 300 en construction à Kalkar dont 15 % de la puissance seront repris par le réseau belge.

Suivant le respect du planning des mises en service de ces centrales, la puissance nette cumulée pour la Belgique sera de 2,3 ou 3,2 GWe.

Production de plutonium

Qu'il s'agisse de réacteurs fonctionnant à l'uranium naturel, à l'uranium légèrement enrichi ou de surgénérateurs, le processus de fission des atomes fissiles conduit à former dans les combustibles, par capture neutronique, désintégration β ou γ , un spectre étendu d'isotopes de l'U, du Np, du Pu, de l'Am et du Cm. Un schéma de la formation des actinides les plus importants est donné à la figure 1.

En se polarisant exclusivement sur la formation du plutonium, il apparaît que le taux de production de cet élément dépend du type de réacteur dans lequel il est engendré. Le tableau III montre en effet que la production par MWe installé et par an est de l'ordre de 0,26 à 0,36 kg Pu pour un réacteur à eau légère, et de 0,71 kg Pu pour une centrale Magnox (références 1,4,5,6,7).

vigueur dans ce nouveau contexte peuvent éventuellement être en contradiction avec celles en vigueur afin d'assurer la protection des travailleurs (par exemple les sorties de secours).

Principes de sécurité opérationnelle.

La conception d'une installation pour la mise en oeuvre notamment du plutonium, d'une part, nécessite une évaluation aussi poussée que possible de toutes les probabilités d'accidents pouvant survenir en cours d'exploitation et, d'autre part, requiert de déterminer quels sont les risques associés. Ces probabilités peuvent être répartis en deux grands groupes en fonction de leur degré d'occurrence respectif (référence 14).

Le premier groupe se réfère aux accidents de travail pouvant survenir d'une manière inopinée (par exemple déchirure d'une des gants fixés aux enceintes de manipulation). La probabilité qu'un accident de ce genre puisse se reproduire étant non négligeable, il en résulte que les règles de sécurité sont établies de manière à réduire leur fréquence à un niveau aussi faible que possible et les moyens de protection individuels et collectifs mis en place sont développés de façon telle que les dommages pouvant survenir à la suite de ces accidents de travail soient réduits au minimum.

Le deuxième groupe concerne les accidents à probabilité négligeable d'occurrence (accidents appelés de référence). Ceux-ci sont de la classe incendie, explosion, excursion nucléaire. Ces événements pourraient éventuellement avoir une portée grave, non seulement vis-à-vis de l'exploitation de l'installation, mais encore vis-à-vis du personnel et de la population avoisinante.

Sur la base de l'évaluation des conséquences qui pourraient résulter de ce genre d'accidents, les bâtiments et halls de travail sont conçus de manière à

- limiter l'extension du feu,
- résister au souffle d'une explosion,
- procurer des écrans qui réduisent la dose du rayonnement mixte gamma-neutrons lors d'une excursion nucléaire,
- présenter une étanchéité suffisante vis-à-vis du site en cas de dispersion de matières radioactives dans un laboratoire ou hall,
- assurer d'une manière permanente et efficace une filtration et une

dilution des effluents gazeux,

- assurer l'évacuation, dans les meilleures conditions, du personnel en cas de nécessité.

Dans le cadre de l'évaluation précitée, l'exploitant et son service de sécurité s'assignent comme tâche fondamentale l'examen approfondi des techniques de fabrication et des contrôles, de manière à prendre toutes les dispositions de sécurité opérationnelle susceptible d'assurer la prévention des accidents classiques et maxima de référence. L'élaboration des normes de travail sûres s'accompagne de la mise en place de plans d'actions en vue d'interventions d'urgence pour la sauvegarde de la population environnante et de l'unité de fabrication dans l'éventualité d'un accident.

Accidents de référence.

Ces accidents pourraient survenir, soit dans le cadre de l'exploitation de l'installation, soit qu'ils résultent d'un phénomène externe à cette installation.

Les études ont donc porté sur 7 types d'accidents de référence comprenant d'une part les phénomènes naturels tels que inondation, secousse sismique, tornade ou accident externe, tel que missile et d'autre part l'incendie, l'explosion, l'excursion nucléaire. L'éventualité d'une tentative de sabotage industriel a été examinée. Ce dernier cas doit être traité comme une action à un niveau national car la motivation serait d'ordre politique.

Par exemple, les dommages pouvant résulter du déclenchement d'un de ces phénomènes naturels seraient complètement différents suivant le site sur lequel l'installation est bâtie. Le site de Mol/dessel exclut complètement le risque d'inondation. Les dégâts pouvant résulter d'une secousse sismique (accélération maximale de 100 cm/s^2) ou d'un vent violent (vitesse maximale de 50 m/s à 50 mètres d'hauteur) seraient minimales pour le territoire belge.

Un autre exemple d'un accident, qui pourrait survenir en cours d'exploitation d'une usine de fabrication de combustibles plutonifères serait puisse se produire car l'introduction de produits inflammables et explosibles dans les halls de fabrication est sévèrement réglementée. Les quantités utilisées sont d'ailleurs si faibles et le contrôle de leur utilisation si strict qu'elles ne constituent pas un danger réel.

Afin d'acquiescer toute assurance dans ce domaine et dans celui des conséquences pouvant résulter de l'effet dynamique d'une excursion nucléaire, les effets d'une explosion dans un hall ont été déterminés expérimentalement en 1968 en collaboration avec le SCK/CEN-Mol (référence 16). L'expérience a, en fait consisté à placer dans une boîte à gants des charges croissantes jusqu'à 1 kg de TNT. Les résultats obtenus sont tels que les murs, et par conséquent le bâtiment, conserveraient leur intégrité même pour une charge de 1 kg TNT simulant l'effet qui pourrait résulter d'une excursion dont le nombre total de fissions dans le 1er pic serait de $7 \cdot 10^{18}$.

Contrôle Physique (Protection sanitaire).

Dans des publications précédentes (références 12 et 14), des moyens mis en oeuvre en vue de la prévention de la contamination ont été décrits. La description de quelques moyens de protection est reprise ci-après.

Ventilation des lieux de travail

- a) Le taux horaire du renouvellement de l'air dans les locaux doit être très important compte tenu du fait que la concentration maximum admissible des isotopes du plutonium dans l'air est très faible (10^{-12} Ci/m³ pour 40 h de travail).
 - b) L'ensemble des zones dites actives doit toujours être en dépression par rapport aux zones inactives. De même, les zones les plus actives doivent être en dépression par rapport à celles moins actives. Cette technique permet ainsi d'obtenir des barrières contre la contamination, c'est à dire qu'elle constitue un moyen efficace contre l'extension d'une contamination éventuelle ou permanente vers des lieux où une plus faible activité est tolérée.
 - c) L'air sortant des locaux et celui extrait après passage sur des filtres absolus des hottes et enceintes étanches pouvant être contaminé, leurs rejets s'effectuent hors du bâtiment en passant ou repassant préalablement sur des batteries de filtres absolus. Ces rejets sont réalisés de manière à assurer éventuellement leur dilution complémentaire à des concentrations respectant les normes édictées dans le cadre de la protection de la population avoisinante.
- Il faut souligner qu'aucun rejet significatif n'a été mesuré pendant

une période de 15 ans couvrant la mise en service des Laboratoires Plutonium localisés au SCK/CEN-Mol et de l'Usine Plutonium à Dessel.

Contrôle atmosphérique des lieux de travail.

Une des actions les plus importantes de l'installation de contrôle sanitaire consiste en la vérification périodique ou constante de l'absence d'une contamination atmosphérique des zones de travail.

Le contrôle de l'activité de l'air est effectué notamment par des échantillonnages de l'air prélevés en continu dans les zones de travail. Ces échantillons sont mesurés également en continu par spectrométrie alpha (figure 3).

Ces échantillonneurs sont répartis de manière à surveiller l'ensemble des postes de travail pour lesquels une probabilité de contamination n'est pas exclue.

Mesure de contamination de surface.

Aucune contamination de surface transférable n'est tolérée dans nos laboratoires et ateliers de fabrication. Mêmes des faibles contaminations de surface n'ayant pas la propriété d'être transférables par frottis font l'objet d'un traitement en vue de leur élimination.

Cette philosophie résulte d'ailleurs des niveaux maxima admissibles très sévères pour la contamination de surface par des émetteurs alpha appliqués au SCK/CEN-Mol et à la BELGONUCLEAIRE.

Ces niveaux sont inspirés par ceux prescrits par les Laboratoires de Oak Ridge (ORNL).

L'application de la technique précitée dans le cadre d'un assainissement constant des zones de travail permet d'atteindre un haut degré de sécurité du personnel et facilite la détection immédiate de toute contamination de surface qui pourrait se produire.

Equipements de contrôles opérationnels.

Toute opération pouvant comporter une probabilité d'accident par défaillance d'un équipement est contrôlée et des actions automatiques sont programmées, y compris une signalisation d'alarmes.

Surveillance générale des lieux de travail.

Une salle de contrôle permet :

- de centraliser toutes les informations (alarmes, niveaux d'activité des

- locaux , à la cheminée, régimes de ventilation, alerte incendie, contrôle criticité, etc...),
- de prendre toutes les actions requises en fonction des informations reçues,
 - le contrôle des personnes entrant ou sortant de la zone contrôlée.

La vue d'une telle salle est montrée à la figure 4.

Protection contre les champs de rayonnements.

Le plutonium est usuellement considéré comme un émetteur alpha. Toutefois, il faut tenir compte du fait que cette émission est également accompagnée d'émissions X ou gamma ainsi que de neutrons par fissions spontanées résultant de certains isotopes. De plus, le taux de rayonnement neutron est accru par des réactions α -n dans l'oxyde de plutonium. D'autres éléments tels que l'Am²⁴¹ ou l'U²³⁷, formés par décroissance radioactive de l'isotope Pu²⁴¹ (voir figure 1), contribuent aussi à une augmentation de l'intensité du champ de rayonnement.

Il en résulte que le taux de dose délivré par l'oxyde de plutonium sous forme pure, ou mélangé à haute concentration avec de l'oxyde d'uranium, peut être élevé surtout lors des manipulations en contact direct avec la matière.

En conséquence , la conception de la ligne de fabrication doit être telle qu'elle permet de réduire au minimum l'exposition du personnel à une irradiation externe importante.

L'Usine de Dessel (figure 5) a donc été aménagée de manière à mécaniser ou automatiser la plupart des étapes de fabrication. Dans de nombreux cas, les commandes se font à distance. Si la mécanisation est actuellement non réalisable pour certains points de contrôle, dans ce cas, des blindages s'imposent. A titre d'exemple, diverses étapes de fabrication sont montrées aux figures suivantes :

- la salle de commande permettant le dosage des poudres d'oxydes de plutonium et d'uranium en vue de leur mélange (figure 6).
- les systèmes de transfert de poudres (figure 7).
- les mécanismes de déplacement des nacelles contenant des pastilles d'oxydes mixtes par des chaînes transporteuses (figure 8).
- les opérations de frittage en continu (figure 9).
- le hall de pastillage-frittage (figure 10).
- le hall de séchage de pastilles et de remplissage des barreaux de com-

bustibles (figures 11 et 12).

Protection contre la diversion et le sabotage (références 17,18,19).

Comme il a été souligné au début de ce chapitre, les Installations Nucléaires Belges se sont d'abord trouvées en difficulté pour résoudre immédiatement le problème relatif au danger d'agression qui pourrait les atteindre. Bien entendu, les dispositions classiques de protection contre le vol étaient déjà d'application, telles que la mise en place d'une enceinte fermée délimitant le site, l'utilisation de gardes, etc.... De plus, conformément aux prescriptions du Traité Bilatéral Etats-Unis - Belgique (devenu caduc entre-temps, et remplacé par le Bilatéral Etats-Unis - Euratom), des dispositions sévères de protection ont du être prises et assurées en vue d'éviter autant le vol de documents classifiés que celui des matières nucléaires spéciales (S.N.M.).

Il fallait envisager des mesures de sécurité dans le cadre d'une intrusion organisée sur le site et dont la motivation pourrait être, par exemple, l'occupation en vue d'exercer un chantage politique. Notamment, des moyens d'identification du personnel ont été mis en vigueur, des contrôles stricts sont effectués en routine pour toute personne et véhicule devant avoir accès au site. Des moyens de détection et d'alarme contre les tentatives d'effraction de ce site ont dû être imaginés.

4. CONCLUSIONS.

Une expérience importante a été acquise par l'exploitation depuis de l'ordre de 15 ans

- de laboratoire de recherche et de conditionnement du plutonium,
- d'une installation pilote de fabrication de barreaux de combustible au plutonium,
- et ces dernières années, d'une usine ayant une capacité nominale de production de combustibles plutonifères de 30 T par an.

Cette expérience a permis progressivement d'élaborer et de mettre en application des dispositions de sécurité et de protection sanitaire du personnel, permettant d'assurer le respect des normes de base dans le cadre d'une production industrielle de combustible au plutonium.

Les événements survenus ces dernières années ont nécessité d'étudier et de prendre toutes les mesures de protection des installations et des

moyens de transport de matières radioactives contre le détournement de ces matières et le sabotage de caractère industriel.

REFERENCES

- (1) LAFONTAINE, I., Perspectives d'utilisation du plutonium en 1970. Journal Belge de Radiologie, Vol. 54, fasc. 1- pp. 111-118.
- (2) MANDEL, H., La structure de la production d'énergie nucléaire au cours des années 70 et 80. Energie Nucléaire, Vol. 14, N° 6, Janvier-Février 1973, pp. 424-431.
- (3) Forecast of Growth of Nuclear Power. USAEC Report WASH-1139- Reactors (TID 4500)-January 1971.
- (4) Consommation et Production de matières fissiles par différents types de réacteurs de puissance. Document Euratom 2445 f.
- (5) Plutonio- Un combustibile in alternativa per I reattori di potenza termici. Comitato Nazionale Energia Nucleare. Notiziario.
- (6) RONTEIX, F. et al., Vers un marché du Plutonium. Plutonium as a reactor Fuel. Proceeding of a symposium, Brussels 13-17 March 1967. AIEA, Vienna 1967, pp. 723 à 737.
- (7) SCURICINI, G.B., LAVRENCIC, D., VALANT, P., Prospettive di sviluppo dell' energia nucleare nell' Europa Occidentale. Comitato Nazionale Energia Nucleare. Notiziario n° 12, décembre 1968, pp. 49-54.
- (8) Deuxième programme indicatif nucléaire pour la Communauté . CCE XVII/341/2/71F.
- (9) Aspect économique du cycle du combustible. Energie Nucléaire, Vol. 15, N° 1, Janvier-Février 1973, pp. 60-71.
- (10) Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials. 1973 Revised Edition. Safety Series n° 6 - IAEA Vienna 1973.
- (11) Directives pour l'application du règlement de transport de l'AIEA. Collection Sécurité n° 37 -AIEA- Vienne 1974.
- (12) LAFONTAINE, I., Quelques considérations concernant les risques de contamination radioactive interne des travailleurs et les moyens de sa prévention. Journal Belge de Radiologie, Vol. 50 n° 4, 1967, pp. 293-303.
- (13) LAFONTAINE, I., La Sécurité, Facteur de promotion dans l'Industrie Nucléaire. Communication présentée au Comité d'Experts sur le Recyclage du Plutonium dans les Réacteurs à Eau Légère, Bruxelles, 29 novembre 1973. Rapport BELGONUCLEAIRE BN 7311-03.
- (14) LAFONTAINE, I. Principe de Protection Sanitaire et de Sécurité Opérationnelle dans l'Usine de production de combustibles au plutonium

à Dessel. Exposé fait à Berne le 18 mars 1975 au Séminaire organisé par l'Association Suisse pour l'Energie Atomique. Rapport BELGONUCLEAIRE BN 7503-06.

- (15) Forum Nucléaire Belge, N° 3, Mai 1975.
- (16) PETY-DE-THOZEE, G., LAFONTAINE, I., DEBAUCHE, M., Examen des conséquences d'excursions nucléaires sur l'infrastructure des Laboratoires Plutonium à Mol. Rapport des expériences d'explosion du TNT effectuées au Fort de Dave. Rapport BELGONUCLEAIRE BN 6808-05-Août 1968.
- (17) Safeguards against the Theft or Diversion of Nuclear Materials. Nuclear Safety, Vol. 15, N° 5, September-October 1974. pp. 513-518.
- (18) Physical Protection of Plants and Materials. Part 73. Rules and Regulations, Title 10, USAEC, December 31, 1973.
- (19) Control of Personnel Access to Protected Areas, Vital Areas and Material Access Areas. Regulatory Guide 5. 7, USAEC - June 1973.

| PAYS | 1975 | 1980 |
|------------------------------|------|-------------|
| <u>CEE (9)</u> | | |
| BELGIQUE | 1,4 | 2,3 - 3,2 |
| DANEMARK | - | 0,6 - 0,8 |
| FRANCE | 4,1 | 17 - 22 |
| GRANDE BRETAGNE | 6,5 | 10,8 |
| ITALIE | 1,4 | 3,4 - 4,3 |
| PAYS-BAS | 0,5 | 0,5 |
| R.F. d'ALLEMAGNE | 4,8 | 21 - 23 |
| Total CEE | 18,7 | 55,6 - 64,6 |
| <u>Autres Pays Européens</u> | | |
| AUTRICHE | - | 0,7 - 1,5 |
| ESPAGNE | 1,1 | 7,6 - 10,5 |
| FINLANDE | - | 1,6 - 2,2 |
| NORVEGE | - | - |
| PORTUGAL | - | - |
| SUEDE | 3,2 | 7,5 - 8,5 |
| SUISSE | 1,0 | 4 - 5 |
| YUGOSLAVIE | - | 0,7 - 1,5 |
| | 5,3 | 22,1 - 29,2 |

TABLEAU I

PUISSANCE ELECTRIQUE NETTE INSTALLEE
 ET PREVISIONNELLE (en GWe)
 D'ORIGINE NUCLEAIRE

| REACTEURS | SITE ⁽¹⁾ | 1962 | 1967 | 1971 | 1973 | 1974 | 1975 | 1979 | 1980 |
|--|---------------------|--|--------------------|-------|-------|-------|--------------------|--------------------|--------|
| BR 3 | MOL (B) | 10,5 | | | | | | | |
| SENA | CHOOZ (F) | | 245 ⁽²⁾ | + 25 | + 10 | + 30 | | | |
| DOEL 1 | DOEL (B) | | | | | 390 | | | |
| TIHANGE 1 | TIHANGE (B) | | | | | | 870 ⁽²⁾ | | |
| DOEL 2 | DOEL (B) | | | | | | 390 | | |
| DOEL 3 | DOEL (B) | | | | | | | 900 | |
| SNR 300 | KALKAR (A) | | | | | | | 280 ⁽³⁾ | |
| TIHANGE 2 | TIHANGE (B) | | | | | | | | 900 |
| Puissance nette pour la Belgique | | 10,5 | 122,5 | 12,5 | 5 | 405 | 825 | 942 | 900 |
| Puissance nette cumulée pour la Belgique | | 10,5 | 133 | 145,5 | 149,5 | 554,5 | 1379,5 | 2321,5 | 3221,5 |
| LEGENDE | | (1) A = RFA, B = Belgique, F = France (2) = répartition 50% France, 50% Belgique (3) = répartition 15% Belgique, 15% Pays-Bas, 70% RFA | | | | | | | |

TABLEAU II
 PUISSANCE ELECTRIQUE NETTE INSTALLEE ET PREVISIONNELLE D'ORIGINE NUCLEAIRE
 SITUATION POUR LA BELGIQUE (en MWe)

| Type de réacteur | Production de plutonium kg Pu / MWe / an | Références |
|--|---|------------|
| - à eau légère | 0,26 à 0,35 | 4, 6, 7 |
| - refroidis au gaz et modérés au graphite | | |
| MGR (U naturel) | 0,47 à 0,58 | 4, 6, 7 |
| AGR (U enrichi) | 0,17 à 0,22 | 6, 7 |
| Magnox | 0,71 | 5 |
| - à eau lourde | 0,40 à 0,51 | 5, 6, 7 |

TABLEAU III

Productions spécifiques de plutonium.

| Année | 1975 | Cumulé 1971-1975 | 1980 | Cumulé 1971-1980 |
|---|------|---------------------|------|---------------------|
| Contrée | | | | |
| <u>C.E.E. (9)</u> | | | | |
| BELGIQUE (50% SENA, DOEL 1, BR 3 50% TIHANGE 1, DOEL 2) | 0,04 | 0,2 | 0,3 | 1,3 |
| FRANCE | 0,9 | 3,0 | 1,7 | 9,5 |
| GRANDE BRETAGNE | 1,8 | 8,0 | 2,4 | 18,7 |
| ITALIE | 0,2 | 0,8 | 0,4 | 2,3 |
| PAYS-BAS | 0,08 | 0,1 | 0,9 | 0,45 |
| RFA | 0,25 | 0,9 | 1,8 | 6,5 |
| TOTAL CEE (9) | 3,3 | 13,1 | 7,5 | 38,7 |
| <u>Autres Pays Européens</u> | | | | |
| AUTRICHE | - | - | 0,1 | 0,2 |
| ESPAGNE | 0,2 | 0,5 | 0,9 | 2,7 |
| FINLANDE | - | - | 0,2 | 0,3 |
| SUEDE | 0,1 | 0,1 | 0,9 | 3,1 |
| SUISSE | 0,2 | 0,6 | 0,3 | 1,2 |
| YOUgoslavIE | - | - | 0,1 | 0,1 |
| TOTAL Autres Pays | 0,5 | 1,2 | 2,5 | 7,6 |
| U.S.A. | 4,0 | 7,9 | 15,6 | 62,0 |
| Autres Pays du Monde à l'exclusion des pays à économie socialiste | 2,7 | 9,2 | 5,4 | 28,4 |

TABLEAU IV

EVALUATION DE LA PRODUCTION EN TONNE DE PLUTONIUM FISSILE

| Contrée | Installation | Nature du Retraitement | Enrichissement maximum | Capacité | Remarque |
|----------|---|---------------------------|---|--|--|
| U.K. | Windscale | MGR | 5% U ²³⁵ | 2.500 T/an | arrêt du retraitement des LWR } 1 seule } installation |
| | Dounreay | MTR | 93% U ²³⁵ 93% U ²³⁵ ou 20% Pu } } | 5-10 T/an 5-10 T/an | |
| R.F.A. | WAK | LWR et HWR | 3% U ²³⁵ (0,8% Pu) | 35 T/an | Projet de 1.500 T/an en LWR pour l'année 1980 |
| ITALIE | CUSEX (SALLUGIA) | MTR | 93% U ²³⁵ 15% U ²³⁵ 5% U ²³⁵ | 1,2 kg U/jour 50 kg U/jour 100 kg U/jour | pas en service avec du combus- tible irradié |
| | ROTONDELLA | Th-U et HTR | 10% U ²³⁵ | 15 kg /jour | |
| FRANCE | LA HAGUE 1) Usine Princip. 2) Pilote AT ₁ 3) Marcoule | MGR | 5% U ²³⁵ | 1.500 T/an | Démarrage prévu en 1975 |
| | | LWR | | 900 T/an | |
| | | FBR MGR | 93% U ²³⁵ 5% U ²³⁵ | 1,5-2 T/an 300 T/an | |
| ESPAGNE | Madrid | HTR | 93% U ²³⁵ | 0,5kg alliage/jour | |
| BELGIQUE | Eurochemic | MGR,AGR,LWR FBR/HTR | | 60-75 T LWR T/an | |
| JAPON | - | LWR | U ²³⁵ | 100 T/an | mise en route prévue pour 1975 |
| U.S.A. | GE-Morris (T11) BARNWELL NFS | - LWR LWR | U ²³⁵ U ²³⁵ U ²³⁵ | - 1.500 T/an 300 T/an | pas de mise en service en construction arrêt - plus de licence d'exploitation |

TABLEAU V LISTE DES UNITES DE RETRAITEMENT DES COMBUSTIBLES IRRADIES.

| Origine | Type | Référence au certificat d'agrément | Classe fissile | Nombre de containers par transport | Quantités autorisées par les certificats d'agrément | Quantité de PuO ₂ par chargement (5) |
|----------|--|---|----------------|------------------------------------|---|---|
| U.S.A. | LLD-1 | DOT-SP-4960 | II | 50 | 4,5 kg Pu s/f de PuO ₂ | 2 kg PuO ₂ |
| | DOT-6M/1 DOT-6M/2 DOT-6M/3 DOT-6M/4 DOT-6M/5 | } DOT-2-69 } DOT-6M/69 | II et III | 125 | 4,5 kg Pu s/f de PuO ₂ H/X = 0 transport index ≤ 1 | 2 kg PuO ₂ 2,5 kg PuO ₂ 3 kg PuO ₂ 4 kg PuO ₂ 5,1 kg PuO ₂ |
| | L.10 | DOT-6M/69 | II et III | 68 | 10 litres de nitrate de Pu à max. 250 g/litre | - |
| U.K. | 0493 | GB-0493B-LS1 | I | | 2,4 kg Pu s/f de PuO ₂ | 1,6 kg PuO ₂ |
| | 0501 0504 (674) 0505 (675) | GB:Pu GB:LS1 GB:1 | I | | 4,6 kg Pu s/f de PuO ₂ | 1,6 kg PuO ₂ 3,3 kg PuO ₂ 4,8 kg PuO ₂ |
| FRANCE | FS 01 (BF 12) | F4-7169.4 | II | 34 | 6 kg Pu s/f de PuO ₂ (1) | 3,4 kg PuO ₂ |
| | FS 02 (BF 20) | F4-806.7 | II | 38 | 12 kg Pu s/f de PuO ₂ (2) | 8 kg PuO ₂ |
| BELGIQUE | BN 0113 | -B/MSP/3-71 -MD-N-32 (3) | II | 20 | 1,3 kg Pu s/f d'UO ₂ - max. 10% PuO ₂ | poudres et pastilles |
| | BN 0121 BN 0122 BN 0123 BN 0124 BN 0125 | } B-MSP-2-1972 } USA/0035/BF } (4) | II | 34 | 2,4 kg Pu ou U ²³⁵ + 1,5 Pu ≤ 3,6 kg | barreaux de combustibles |

(1) Pour des récipients internes aa01 et aa99.

(2) 12 kg Pu soit max. 13.600 kg PuO₂ (Autorisés pour des récipients internes aa22 et aa99)

(3) Validation par l'Autorité Française.

(4) Validation par l'USAEC.

(5) Quantité nominale en oxyde de plutonium, ayant un poids spécifique de l'ordre de 2 à 3g/cm³, pouvant être chargée dans les récipients contenus dans les conteneurs de transport.

TABLEAU VI - QUELQUES TYPES DE CONTAINERS EN TYPE B ET CLASSE FISSILE UTILISES POUR LE TRANSPORT DE MATIERES PLUTONIFERES.

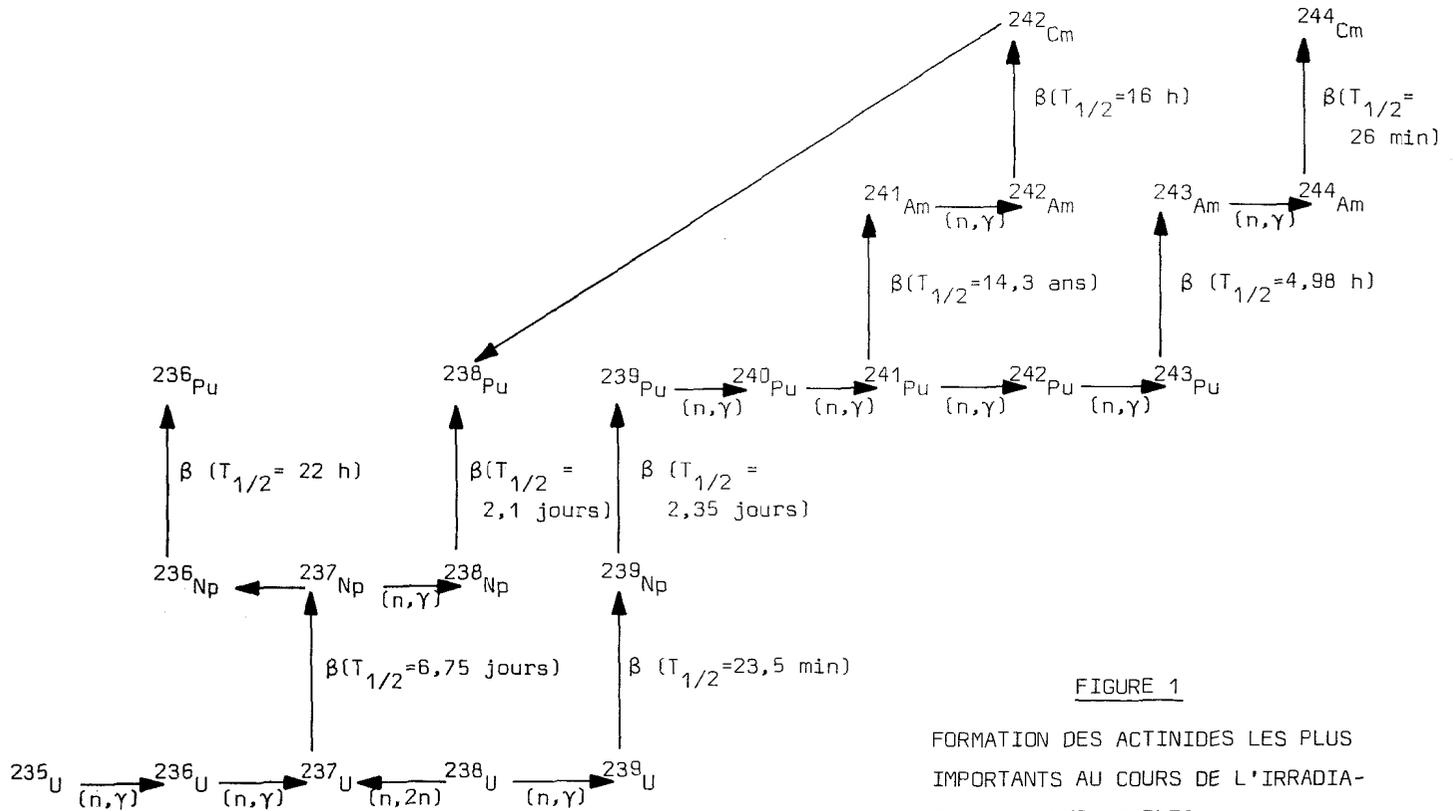


FIGURE 1

FORMATION DES ACTINIDES LES PLUS IMPORTANTS AU COURS DE L'IRRADIATION DE COMBUSTIBLES.



Figure 2 :
Illustration d'un transport effectué
par BELGONUCLEAIRE



Figure 3 :
Monitoring continu d'air
(détecteur semi-conducteur et
son analyseur d'impulsions
mono-canal)

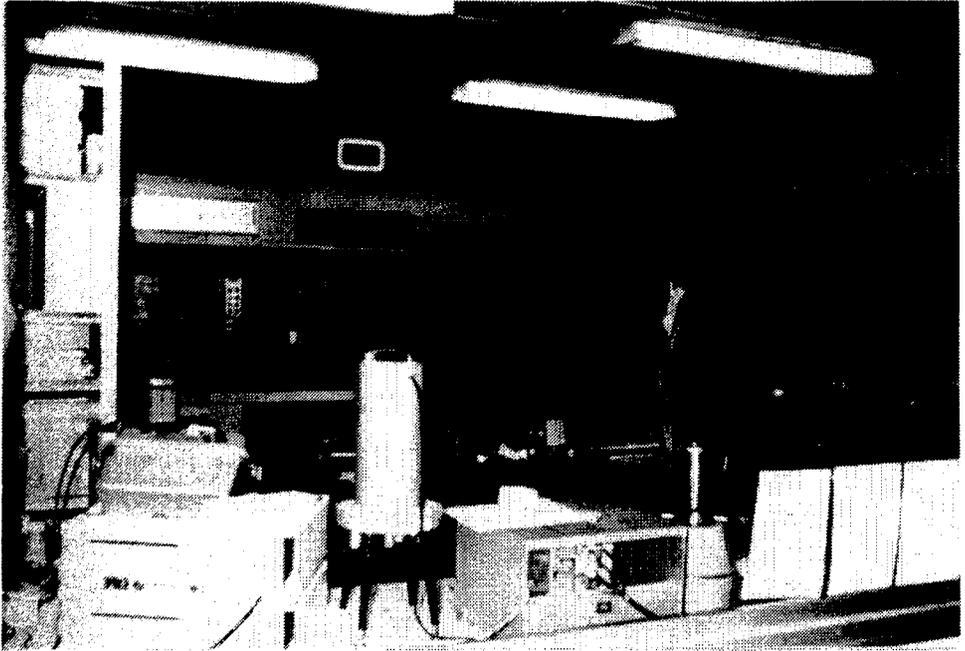


Figure 4 : Salle de contrôle

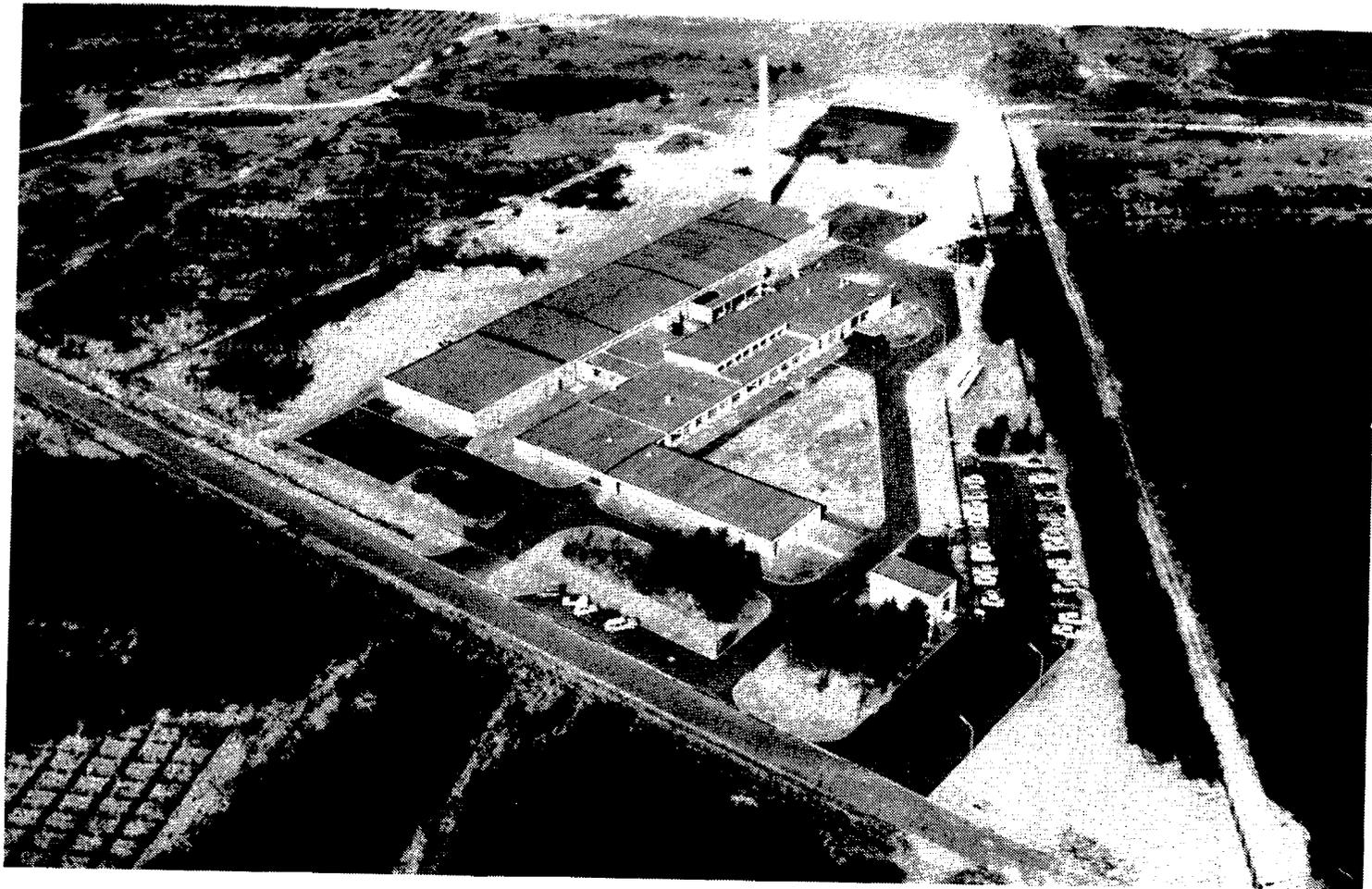


Figure 5 : Vue générale de l'usine de Dessel.



Figure 6 :
Salle de commande pour dosage,
transfert de poudres,
mélange de poudres



Figure 7 :
Système de transfert de poudres
en boîte à gants

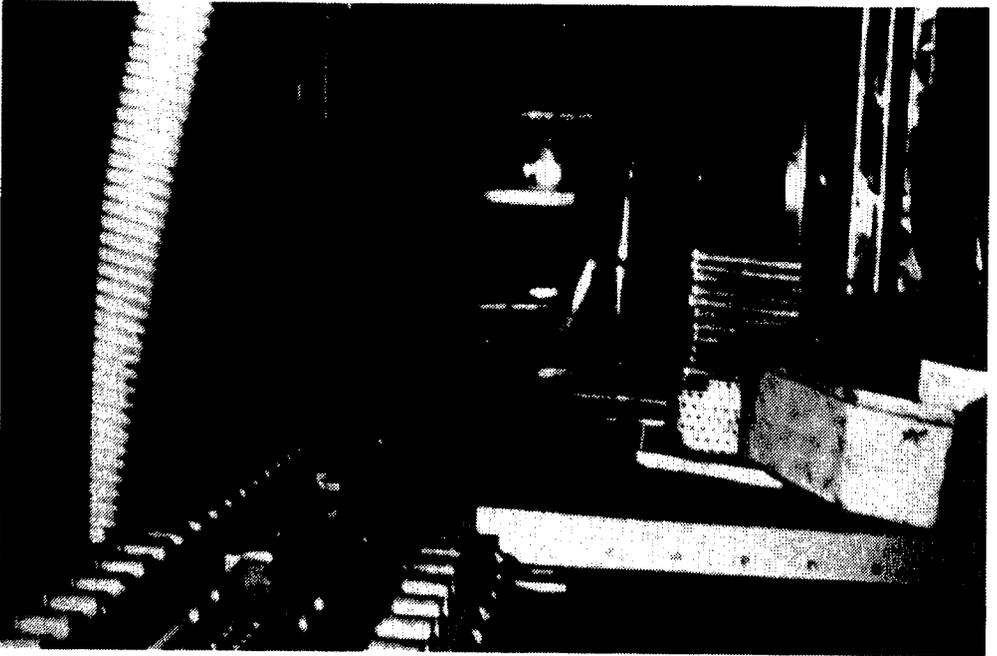


Figure 8 :
Mécanismes de déplacement des nacelles

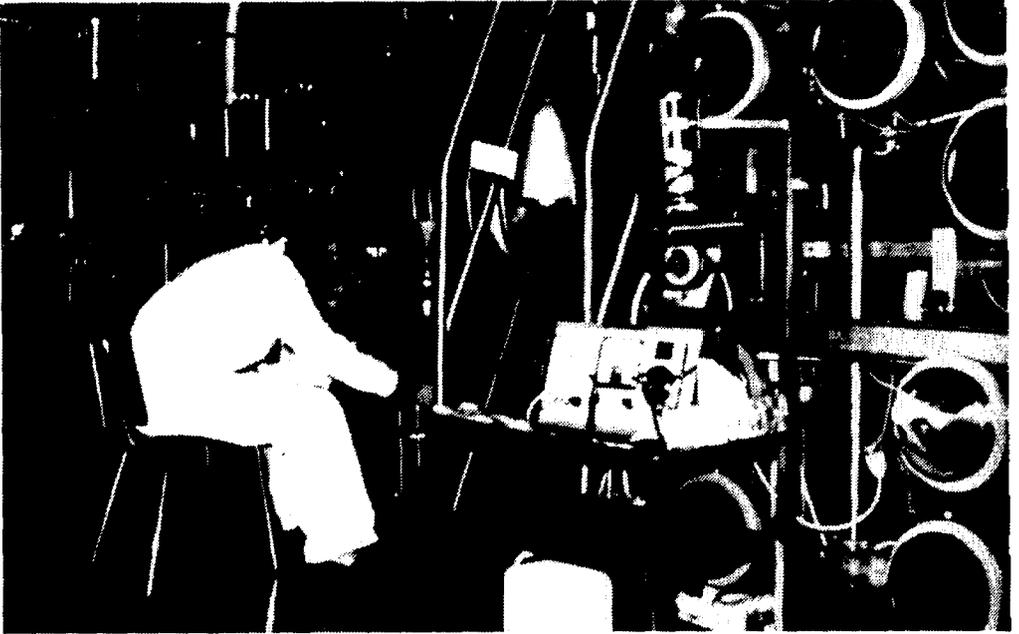


Figure 9 :
Installation de frittage en continu
des pastilles de combustible

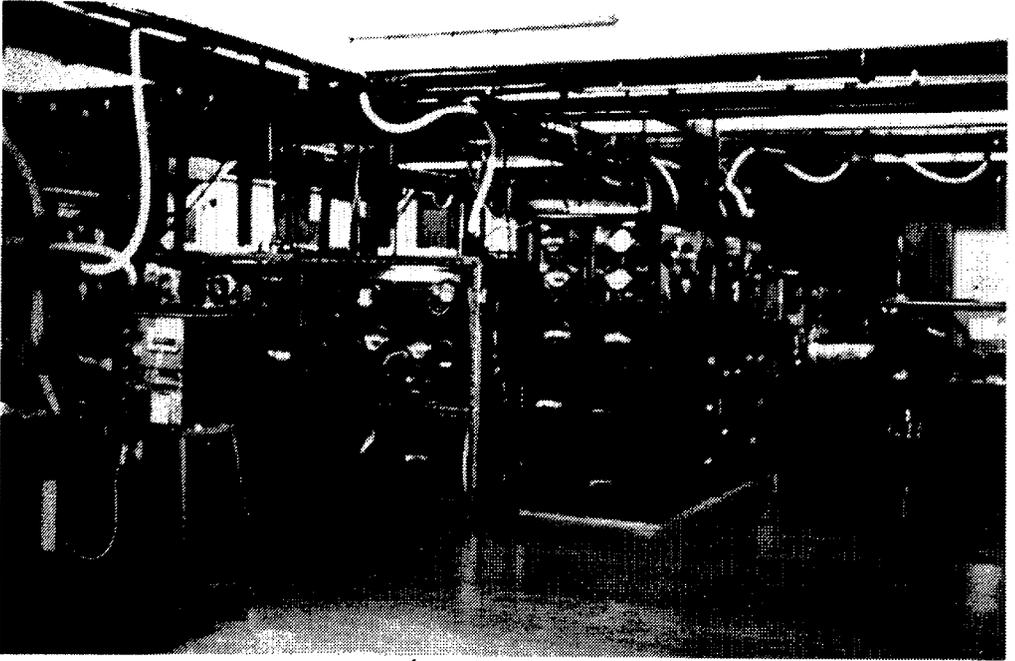


Figure 10 :
Vue générale du hall de
pastillage - frittage

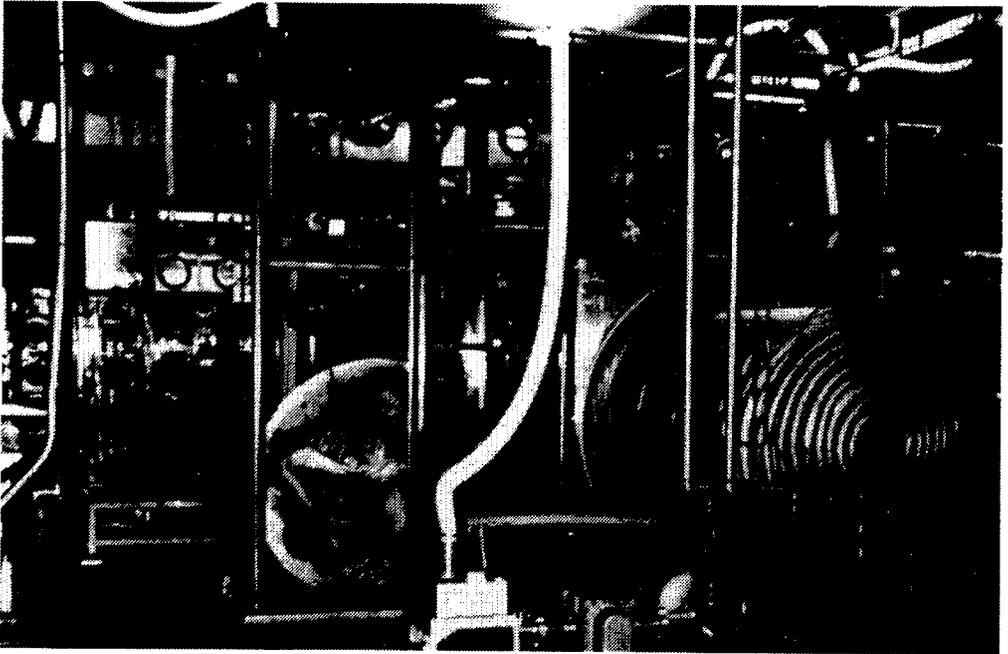


Figure 11 :
Vue générale de la zone
de séchage des pastilles

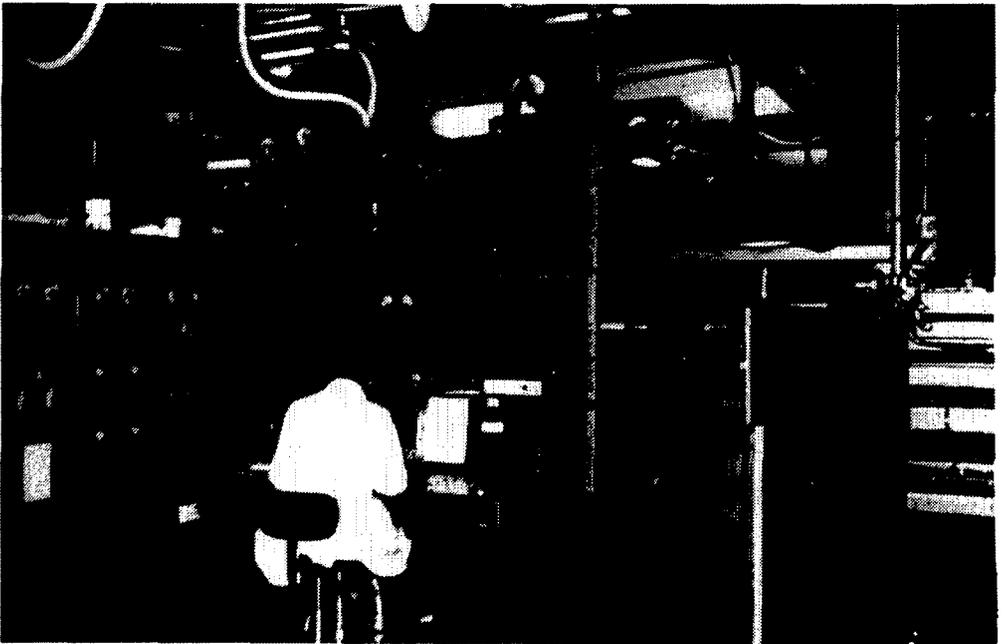


Figure 12 :

Vue générale des installations automatisées pour le remplissage des tubes de combustible par les pastilles et la fermeture étanche de ces tubes par soudage

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUEDEPARTEMENT DE PROTECTIONSECTION DE PATHOLOGIE ET DE TOXICOLOGIE EXPERIMENTALE

Conférence faite par le Dr. Jacques LAFUMA

à la SOCIETE BELGE DE RADIOPROTECTION

Bruxelles - 30 mai 1975

"COMPORTEMENT BIOLOGIQUE DU PLUTONIUM - 239 "

RESUME

Dispersé dans l'environnement, le Plutonium s'incorpore peu ou pas aux chaînes alimentaires car il ne traverse pratiquement pas les membranes biologiques .

Les travailleurs se contaminent soit par inhalation soit par blessure . Le Pu inhalé déposé dans les alvéoles pulmonaires ou dans les plaies se redistribue dans l'organisme soit par transport par voie cellulaire qui provoque une accumulation importante dans les ganglions lymphatiques soit par transport par voie sanguine du Pu dissous et lié aux protéines . Ce mécanisme entraîne une accumulation progressive du radioélément dans le foie et le squelette . On estime que 40 % environ du Pu sanguin se dépose dans le foie ; il ne s'en élimine que la moitié tous les 10 ans; 50 % se dépose dans le squelette d'où il s'élimine encore plus lentement et 10 % sont éliminés par voie urinaire .

L'injection intraveineuse de DTPA est très efficace dans l'élimination du Pu aussitôt après contamination .

Au niveau des poumons, la technique de nettoyage que l'on préconise est le " lavage pulmonaire " . Celui-ci réduit d'un facteur de 10 le niveau de contamination pulmonaire chez les animaux .

Le Plutonium est une substance dont la toxicité est certaine mais ce n'est certainement pas la substance la plus toxique connue . Pour pouvoir comparer le Plutonium et les autres substances toxiques, il faudrait avoir sur chacune d'entre elles un niveau de connaissances comparable à celui que l'on a pour le Plutonium . Ce n'est pas le cas et si le Plutonium-239 a été très étudié, nous manquons presque totalement de connaissances sur les effets à long terme des autres toxiques . C'est en fin 1943 que les premiers milligrammes de Plutonium-239 furent introduits à OAK-RIDGE et dès février 1944, 11 milligrammes furent attribués aux recherches bio-médicales . Depuis cette date, ces recherches n'ont fait que s'amplifier et aujourd'hui on peut dire que le Plutonium est l'élément dont la toxicité est de très loin la mieux connue .

PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DU PLUTONIUM

Il existe plusieurs isotopes du Plutonium . Le Plutonium-239, de période 25.000 ans, est utilisé comme combustible nucléaire dans les bombes et dans les réacteurs car il est fissile . Le Plutonium-238, de période 85 ans, est utilisé comme source de chaleur dans des dispositifs produisant de l'électricité (stimulateurs cardiaques par exemple) . Les autres isotopes du Plutonium (240, 241, 242) sont produits dans les réacteurs à partir du Plutonium-239 . Tous sont des émetteurs alpha dont l'énergie est voisine de 5 mev, à l'exception du Plutonium-241, qui, par désintégration bêta produit l'Amercium-241 . Le Plutonium est un élément dont la chimie est complexe . Le Plutonium existe sous cinq états de valence (3+, 4+, 5+, 6+ et même 7+) . A chaque état de valence correspond une "biologie" . Dans les conditions du milieu biologique, seule la valence 4+ est stable et les dismutations qui se produisent plus ou moins rapidement modifient le comportement du Plutonium . La biologie de cet élément est totalement différente de celle des métaux de valence 1+ alcalins (Na, K, Rb, Cs) et de ceux de valence 2+ alcalino-terreux (Mg, Ca, Sr, Ra) . ./.

En effet, ces éléments existent en milieu biologique sous forme ionique, dissociée . Ils peuvent ainsi traverser les membranes biologiques et participer aux processus vitaux .

Il n'en va pas de même pour le Plutonium qui au pH biologique n'existe jamais sous forme d'ions, mais seulement sous forme d'hydroxydes et de complexes anioniques très stables . Le Plutonium n'est pas compatible avec le milieu vivant dans lequel il sera toujours un corps étranger .

Le Plutonium se rencontre aussi sous forme d'oxyde (PuO_2) car le métal s'oxyde rapidement . Si l'Oxyde de Plutonium-239 est stable, il n'en va pas de même pour l'Oxyde de Plutonium-238 qui, à cause de son activité massique très élevée se fragmente en particules très fines, inférieures à 100 Angstroms) .

La biologie du Plutonium est donc extrêmement polymorphe . Chaque condition physico-chimique nouvelle pose un problème particulier au biologiste mais ces éléments ne sont jamais compatibles avec les processus de la vie .

LES MODALITES DE CONTAMINATION DE L'HOMME

Il existe deux possibilités de contamination de l'homme par le Plutonium . Il peut, d'une part, se contaminer en vivant dans un environnement contaminé et d'autre part, incorporer ces éléments parce qu'il les manipule dans son "travail"

Dispersé dans l'environnement, le Plutonium ne s'incorpore pas aux cycles biologiques car il ne traverse pratiquement pas les membranes biologiques . Il ne peut donc pas s'incorporer à la chaîne alimentaire . A chaque étape, des facteurs de discrimination importants interviennent . Ceux entre la plante et le sol sont compris entre 10^{-4} et 10^{-5} . Si la plante est mangée par l'homme moins de 10^{-4} de la quantité ingérée passe dans l'organisme .

Si la plante est mangée par un animal, le même facteur intervient . Le Plutonium se localise alors dans le squelette et, si l'homme mange la viande d'un animal contaminé, un nouveau facteur 10^{-4} va intervenir sur la fraction de Plutonium incorporée à la viande .

Nous possédons un certain nombre de données sur la contamination de l'homme à partir de l'environnement .

A PALOMARES, aucun des habitants n'a une contamination par le Plutonium-239 supérieure à celle des autres espagnols .

A l'échelle du globe, de 5 à 8 tonnes de Plutonium ont été dispersées par les essais nucléaires . Les mesures sur la contamination humaine, à la suite de ces tirs, montrent que chaque homme incorpore de l'ordre de 10^{-17} de la quantité totale répartie sur la terre .

Les travailleurs se contaminent de deux façons .

L'absorption transcutanée est négligeable et la voie digestive rarissime. Les modalités habituelles de contamination sont l'inhalation et la blessure avec des instruments souillés par le Plutonium .

Après l'inhalation, la quantité de Plutonium qui se dépose dans les poumons dépend, en plus des conditions physiologiques personnelles, de la nature physico-chimique du contaminant et de la granulométrie des aérosols. La quantité de Plutonium susceptible de diffuser dans l'organisme à partir du poumon dépend de la nature chimique du contaminant . Il en va de même pour la diffusion à partir d'une plaie contaminée . Chaque accident pose un cas particulier qui ne peut être résolu qu'à partir des résultats des mesures qui sont alors pratiquées .

COMPORTEMENT DU PLUTONIUM CHEZ LES MAMMIFERES

Après s'être déposé dans les alvéoles pulmonaires ou dans les plaies, le Plutonium va être redistribué dans l'organisme par deux processus biologiques . Le premier est le transport par voie cellulaire qui provoque une accumulation importante dans les ganglions lymphatiques . L'autre est le transport par voie sanguine du Plutonium dissous et lié aux protéines; ce mécanisme entraîne une accumulation progressive du radioélément dans le foie et le squelette . (1)

- Poumon et voie lymphatique pulmonaire

Après sa déposition dans le fond de l'alvéole pulmonaire,

une partie du Plutonium est éliminée pendant les premiers jours par un mécanisme qui le fait remonter le long des voies respiratoires puis digestives . Les particules qui ne sont pas soumises à ce transport sont prises en charge par des cellules et lentement entraînées à l'intérieur du tissu pulmonaire vers les ganglions lymphatiques où elles s'accumulent. Ces ganglions lymphatiques peuvent être considérés comme les "poubelles" du poumon . Ils ne semblent pas sensibles à l'irradiation .

Le Plutonium inhalé sous forme d'aérosols liquides (nitrates) s'insolubilise au contact du poumon . Cependant, une certaine fraction va se dissoudre lentement et diffuser dans le milieu intérieur .

- Blessures

Le Plutonium introduit dans les blessures se comportera comme celui qui a été inhalé . Une partie sera transportée par la voie lymphatique, l'autre diffusera lentement dans l'organisme par voie sanguine . Mais la nature de la plaie rendra ces deux phénomènes beaucoup plus lents que dans le poumon .

- Devenir du Plutonium "solubilisé" dans l'organisme

Passé dans le sang où il est pris en charge par des protéines, le Plutonium aura un comportement très défini . Une fraction ira dans le foie, une autre vers le squelette et, la dernière, sera éliminée par les reins .

On estime que 40 % environ du Plutonium sanguin se dépose dans le foie où il s'accumule car il ne s'en élimine que la moitié tous les dix ans . La moitié du Plutonium sanguin se dépose dans le squelette d'où il s'élimine encore plus lentement . Dix pour cent environ sont enfin éliminés par la voie urinaire .

Ces chiffres montrent que la biologie du Plutonium se caractérise par l'extrême lenteur des phénomènes .

LE DIAGNOSTIC DES CONTAMINATIONS PAR LE PLUTONIUM

Deux méthodes sont possibles pour estimer l'importance d'une contamination interne . L'une est la mesure de la quantité du radioélément présente soit dans la plaie, soit dans le poumon . L'autre est la mesure indirecte de la quantité présente dans l'organisme par la mesure de la fraction excrétée .

Les "Plutonium" n'émettent que des photons X de moins de 20 Kev . Leur détection par des appareils placés en-dehors de l'organisme est donc difficile . La sensibilité de la détection est très faible au niveau des poumons . Elle permet cependant d'apprécier avec précision la contamination d'une plaie .

La surveillance de routine des travailleurs manipulant du Plutonium est effectuée par la mesure systématique des urines et des fécès . Les résultats des mesures permettent d'apprécier avec une précision suffisante l'importance d'un incident de contamination par voie respiratoire et surtout de surveiller les conditions de travail de l'installation .

LES EFFETS TOXIQUES DU PLUTONIUM ET DES TRANSPLUTONIENS

En 1975, soit plus de trente années d'utilisation du Plutonium, on ne connaît aucun cas d'être humain ayant eu à souffrir de troubles dus à l'absorption de Plutonium .

Aux Etats-Unis, plus de 3.000 personnes ayant manipulé ce produit sont suivies régulièrement et l'on a encore rien observé d'anormal parmi elles (2). Toutes les informations que l'on possède proviennent de l'expérimentation animale .

Celle-ci a été orientée dans deux directions principales : les effets du Plutonium sur l'os après injection intraveineuse de complexes de Plutonium et les effets du Plutonium inhalé . Les recherches, après injection intraveineuse ont un caractère très fondamental car elles utilisent une modalité de contamination que l'on ne rencontre jamais et, de plus, elles nécessitent l'emploi de formes physico-chimiques très particulières . Elles ont néanmoins permis de comparer l'action toxique du Plutonium à celle du Radium-226, du Strontium-90 et du Thorium .

Au niveau du squelette le Plutonium reste le long des cellules et a donc un comportement différent de celui des alcalino-terreux (Sr - Ra) qui entrent dans le cristal . La dose délivrée par le Plutonium est donc entièrement absorbée par les cellules ce qui fait qu'il faut de cinq à dix fois moins de Plutonium que de Radium pour observer la même induction de cancers (3) .

L'expérience montre néanmoins que l'on observe des tumeurs pour des "doses" aussi faibles que 30 rads .

Les expériences après inhalation sont beaucoup plus intéressantes car elles simulent une modalité réelle d'exposition . Pratiquées principalement sur des chiens (4) , elles ont montré que l'on observait des cancers après inhalation de plus de 3 nanocuries de $Pu_{239}O_2$ par gramme de poumon. Actuellement, nous manquons de données pour des animaux contaminés à des niveaux plus bas . L'extrapolation des premiers résultats montrent qu'il ne devrait pas y avoir de raccourcissement de la durée de vie pour des activités déposées inférieures à 1 nanocurie par gramme de poumon . Actuellement, deux problèmes se posent aux expérimentateurs: l'un est celui de l'extrapolation de l'animal à l'homme et l'autre celui de l'influence de la non-homogénéité de la répartition de l'agression (problèmes des "hot particules ") .

Des expériences pratiquées au C.E.A. ont montré que la toxicité des trans-plutoniens était d'autant plus grande que l'élément réparti de façon plus homogène (3) et les recherches en cours sur les mécanismes qui interviennent lors de l'induction d'un cancer pulmonaire montrent l'intervention nécessaire de cellules dont l'origine est extra-pulmonaire (5) .

Véhiculées par la voie sanguine, ces cellules seront d'autant plus atteintes que le radioélément est mieux dispersé dans le poumon .

Au niveau des plaies, les données humaines que l'on possède aujourd'hui et les résultats de l'expérimentation animale n'ont encore apporté la preuve que les émetteurs alpha présents "in situ" pouvaient provoquer l'apparition d'un cancer local .

TRAITEMENT DES CONTAMINATIONS PAR LE PLUTONIUM

Ce traitement comprend deux parties : Nettoyage de la porte d'entrée (peau, plaie, poumon) et l'élimination du Radioélément qui diffuse lentement dans l'organisme .

L'élimination du Radioélément qui diffuse dans l'organisme est un problème aujourd'hui résolu : on injecte par voie intraveineuse une molécule complexante à laquelle se lie le radioélément et qui est ensuite entièrement éliminée par la voie urinaire . La molécule la plus utilisée est le D.T.P.A. (Acide diéthylène triamine pentacétique) .

Le nettoyage d'une plaie contaminée se fait par la voie chirurgicale sous le contrôle d'un détecteur de photons X permettant de localiser la contamination .

Au niveau des poumons, la technique de nettoyage que l'on utilise est le "lavage pulmonaire" . Cette méthode consiste à faire circuler dans un seul poumon à la fois une solution de serum physiologique . Les particules ou les colloïdes radioactifs sont entraînés mécaniquement .

En répétant les lavages, on est arrivé expérimentalement à réduire d'un facteur de 10 le niveau de la contamination pulmonaire des animaux (6) .

LES LIMITES DE SECURITE POUR LE PLUTONIUM ET LES TRANSPLUTONIENS

C'est en 1944 que l'on a essayé pour la première fois de fixer des limites de sécurité pour le Plutonium-239 .

La seule donnée dont on disposait était la limite de sécurité pour le Ra-226 soit 100 nanocuries pour l'ensemble du squelette . Sur la base d'un risque égal pour une énergie déposée, on a fixé la limite de sécurité pour le Plutonium à 300 nanocuries .

En 1949, on disposait de données expérimentales qui montraient qu'à l'énergie déposée égale le Plutonium était plus toxique que le Radium au niveau du squelette .

La valeur de 40 nanocuries fut alors choisie comme limite de sécurité pour le Plutonium dans le squelette .

Pour le poumon, la limite de sécurité a été calculée pour que la dose délivrée soit égale à 15 rem par an . Cette limite est de 16 picocuries

par gramme de poumon (16 nanocuries dans l'organe) .

Au niveau du foie, pour une dose de 15 rem par an, la quantité de Plutonium qui doit être présente dans l'organe est de 27 nanocuries .

Actuellement, les nouvelles données expérimentales qui sont acquises chaque année pourront permettre de fixer avec une meilleure précision les limites de sécurité pour le Plutonium .

CONCLUSION

Bien qu'il soit relativement toxique, le Plutonium n'a encore jamais provoqué de lésions graves chez l'homme .

De tous les toxiques connus, c'est celui sur lequel on a le plus d'informations expérimentales et c'est le manque de connaissances sur l'action des autres toxiques qui empêche les comparaisons .

La nature physico-chimique très particulière rend cet élément incapable de s'incorporer aux processus métaboliques vitaux . Il ne peut donc être transmis à l'homme au travers des chaînes alimentaires et ne constitue un risque que pour ceux qui le manipule, mais les techniques de protection ont atteint un degré d'efficacité suffisant pour que malgré sa toxicité cet élément puisse être utilisé en toute sécurité .

REFERENCES

- (1) R.C. THOMAS and W.J. BAIR
 Proceeding of the Hanford Symposium on the biological implications
 of the Transuranic elements
 Richland - Washington - Health Physics, 22 , 533, 1972
- (2) J.A. Mc CROSS and C.E. NEWTON Jr.
 Health Physics, 22, 887, 1972
- (3) C.W. MAYS and R.D. LOYD
 Radiobiology of Plutonium
 (J.W. PRESS, Salt Lake City Utah 1972) p. 409
- (4) J.F. PARK, W.J. BAIR, R.H. BUSCH
 Health Physics, 22, 803, 1972
- (5) J. LAFUMA, J.C. NENOT, M. MORIN, R. MASSE, H. METIVIER,
 D. NOLIBE, W. SKUPINSKI
 Respiratory carcinogenesis in rats and monkeys after inhalation
 of radioactive aerosols of actinides and lanthanides in various
 physico-chemical forms .
 Congrès "Experimental Respiratory Carcinogenesis and Bioassays"
 Seattle - 23/26 Juin 1974
- (6) D. NOLIBE et coll.
 Effet thérapeutique du lavage pulmonaire in vivo après inhalation
 de particules insolubles radioactives
 Congrès " 4th International Symposium on inhaled particles and
 vapours " EDINBOURG - Septembre 1975

SAMENVATTING

Het in de omgeving verspreide Plutonium wordt weinig of niet opgenomen in de voedingsketen daar het praktisch niet door de biologische membranen kan doordringen.

De arbeiders kunnen besmet worden door inademing of door verwonding. Het ingeademde Pu aanwezig in de longalveolen of in de wonden verdeelt zich in het lichaam door vervoer hetzij langs bepaalde cellen waardoor een ophoping in de ganglia kan ontstaan, hetzij langs het bloed door verbinding met bepaalde proteïnen. Zo ontstaat er een geleidelijke ophoping van dit radio-element in lever en botweefsel. Men neemt aan dat ongeveer 40 % van het in het bloed aanwezig Pu zich in de lever zal neerzetten met een halveringstijd van 10 jaar; 50 % wordt in het botweefsel neergezet waar de halveringstijd veel langer is en 10 % wordt via de nieren uitgescheiden. Intra-veneuze toediening van DTPA is zeer doeltreffend in de verwijdering van Pu onmiddellijk na besmetting. Voor een longbesmetting wordt tegenwoordig de longspoeling aangeraden. Deze spoeling vermindert de longbesmetting bij proefdieren met een faktor 10.

ZUSAMMENFASSUNG

Wegen seiner Unfähigkeit biologische Membranen zu durchdringen, wird Plutonium kaum aus der Umgebung in die Nahrungskette überführt.

Arbeiter können durch Inhalation oder Ablagerung in Wunden kontaminiert werden. Pu in Lungenalveolen oder in Wunden wird im Organismus entweder durch zellulären Transport, der zur starken Anreicherung in Lymphknoten führt, oder durch das Blut als lösliches proteingebundenes Plutonium umgelagert. Letzterer Mechanismus führt zu einer progressiven Akkumulation des Radioelements in Leber und Knochen. Man nimmt an, dass etwa 40 % des Blutplutoniums in der Leber abgelagert wird und dass dessen Halblebenszeit etwa 10 Jahre beträgt. Etwa 50 % werden im Knochen abgelagert, dessen die Elimination viel langsamer erfolgt. Etwa 10 % des Blutplutoniums werden im Urin ausgeschieden. Intravenöse Injektion von DTPA ist sehr nützlich um Pu unmittelbar nach der Kontamination zu entfernen. Zur Elimination aus der Lunge wird "Waschen der Lunge" empfohlen. In Tieren reduziert diese Methode die Lungenkontamination um einen Faktor von 10.

SUMMARY

Plutonium is scarcely incorporated from the environment into the food chain because of its inability to penetrate biological membranes.

Workers can be contaminated through inhalation or deposition in wounds. Pu present in the pulmonary alveoles or incorporated in wounds is redistributed in the organism either through cellular transport resulting in an important accumulation in the lymphatic ganglia either by blood transport as dissolved Pu bound to proteins. This mechanism results in a progressive accumulation of the radioelement in liver and bone. It is estimated that about 40 % of the Pu present in the blood is deposited in the liver from which one half is eliminated every ten years. 50 % is deposited in bone from which the elimination takes much longer and 10 % is eliminated with the urines. Intravenous injection of DTPA is very useful for Pu elimination immediately after contamination. For elimination of pulmonary Pu the technique of "pulmonary washing" is suggested. This method reduces the pulmonary contamination in laboratory animals by a factor 10.

DU CONTROLE DE SECURITE DANS LES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES TRAITANT
DU PLUTONIUM

E. Van Der Stricht

Licencié A.C.Br.

Attaché à la Direction Générale Energie à la C.E.E. - Luxembourg

30 mai 1975

RESUME :

Les bases légales du contrôle de sécurité sont données. Une description très succincte des dispositions particulières du Traité de Rome et du Traité de non-prolifération. Quelques aspects pratiques de l'application de ces dispositions aux usines traitant le plutonium sont illustrés par des exemples, notamment en ce qui concerne les bilans de matière et l'incertitude qui leur est associée. On y montre l'importance de la prise d'inventaire en tant qu'élément déterminant de cette incertitude et comme tâche à laquelle sont liées des difficultés pratiques d'exécution, aussi bien pour le fabricant que pour l'inspecteur lors de la vérification.

La mise en oeuvre et l'utilisation des matières nucléaires est réglementée par un très grand nombre de dispositions légales. Dans ce qui suit nous nous limiterons au domaine spécifique du contrôle de sécurité.

Les deux traités les plus importants sont, d'une part, le Traité de Rome instituant la Communauté Européenne de l'Energie Atomique (25 mars 1957) (réf.1)

et, d'autre part, le Traité de non-prolifération (T.N.P.) des armes nucléaires (1er juillet 1968 - date de la signature) (réf.2).

Le T.N.P. prévoit la conclusion d'un accord de vérification (réf.3) entre les Etats adhérents non dotés d'armes nucléaires et l'Agence Internationale de l'Energie Atomique pour les états membres de la Communauté Européenne. Un tel accord a été signé le 5 avril 1973 entre les pays membres non dotés d'armes nucléaires, la Communauté (représentée par la Commission) et l'A.I.E.A. Il prévoit que la Commission

exécute le contrôle dans les pays mentionnés et que l'A.I.E.A. vérifie ce contrôle.

Le T.N.P. et l'accord de vérification ont été ratifiés entretemps dans tous les états membres mentionnés et l'accord de vérification entrera en vigueur dès que le nouveau règlement, actuellement en discussion auprès du Conseil des ministres de la Communauté sera adopté.

Il est important de clarifier ici quels sont les objectifs respectifs des deux traités et ceci d'autant plus qu'une certaine confusion peut être engendrée par la similitude des moyens mis en oeuvre pour réaliser ces objectifs.

Selon l'article 2 du Traité de Rome, la Communauté doit :

- d) veiller à l'approvisionnement régulier et équitable de tous les utilisateurs de la Communauté en minerais,
- e) garantir, par des contrôles appropriés, que les matières nucléaires ne sont pas détournées à d'autres fins que celles auxquelles elles sont destinées,
- h) instituer avec d'autres pays et avec les organisations internationales toutes liaisons susceptibles de promouvoir le progrès dans l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire.

On serait donc tenté de conclure que l'article 2, alinéa e) est le seul texte sur lequel on peut se baser pour ériger un système de contrôle. En fait, un certain nombre de clauses contenues dans les accords de coopération signés par la Commission des Communautés Européennes avec des pays tiers prévoient certaines formes de contrôle des matières.

Les objectifs du contrôle de sécurité sont donc de veiller

- a) au respect de l'usage auquel les utilisateurs ont déclaré destiner les matières (contrôle de conformité) (art.77 a),

- b) au respect des dispositions du traité relatives à l'approvisionnement pour garantir à chaque utilisateur l'égalité "d'accès au ressources";
- c) au respect des engagements extérieurs, c.-à-d. de veiller à l'utilisation exclusivement pacifique des matières concernées (contrôle de finalité).

Le système de garanties mis sur pied dans le cadre du T.N.P. est énoncé dans l'article 28 du infcirc 153 (réf. 4) :

"...l'objectif des garanties est de déceler rapidement le détournement de quantités significatives de matières nucléaires des activités nucléaires pacifiques vers la fabrication d'armes nucléaires ou autres dispositifs nucléaires explosifs ou à des fins inconnues et de dissuader tout détournement par le risque d'une détection rapide (Dans l'accord "rapidement" devient "à temps" et "rapide" devient "prompte")."

La différence dans les objectifs poursuivis par les deux traités conduit à des systèmes de contrôle partiellement différents, mais dont les moyens d'actions sont de même nature.

En effet, tout système de contrôle repose en premier lieu sur la comptabilité des matières et sur le confinement et la surveillance comme mesures complémentaires importantes.

Les garanties qui peuvent être fournies à la communauté des hommes contre l'utilisation abusive et illégale des matières nucléaires découlent de l'ensemble des types de mesures qui sont prises non seulement par les autorités internationales mais aussi par les autorités nationales et par les exploitants des installations nucléaires eux-mêmes.

En schématisant à outrance on peut dire que les autorités internationales doivent garantir contre le détournement organisé par l'exploitant et l'Etat alors que l'Etat et l'exploitant doivent se prémunir contre la soustraction de matières effectuée par des individus ou de petits

groupes d'individus. La protection des matières contre l'action de groupes de terroristes est actuellement au centre des préoccupations. Aux Etats-Unis, le mot "safeguards" comprend désormais aussi la protection physique des matières. Celle-ci ne fait toutefois pas partie des compétences de la Commission. On note cependant que de divers horizons la Commission est pressée de prendre certaines initiatives dans ce domaine notamment en vue d'atteindre un certain degré d'harmonisation.

En première approximation on peut affirmer que les obligations résultant du T.N.P. sont satisfaites dès que les obligations découlant du Traité de Rome sont remplies. Tout dépend naturellement du contenu objectif de l'appréciation faite par l'autorité de contrôle suite aux vérifications concernant le respect ou le non-respect des traités et des règlements. Pour le traité, l'autorité de contrôle suprême est la Commission agissant pour son propre compte avec sa propre organisation technique; pour le T.N.P., l'Agence Internationale de l'Energie Atomique à Vienne est l'autorité chargée par les états de faire l'appréciation. Pour les pays de la Communauté Européenne, le contrôle de sécurité de la Commission est l'intermédiaire responsable devant l'Agence.

En ce qui concerne le contenu des accords et des règlements, nous renvoyons le lecteur aux textes cités dans la bibliographie. Par ailleurs, toutes les définitions des termes peuvent être trouvées soit dans l'accord, soit dans INFCIRC 153. En ce qui concerne les informations demandées aux exploitants, résumons en disant :

... que dans le cadre des dispositions du Traité de non-prolifération, les responsables envoient pour chaque zone de bilan de matières à la Commission les rapports comptables suivants :

1. mensuellement les rapports de "variation de stock" (Inventory Change Reports : I.C.R.)

voir accord article 63a, 64, 65 et 98 J et INFCIRC 153

art. 63a, 64, 65 et art. 107.

2. chaque fois que l'on clôt le bilan c.-à-d. autant de fois qu'il est stipulé dans la formule type de l'installation, il faut envoyer le rapport sur le bilan des matières (Material Balance Report) INFCIRC 153 et accord art. 63 b/ et 67.
3. la liste du stock physique (Physical Inventory Listing) art. 67 de l'accord et de INFCIRC 153).

Ce rapport doit être joint au bilan sous la forme d'une liste complète de tous les lots de matières nucléaires dans la ZBM considérée, telle qu'elle a été établie par une prise d'inventaire.

L'expérience montre que pour les usines de fabrication, le P.I.L. constitue une des charges scripturales les plus importantes pour les assujettis. L'établissement de cette liste par l'exploitant constitue probablement une des tâches les plus lourdes qu'il a à accomplir pour satisfaire aux dispositions futures.

Les mesures à appliquer aux usines détenant ou travaillant des matières de haute valeur stratégique c.-à-d. de l'uranium hautement enrichi ou/ et du plutonium en quantité dépassant 40 kg de matière fissile par an ont fait l'objet début 1969 d'une instruction de la Commission à ses services qui conduit à la mise en application dans les usines de ce qui a été appelé le contrôle renforcé.

En ce qui concerne les usines de retraitement du combustible irradié, la Commission a approuvé le principe de l'inspection continue en juin 1966. Le caractère particulier des usines de retraitement est d'ailleurs reconnu dans le Traité même d'Euratom (art.78, 2ème alinéa). Ce sont les seules installations dont les procédés techniques doivent être approuvés par la Commission avant la mise en exploitation.

La manière de conduire le contrôle renforcé ou continu est encore toujours matière à discussion. En pratique, pour les installations importantes elle se manifeste par la présence quasi continue d'un inspecteur qui suit au jour le jour les activités de l'installation

TABLEAU 1

| flux | forme | type de con- teneur et contenu | nombre d'article par en | quantité de l'art. | point de contrôle | méthode de mesure | écart type de la mesure hasard (%)syst(%) | |
|----------|-----------------------------|--|---|--------------------------------|---|---|---|-----|
| | | | | | | | | |
| Entrée | Pu-Oxide Pu-Nitrate | 2 kg-boite Al. 8 l -bouteille | 350 350 | 2 kg 2 kg | expéditeur mise en fabrication | pesée (brut, net) calorimètre | 0.2 | 0.2 |
| | | | | | | pesée échantillon (détermination) de la concen-) tration) | 0.3 | 0.4 |
| | | | | | | | 0.2 | 0.2 |
| Produits | oxides mixtes frittés | aiguilles ou piles intermédiaires ou pastilles | ~ 20,000 ou ~ 80,000 ou ~ 6,400,000 | ~ 70 g ~ 17,5 g ~ 0,22 g | - ligne de production laboratoire (statistique) | - | - | - |
| | | | | | | pesée | 0.2 | 0.2 |
| | | | | | | calorimètre | 0.3 | 0.4 |
| Rebuts | rebuts secs | 200 l fûts | 50 150 | 20 g 2 g | magasin de stockage des rebuts | coincidence neutrons et spectrométrie gamma | 50 | 50 |
| Rebuts | rebuts liquides | 8 l bouteilles | 60 | 24 g | analyse | pesée | 5.0 | - |
| | | | 50 | 72 g | conversion | échantillon détermination) de la concen-) tration) | 10 | 20 |
| | | | | | | | 5 | 10 |

dans le but d'établir un bilan indépendant à jour, des matières dont l'organisation est calquée sur celle de l'installation.

Le résultat de toute l'activité déployée par l'exploitant et l'autorité de contrôle doit être de mettre celle-ci en mesure de faire une appréciation sur la différence d'inventaire (Material Unaccounted For) apparaissant au bilan. En principe, toutes les données apparaissant dans les bilans de matières sont obtenues à la suite de mesures physiques qui peuvent être entachées d'erreurs systématiques et casuelles.

Une appréciation absolue n'est donc pas possible. Le résultat du bilan est donc toujours affecté d'un certain intervalle d'incertitude. Il en est de même pour toute vérification faite par l'autorité de contrôle. La fixation de la borne supérieure de cet intervalle ou si l'on préfère le seuil à partir duquel certaines actions du second degré sont déclenchées est toujours en discussion à cause des implications de toute nature qu'elle comporte.

Considérons pour commencer une usine de fabrication d'éléments combustibles contenant du plutonium.

A titre d'exemple, nous prendrons le cas d'une usine qui fabrique du combustible contenant des oxydes mixtes Pu-U d'une part, pour les réacteurs de puissance à eau légère et, d'autre part, pour les réacteurs rapides et dont la production annuelle contient 1400 kg de Pu.

Les caractéristiques du flux de matière sont reprises au tableau 1.

L'évaluation de l'incertitude liée au bilan pour une période du bilan de six mois est estimée en combinant les variances des différents postes du bilan. Sans entrer dans une discussion sur la manière dont doit s'effectuer cette propagation des erreurs casuelles et systématiques nous citerons ici les travaux Avenhaus et col. (réf. 5) qui utilise la

relations suivante :

$$\text{Var (Pu)} = \sum N g^2 \delta_i^2 + \sum N^2 g^2 \delta_{Si}^2 \quad (1)$$

où

N est le nombre de lots

g le poids

δ_r^2) le coefficient de variation (écart type en %) pour
 δ_s^2) l'erreur casuelle et l'erreur systématique respectivement.

Pour les mouvements de matières

on obtient

Entrées

| | |
|----------------------------|-----------------------|
| Variance Pu _{ox} | 2,46 kg ² |
| Variance Pu _{nit} | 13,46 kg ² |
| Variance Entrées | 16 kg ² |
| écart type | 4 kg |

Sorties

| | |
|--|-----------------------|
| Variance mesure de la production de pastilles par pesée et par analyse | 15,45 kg ² |
| Waste (sec) | 0,07 kg ² |
| Waste (liquide) | 0,19 kg ² |

L'écart type pour le total général pour les mouvements = 5,6 kg.

L'analyse des composantes de la variance montre que les erreurs systématiques constituent le facteur dominant. En fait, on voit que dans la relation (1) le terme correspondant varie comme le carré de N, le nombre de lots plutôt que comme N.

L'utilisation de la même méthode de détermination de la matière à l'entrée et à la sortie permet d'éliminer l'erreur systématique par compensation.

Cette possibilité est cependant plus apparente que réelle étant donné que rarement les produits à l'entrée et les produits à la sortie se laissent déterminer par une même méthode.

Pour les stocks de matières, l'exemple cité considère que les stocks dans les lignes de fabrication sont nuls puisque l'inventaire est fait à la fin des campagnes. La matière encore présente dans l'usine (déchets, restes...) et qui n'a pas été mesurée et contrôlée lors des mesures de flux se réduit ainsi à 25 kg et la contribution à la variance totale du bilan est négligeable (0,013 kg²).

Cette situation est évidemment idéale et loin d'être réalisée dans la pratique. Notre expérience montre que la prise d'inventaire reste le problème crucial. La planification et la préparation conjointe de telles opérations constituent des facteurs essentiels de réussite. La réussite étant ici le fait que l'inspecteur soit satisfait du résultat c.-à-d. que l'incertitude sur le bilan reste dans des limites acceptables. Ces limites sont à l'heure actuelle encore en discussion sur le plan international.

Il est à noter aussi que le fait de pouvoir disposer de capacités de stockage suffisantes revêt pour l'exploitant une importance capitale. Celles-ci lui permettent de gérer les stocks des restes de campagnes d'une manière telle que les prises d'inventaire et leur vérification constituent des opérations simples et rapides (mise sous scellé de parties non mouvementées durant plusieurs périodes de bilans).

L'hypothèse du stock d'atelier nul au moment de la prise d'inventaire est aussi problématique étant donné le travail important que constitue le nettoyage des lignes de production entre campagnes. Une technique

utilisée est celle dite du "white batch" qui revient à vider une section de la ligne et à laisser progresser ce "vide" tout le long de la ligne pendant la prise d'inventaire.

La conviction, plus ou moins objective, de l'inspecteur que l'opérateur ne tente pas le détournement, repose sur la cohérence de l'ensemble des observations qu'il accumule.

- Il assiste à toutes les entrées et sorties de matière et en vérifie le contenu. Il dispose pour cela de la possibilité de prélever des échantillons pour analyse ou d'effectuer des mesures non destructives en utilisant le cas échéant ses propres appareillages.
- Il évalue les autres postes du bilan tels que les pertes, les déchets et les rebuts.
- Il établit des bilans indépendants des matières sur la base des listes d'inventaire de l'exploitant.
- Il vérifie la qualité du système de mesure de l'exploitant.
- Il met en oeuvre des mesures de confinement (vérification et pose de scellés) et de surveillance.

Pour terminer, illustrons l'évaluation d'un bilan de matière pour une campagne de retraitement de combustible de réacteur à eau légère irradié (voir tableaux 2 et 3). L'évaluation qui suit a été choisie pour montrer aussi que la propagation des erreurs dans l'évaluation du MUF et de l'incertitude qui lui est associée peut être différente. En fait, les spécialistes de l'analyse des systèmes sont loin d'avoir atteint l'unanimité à ce sujet; mais quelque soit le système adopté, on constate que les erreurs systématiques constituent le facteur primordial dans l'étendue de l'incertitude du bilan.

L'usine est caractérisée pour une production annuelle de 300 t U et 2700 kg de Pu et répond aux données générales des tableaux 2 et 3.

RETRAITEMENT DE COMBUSTIBLE LWR IRRADIE

TABLEAU 2

Zone de bilan de matière de production; caractéristiques du flux et du stock de matières.

| (1) type de matière, dénomination | AFU | RAR | FPF | HAW | MAW | LAW | S.W. | Invent. | MUF |
|--|---------|----------|-------------------|---------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------|---------------------|------|
| (2) % par rapport au Pu mis en œuvre par an | 100 | 0.1 | 97.5 | 0.5 | 0.98 | 0.02 | 0.1 | 0.185 ²⁾ | 0.8 |
| (3) Pu total kg/an | 2700 | 2.7 | 2632.5 | 13.5 | 26.46 | 0.54 | 2.7 | 5 ²⁾ | 21.6 |
| (4) Volume total m ³ /an | 1000 | 500 | 10.53 | 270 | 12900 | 25800 | 450 | 5 | |
| (5) Lots par an | 300 | 300 | 1053 | 600 | 43 | 43 | 2250 | 10 | |
| (6) Volume moyen du lot (m ³) | 3.33 | 1.667 | 0.01 | 0.45 | 300 ¹⁾ | 600 ¹⁾ | 0.2 | 0.5 | |
| (7) Concentration moyenne en Pu | 2.7 g/l | 5.4 mg/l | 250 g/l | 50 mg/l | 2.05 ¹⁾ mg/m ³ | 21 ¹⁾ ug/m ³ | 1.2 g/cont | 1 g/l | |
| (8) Erreur systématique max(en%) | 0.1 | 1 | 0.05 | 5 | 10 | 10 | - | 5 | |
| (9) Coefficient de variation (max.en %) le volume | 0.35 | 2 | 0.1 | 5 | - | - | - | 5 | |
| (10) Erreur systématique max. (en %) pour l'analyse. | 0.6 | 5 | 0.25 | 10 | 10 | 20 | 10 ⁴⁾ | 5 | |
| (11) Coefficient de variation (max. en %) (3) | 0.5 | 5 | 0.2 ⁵⁾ | 20 | 20 | 30 | 20 ⁴⁾ | 10 | |

(1) Echantillon composite pour la production d'une semaine (flux continu).

(2) Avant (+) et après (-) la campagne, les quantités s'annulent, mais les erreurs se propagent.

(3) Par rapport à la moyenne de n analyses par lot.

(4) Par rapport au Pu-total par lot.

(5) Le nombre total de lots de produits entrant en ligne de compte pour l'analyse n'est que de 105 parce que chaque échantillon représente 10 conteneurs de transport.

AFU : Active feed unadjusted : quantité de produit de départ non corrigé.

RAR : Acide de récupération pour recyclage actif.

FPF : Produit final plutonium sous forme de nitrate.

HAW, MAW, LAW : high, medium and low active waste = rebuts hautement, moyennement et faiblement actifs.

S.W.: Rebut solides.

./..

TABLEAU 3

| | AFU | RAR | PPF | HAW | MAW | LAW | S.W. | Invent. |
|---|-------|------|------|------|------|------|------|---------|
| (12) Coefficient de variation (1) | 0,035 | 0,31 | 0,02 | 0,84 | 3,05 | 4,57 | 0,42 | 3,53 |
| (13) Ecart type en kg | 0,95 | 0,01 | 0,57 | 0,11 | 0,81 | 0,02 | 0,01 | 0,18 |
| (14) Erreur systématique en % (8) + (10) | 0,7 | 6,0 | 0,30 | 15 | 20 | 30 | 10 | 10 |
| (15) Erreur systématique en kg | 18,90 | 0,16 | 7,90 | 2,02 | 5,29 | 0,16 | 0,27 | 0,5 |

La variance (somme des carrés de la ligne (13) du flux de matières est 1.896 kg^2 et l'écart type 1,38 kg.

L'erreur systématique du flux de matières est (somme de la ligne (15)) 34,70 kg.

La variance pour les stocks (somme des variances des stocks début et fin) est $2 \times 0,18 \text{ kg}^2 = 0,6 \text{ kg}^2$.

L'erreur systématique pour les stocks est $2 \times 0,50 \text{ kg} = 1,00 \text{ kg}$.

La variance du bilan est $1,90 + 0,36 = 2,26 \text{ kg}^2$, l'écart type 1,50 kg.

L'erreur systématique du bilan est $34,70 + 1,00 = 35,70 \text{ kg}$.

1) s'obtient en effectuant la racine carrée de la somme des carrés des lignes (9) et (10) divisée par le nombre de lots (ligne (5)) du tableau 2.

./..

Sur la base des données du tableau 2, on peut calculer les bornes de l'intervalle de confiance du bilan par combinaison des erreurs systématiques et casuelles selon la méthode de Weichselberger (réf. 6 et 7). Celui-ci fournit aussi un tableau permettant de calculer la limite d'erreur combinée connaissant le rapport, erreur systématique maximale - écart type pour les erreurs casuelles, pour différents niveaux de probabilité.

Ce rapport est dans l'exemple cité $35,70 : 1,50 = 23,80$. On trouve dans le tableau cité (probabilité = 0,95) la valeur du quotient, limite d'erreur combinée divisée par l'écart type soit : $23,80 + 1,64 = 25,44$. La limite d'erreur s'obtient par multiplication avec la valeur de l'écart type : $25,44 \times 1,50 = 38,16$ kg. La valeur 21,6 kg du MUF est comprise à l'intérieur de l'intervalle (- 38,16 à + 38,16) de la limite d'erreur et ne diffère donc pas significativement de zéro. Comme on le voit, les contributions les plus importantes sont celles dues aux erreurs systématiques.

Le lecteur intéressé aux problèmes des garanties consultera les minutes du symposium sur les applications pratiques de la recherche et du développement dans le domaine des garanties tenu à Rome en 1974 (réf.8).

BIBLIOGRAPHIE :

- (1) Traités instituant les Communautés Européennes.
Traités portant révision de ces traités. Documents annexés.
1971, Office des publications officielles des Communautés
Européennes - 5266/71 (R).
- (2) INFCIRC 140 - 22.4.1970
Treaty on the non-proliferation of nuclear weapons.
- (3) Accord Euratom - AIEA en application du traité de non-prolifération
des armes nucléaires
R/587/73/ATO 34 (Office des publications de la Communauté
Européenne).
- (4) INFCIRC 153
Structure et contenu des accords à conclure entre l'agence et
les états dans le cadre du traité sur la non-prolifération des
armes nucléaires.
IAEA - mai 1971 - Vienne.
- (5) AVENHAUS et ALTER, Rapport KFR n°1109 (Gesellschaft für Kernfor-
schung m.b.H. Karlsruhe).
- (6) W.L. ZIJP - RCN 204 - ESARDA 2 - January 1974
Guidelines for the treatment of errors in nuclear material
accountancy and safeguards.
- (7) WEICHSELBERGER K. "Über die Addition zufälliger und systematischer
Fehler"
Operations Research Verfahren 5 (1968), p.423-445.
- (8) Practical applications of R and D in the field of Safeguards.
Proceedings of the European Safeguards,
Research and Development Association (ESARDA).
Rome March 7.8 (1974)
Ed. Comitato Nazionale Energia Nucleare.
Divisione Centrale Relazioni Esterne,
viale Regina Margherita 125, Roma.

RESUME

Les bases légales du contrôle de sécurité sont données. Une description très succincte des dispositions particulières du Traité de Rome et du Traité de non-prolifération suit. Quelques aspects pratiques de l'application de ces dispositions aux usines traitant le plutonium sont illustrés par des exemples, notamment en ce qui concerne les bilans de matière et l'incertitude qui leur est associée. On y montre l'importance de la prise d'inventaire en tant qu'élément déterminant de cette incertitude et comme tâche à laquelle sont liés des difficultés pratiques d'exécution, aussi bien pour le fabricant que pour l'inspecteur lors de la vérification.

SAMENVATTING

De wettelijke basis voor het oprichten van de veiligheidscontrole van Euratom wordt toegelicht. Een zeer beknopte beschrijving van de bepalingen ter zake vervat in het Verdrag van Rome en in het Niet-Verspreidingsverdrag volgt. Enige praktische aspecten ondermeer in verband met de materiaal balans en haar nauwkeurigheid van de toepassing van deze bepalingen op installaties die plutonium behandelen worden met voorbeelden toegelicht. Hierbij wordt de belangrijke rol gespeeld door de Inventarisopname als overwegend bestanddeel van de totale onnauwkeurigheid van de balans en als taak waaraan grote praktische uitvoeringsmoeilijkheden zowel voor het bedrijf als voor de veiligheidscontrole verbonden zijn getoond.

ZUSAMMENFASSUNG

Es werden die gesetzlichen Grundlagen der Spaltstoffflusskontrolle erläutert und eine kurze Beschreibung der einschlägigen Bestimmungen der Römischen Verträge und des Atomsperrvertrags gegeben. Einige Aspekte der praktischen Anwendung dieser Bestimmungen wird an Beispielen von Plutoniumverarbeitenden Betrieben illustriert, unter besonderer Berücksichtigung der Erstellung von Materialbilanzen und der damit verbundenen Unsicherheiten. Es wird aufgezeigt wie wichtig dabei die Bestandsaufnahme ist, einmal, weil sie entscheidend diese Unsicherheit beeinflusst, und zum anderen, weil sie einen Vorgang darstellt, der mit grossen praktischen Schwierigkeiten verbunden ist, sowohl für den Anlagenbetreiber, wie auch für den Inspektor.

ABSTRACT

The legal basis of the Euratom Safeguards system as well as a brief description of the provisions of the Treaty of Rome and the Treaty of Non Proliferation are given. Some practical aspects of the way in which these provisions are applied to factories treating Pu are illustrated by examples. In particular, the material balance and its uncertainty are discussed. The importance of inventory taking as a major part of this uncertainty is demonstrated and the difficulties associated with the stock take and verification both for the operator and the inspector are shown.

ESSAI DE SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS**E.H. Hubert**

Ingénieur civil A.I.Lg.-A.I.M.

Chargé de cours associé à l'Université de Liège

30 mai 1975

Le tour d'horizon auquel il vient d'être procédé sur les problèmes posés par l'utilisation du plutonium a fait ressortir la diversité des disciplines intéressées et les trois exposés touchent à des domaines tellement distincts qu'il est malaisé d'en faire une synthèse : tout au plus peut-on tenter de les encadrer dans un triptyque assez classique pour de tels sujets : l'étude des causes, des conséquences possibles et des moyens de prévention.

Il faut en effet observer qu'en raison de la tribune même où ces exposés ont été présentés, l'accent a été mis presque exclusivement sur les inconvénients possibles de l'emploi du plutonium et les problèmes scientifiques technologiques et économiques de cet emploi n'ont pas été abordés : il ne faudrait donc pas retirer de cette séance, l'impression que l'emploi du plutonium ne présente que des inconvénients, des risques, voire des dangers.

Le premier exposé a rappelé rapidement les conditions de production de ce matériau, premier corps simple créé artificiellement par l'homme au moins en quantités mesurables.

Dès avant sa création, les scientifiques avaient prévu théoriquement ses principales propriétés et les premières déterminations sur des microgrammes de matière confirmèrent ces prévisions. Parmi ces propriétés, l'attention fut attirée sur les dangers que présente sa manipulation :

ceux-ci sont essentiellement de deux ordres : biologiques et socio-politique.

Les exposés ultérieurs ont été axés respectivement sur les conséquences néfastes possibles et les moyens de prévention de ces deux domaines. Toutefois, le premier orateur a montré les conditions dans lesquelles ces nuisances pouvaient se réaliser.

Un premier volet nous a montré les quantités des divers isotopes de plutonium qui seront produites en fonction des puissances installées et des types de réacteurs prévus. Mais une partie de ces quantités se consomme dans le réacteur même et ce qui constitue un risque potentiel est le solde contenu dans le combustible irradié qui doit être transporté à l'usine de retraitement puis conditionné par une réutilisation ultérieure.

Au cours du transport, les deux risques essentiels sont celui de l'accident et celui de l'acte de malveillance. Des règlements draconiens ont été édictés pour les conditions de transport aérien maritime ou terrestre et les containers doivent conserver leur étanchéité dans des conditions plus sévères que pour tous les autres produits toxiques classiques.

Le fait que les containers sont extraordinairement lourds, rend problématique un détournement et le matériau tel quel exige, pour une affectation éventuelle à la fabrication d'armes, un traitement qui ne peut être réalisé que dans des installations très complexes.

Dans le traitement même des matériaux, le risque de criticalité pouvant engendrer une explosion nucléaire est pratiquement exclu en raison des dispositions géométriques nécessaires qui ne peuvent en aucun cas résulter du hasard ou de circonstances accidentelles. Par contre, la manipulation ne peut se faire qu'à distance et dans des boîtes à gants pour lesquels toute une technologie a été mise au point.

Cette technologie exige entre autres un ensemble très important d'automatismes qui doivent être basés sur le principe du "fail-safe". En outre, les manipulations doivent se faire dans des véritables conditions de propreté médicale et toute opération humaine doit être subdivisée en actions élémentaires et soumise à un système de contrôle pas à pas.

Mais quelle que puisse être la valeur des précautions prises, il faut toujours "prévoir l'imprévisible" et notamment adopter des mesures de sauvegarde contre les conséquences d'accidents naturels (séismes, tornades, etc.) et d'accidents extérieurs d'origine humaine (chute d'avion, explosions chimiques, incendie, etc.).

Dans chaque cas, il s'agit d'adapter le niveau des mesures à l'importance des conséquences et à la probabilité de l'accident. La vie ne serait pas possible si pour chaque accident imaginable on devait prendre les mesures extrêmes de sauvegarde car non seulement la défense serait hors proportion mais aussi, les mesures de protection pourraient à leur tour être génératrices de risques nouveaux voire différents.

Le deuxième exposé avait trait aux aspects biologiques qui constituent, sans aucun doute, un domaine plus familier à beaucoup de membres de l'Association mais qui constituent aussi un argument très souvent avancé par les opposants aux applications pacifiques de l'énergie nucléaire.

Des informations très détaillées ont été apportées par l'orateur sur les différentes formes sous lesquelles le plutonium se présente. C'est en effet un corps dont la physique et la chimie sont complexes : au moins 5 isotopes assez courants et 5 valences différentes.

Néanmoins, il convient de souligner le fait que le Pu est insoluble et de ce fait ne traverse pas la paroi des cellules comme c'est le cas pour les alcalis.

La toxicité du produit est influencée par cette considération d'une part, et par le fait que toute absorption de plutonium par infusion ou inhala-

tion, passe extrêmement lentement dans l'organisme à un taux de l'ordre de quelques % par jour. Il s'en suit que l'on dispose d'un temps notable pour procéder aux décontaminations appropriées.

L'argument fréquemment avancé par les opposants à l'utilisation du plutonium est que la dose maximum admissible étant de l'ordre du microgramme, il suffirait de quelques kgs, soit la dimension d'un pamplemousse, pour tuer l'humanité. L'orateur nous a montré par des comparaisons simples combien ce raisonnement pêche par la base : il nous a décrit les voies réelles de pénétration du Pu dans l'organisme et en faisant état d'expériences réelles et non plus d'hypothèses imaginaires, il a fait ressortir que les craintes émises sur les risques du plutonium pour l'humanité étaient très surestimées; les précautions imposées dans la manipulation suffisant à les éliminer.

Au terme de cet exposé, on a pu se rendre compte que ces craintes étaient basées sur une méconnaissance (volontaire ou non) des propriétés réelles du matériau et de son métabolisme dans l'être humain. Ces appréhensions sont probablement assimilables à celles ressenties devant chaque activité humaine nouvelle et que l'absence de conséquences graves au cours du temps finit par estomper.

Le troisième exposé se situait dans un contexte très différent puisqu'il traitait des mesures administratives légales susceptibles de limiter le détournement de matières vers des applications non pacifiques.

L'orateur a bien fait ressortir l'antinomie apparente entre le Traité de Rome qui prévoit pour chacun un approvisionnement équitable en matières fissiles et le Traité de non prolifération qui fixe des limites et des conditions à la détention des matières fissiles. Mais en fait, le Traité de Rome prévoit la nécessité d'éviter le détournement des matières fissiles vers des applications militaires et rejoint ainsi le Traité de non prolifération. Celui-ci établit un système de garanties destinées précisément à éviter ce détournement. Ce système est basé essentiellement sur la comptabilité, le confinement et la surveillance des matières.

La répartition de ces tâches entre les Etats et les organes internationaux a été décrite avec la minutie d'un comptable et a révélé la complexité des règlements d'application : la nécessité de sauvegarder aussi le secret industriel impose des restrictions à l'accès à toutes les phases de traitement : on y remédie par la création de zones délimitées ou les bilans d'entrée et sortie doivent être équilibrés. On a bien fait apparaître la distinction des écarts dus à des pertes normales, des écarts dus à des imprécisions de mesure et enfin les écarts susceptibles de provenir de prélèvements anormaux.

La comptabilité matières ne peut pas être analogue à une comptabilité financière où le moindre écart est l'indice d'une anomalie dont on doit trouver la justification.

Que pouvons-nous tirer sinon comme conclusion, au moins comme enseignement de cette demi-journée?

Le plutonium bien que nouveau venu dans la technologie, est peut-être parmi les matériaux, celui présentant des risques dont la connaissance et le contrôle sont les plus développés.

Sous réserve d'un respect scrupuleux des mesures édictées par les scientifiques, les techniciens, les biologistes et les organes de contrôle, on peut classer les risques du plutonium parmi ceux qui sont normalement acceptés en contre-partie des avantages que son utilisation peut procurer à l'humanité.

EVALUATION, POUR L'HOMME, DES DANGERS GÉNÉTIQUES PRÉSENTES PAR UNE EXPOSITION AUX RADIATIONS IONISANTES.

A. Léonard, Agrégé de l'Enseignement Supérieur.

Laboratoire de Génétique, Département de Radiobiologie,
C.E.N./S.C.K. Mol, et Université Catholique de Louvain (U.C.L.)

Septembre 1975.

RESUME

Dans une population humaine normale 10 à 13 % de toutes les conceptions sont associées à des anomalies chromosomiques. La plupart d'entre elles aboutissent à une perte prénatale mais on considère néanmoins que 0,5 à 1 % des enfants nés viables présentent des anomalies de ce type. Si à cette valeur on ajoute les déficiences génétiques de type génique on peut dire qu'au total environ 6 à 10 % de la population présentent des altérations génétiques héréditaires. L'exposition à des agents mutagènes chimiques ou physiques tels que les radiations ionisantes est par définition susceptible d'augmenter l'incidence de ces mutations. Dans la pratique cependant, et par suite vraisemblablement des difficultés inhérentes à toutes les études épidémiologiques on n'a jamais pu démontrer clairement chez l'homme les effets génétiques des radiations ionisantes. On doit se baser, dès lors, sur les résultats des recherches expérimentales. En les extrapolant à l'homme on doit admettre que 5 rem, qui constituent la dose génétique significative maximale qu'un individu peut recevoir avant l'âge de 30 ans, représentent une limite suffisamment sûre.

INTRODUCTION

On classe habituellement les altérations du matériel génétique en mutations géniques et en anomalies chromosomiques. Les mutations géniques résultent de dommages aux unités élémentaires d'information qui transmettent le message génétique des parents à la descendance tandis que les anomalies chromosomiques impliquent la perte, la duplication ou le réarrangement de parties plus au moins importantes de ce même message. La plupart de ces mutations ne sont pas transmises à la descendance par suite d'une élimination due à la mort de la cellule, d'un manque de fertilisation ou d'implantation de l'oocyte fécondé. Elles peuvent contribuer également à une augmentation du taux d'avortements et de la mortalité périnatale aussi bien qu'à une réduction de la fertilité associée ou non à des déficiences physiques ou mentales de degrés divers.

Parmi les mutations géniques on distingue celles qui sont dominantes et celles qui sont récessives. Les mutations dominantes ont des conséquences phénotypiques même lorsqu'elles se trouvent à l'état hétérozygote et s'expriment par conséquent dans la descendance immédiate des individus exposés à l'action d'un agent mutagène. Par contre les mutations récessives ne s'expriment pas à l'état hétérozygote étant donné que leur expression dépend de la présence simultanée de deux copies du même gène. Dans le cas d'une exposition à un agent mutagène ce type de mutations pourra donc rester latent durant de nombreuses générations et n'apparaître que lorsque deux individus hétérozygotes pour cette mutation récessive se marieront ensemble. Si on se base sur le travail récent de McKusik (14) on a décrit chez l'homme 415 types de mutations dominantes et 528 autres moins bien connues tandis qu'on a dénombré 365 mutations récessives et 418 qui sont moins certaines. La plupart de ces mutations ont des effets mineurs pour l'individu qui les porte. Le Tableau I présente les résultats d'une étude réalisée en Colombie Britannique par Trimble et Doughty (19) ainsi que les estimations de l'UNSCEAR (1962,

Tableau 1

Fréquence des déficiences génétiques par 100 naissances

| Type de mutation | UNSCEAR (1962, 1966) | Colombie britannique (1974) |
|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Dominantes | 1,0 | 0,08 |
| Récessives | 0,2 | 0,11 |
| Liées au sexe | 0,04 | 0,04 |
| Chromosomiques | 0,4 | 0,20 |
| Malformations multifactorielles | 2,5 | 4,28 |
| Autres anomalies multifactorielles | 1,5 | 4,73 |

1966) sur l'incidence normale des déficiences génétiques chez l'homme.

On peut estimer la fréquence spontanée des anomalies chromosomiques dans l'espèce humaine en analysant les chromosomes des nouveaux nés et les produits d'avortement spontané. Dans une étude récente Boué et Boué (3) ont publié les résultats d'une analyse de 1205 avortements de ce type. L'incidence des anomalies chromosomiques était de 66 % lorsque le décès a eu lieu avant la 8e semaine de la grossesse et de 23 % lorsqu'il est intervenu plus tard. Le total des avortements associés à des anomalies chromosomiques était de 62 % (749 embryons). De ceux-ci 50 % étaient des trisomies, 25 % des polyploïdies tandis que la plupart des autres présentaient un caryotype XO. Selon ces mêmes auteurs, 15 à 20 % du total des conceptions aboutiraient à un avortement spontané. On peut donc en conclure que 9 à 12 % des conceptions aboutiront à un avortement associé à la présence d'anomalies chromosomiques.

Analysant les résultats d'enquêtes réalisées sur les nouveaux-nés Jacobs (7) estime que 0,53 % des nouveaux-nés présentent des anomalies chromosomiques. On admet cependant généralement que 10 enfants sur 1000 présentent des aberrations de ce type. Les trisomies autosomiques et les aneuploïdies des chromosomes sexuels résultant d'erreurs de disjonction dans les cellules reproductrices mâles ou femelles interviennent chacune pour 3,5/1000 le restant étant représenté surtout par des translocations de type robertsonien. Si l'on combine les données fournies par l'étude des nouveaux-nés et des fruits d'avortement spontané on peut dire que 10 à 13 % de toutes les conceptions sont associées à des anomalies chromosomiques. Il s'agit cependant là d'une sous-estimation car les méthodes d'examen classiques ne permettent pas la détection des réarrangements de structure tels que les délétions, duplications ou translocations qui impliquent moins de 10 % de la longueur des chromosomes. Jacobs et al. (8) prétendent d'ailleurs que l'utilisation des techniques du banding pattern permettra de détecter 3 fois plus d'anomalies fines de structure.

Une partie des mutations observées dans une population donnée sont dites spontanées parce que les causes de leur apparition ne sont pas évi-

dentes. D'autres peuvent être le résultat d'une exposition des cellules germinales à des agents dits mutagènes présents dans l'environnement. Ces agents mutagènes peuvent être chimiques (polluants industriels, médicaments, additifs ou contaminants de la nourriture, etc..) ou physiques telles les radiations ionisantes dont nous traiterons plus particulièrement ici.

Rayonnements ionisants et doses génétiques significatives.

C'est en 1927 que H.J. Muller découvrit que les radiations ionisantes peuvent provoquer des mutations mais ce n'est qu'après la seconde guerre mondiale que les risques génétiques que courrait la population furent considérés comme un des éléments majeurs pour déterminer les doses maximales permises. Selon leur origine on distingue les radiations naturelles et les rayonnements artificiels.

Tous les êtres vivants sont, et ont toujours été, exposés aux radiations d'origine naturelle. Par ce vocable on désigne les rayonnements cosmiques, ceux qui sont émis par les radioisotopes présents dans l'écorce terrestre et, enfin, ceux qui proviennent des radioisotopes naturels accumulés dans le corps lors de la consommation d'eau et de nourriture ou de l'inhalation de l'air. Parmi les rayonnements dits "artificiels", c'est à dire produits par l'activité humaine on doit distinguer les doses reçues pour raisons médicales ou professionnelles, celles provenant des retombées des essais nucléaires et enfin celles résultant du développement de l'énergie nucléaire.

Une partie seulement des doses de radiations auxquelles l'homme est soumis atteint les cellules reproductrices. On l'appelle la Dose Génétique Significative. Il s'agit là, en fait, d'un essai fait pour estimer la dose de radiations qui signifie réellement quelque chose pour la production de mutations. La dose reçue par les gonades à chaque âge et pour chaque sexe est pondérée par le nombre d'enfants normalement attendus pour une personne de cet âge et de ce sexe. En ce qui concerne les rayonnements d'origine naturelle on estime que la Dose Génétique

Tableau II

Source de doses de rayonnements génétiquement significatives (1)

| Nature de rayonnement | Exposition totale moyenne (mrem/an) | Dose génétique significative correspondante (mrem/an) |
|---|-------------------------------------|---|
| Rayonnements d'origine naturelle | | |
| Rayonnements cosmiques | 44 | |
| Radionuclides présents dans le corps | 18 | |
| Rayonnements γ externes | 40 | |
| | <hr/> | <hr/> |
| | 102 | 90 |
| Rayonnements produits artificiellement | | |
| Raisons médicales | 73 | 30 - 60 |
| Retombées des essais nucléaires | 4 | |
| Raisons professionnelles | 0,8 | |
| Divers | 2 | |
| Energie nucléaire (1970) | 0,003 | |
| Energie nucléaire (2000) | < 1 | |
| Exposition maximale admise (à l'exclusion des traitements médicaux) | 170 | |

Significative équivaut à la dose reçue par les gonades étant donné que l'exposition est répartie uniformément sur toute la vie. Le Tableau II adapté du rapport de l'Académie Nationale des Sciences des Etats Unis (1) donne pour ce pays et pour 1972 les doses moyennes d'exposition ainsi que les doses génétiques significatives correspondantes. Les valeurs données pour les radiations provenant de l'énergie nucléaire sont basées sur une production passant de 6.000 megawatts en 1970 à 800.000 megawatts en l'an 2.000. Ce même rapport conclut que sauf le cas d'accident ou de sabotage la dose génétique significative provenant des rayonnements produits par les centrales nucléaires restera négligeable dans les années à venir.

Revue des résultats expérimentaux.

En dépit des travaux nombreux qui ont été réalisés sur la question, on n'a pas encore su démontrer clairement chez l'homme les effets génétiques des radiations ionisantes. Ceci se vérifie même pour les populations de Nagasaki et d'Hiroshima et pour la descendance de personnes exposées accidentellement ou pour des raisons médicales à de fortes doses de radiations. C'est en fait sur les recherches expérimentales réalisées sur les petits mammifères et plus spécialement sur la souris que reposent les estimations établies pour l'espèce humaine. Nous verrons plus loin dans quelle mesure les résultats obtenus sont extrapolables à l'homme et les facteurs correctifs éventuels à utiliser.

On considère, très logiquement d'ailleurs, que ce sont les dommages produits aux spermatogonies et aux oocytes qui ont le plus d'importance. Chez le mâle, en effet, les spermatogonies constituent une population cellulaire permanente et se multiplient durant toute la vie reproductive normale. Contrairement à ce qui est le cas pour les stades plus différenciés (spermatocytes, spermatides, spermatozoïdes) les mutations qui sont induites dans les spermatogonies ne peuvent donc être éliminées en attendant un laps de temps suffisant entre l'exposition aux rayonnements et la reproduction. Le stade correspondant chez la femelle est constitué par les oocytes. A leur naissance les femelles possèdent un nom-

bre déterminé d'occytes (2 millions pour la femme) qui ne peuvent dans la suite être remplacés par des divisions ultérieures.

1. Mutations de locus spécifiques.

Ces mutations ont, depuis 1951, fait l'objet de travaux remarquables poursuivis principalement à Oak Ridge par Russell et ses collaborateurs et à Harwell par Lyon et al. Pour les références exactes de leurs travaux le lecteur pourra consulter les revues publiées récemment (10, 16) ainsi que les rapports des Nations Unies parus en 1966 (18) et en 1972 (21). La technique utilisée consiste à croiser des souris traitées ou non traitées de type sauvage à des animaux homozygotes pour certains gènes récessifs. Une mutation pour un de ces locus pourra être détectée dans la descendance pour autant que la mutation ait un effet phenotypique visible. De telles expériences requièrent des nombres élevés d'animaux mais permettent la détection des mutants en première génération alors que les mutations autosomales récessives de locus non spécifiques nécessitent deux générations pour être mises en évidence.

a. Mutations de locus spécifiques produites par irradiation des spermatogonies.

Dans les spermatogonies, le taux de mutations de locus spécifiques augmente avec la dose d'irradiation administrée. Il diminue brusquement pour des doses d'irradiation supérieures à 600 R ce qui est attribué à une élimination sélective des cellules les plus radiosensibles à la fois à la mort cellulaire et aux mutations induites. Pour le groupe de locus spécifiques utilisés par Russell et ses collaborateurs (locus PT : Tableau III) le taux moyen de mutations spontanées varie de $0,46 \times 10^{-5}$ à $1,0 \times 10^{-5}$ par locus et par génération. Le taux moyen de mutations radioinduites pour ces mêmes locus par les rayons X est de $2,2 \times 10^{-7}$ par locus par gamète et par R alors qu'il est de $0,78 \times 10^{-7}$ par locus par gamète et par R pour le groupe de locus (locus HT) utilisé par Lyon et ses collaborateurs. Le taux de mutations induites par des doses

Tableau III

Génotype des animaux utilisés pour l'étude des mutations de locus spécifiques.

| Laboratoire | Symbole | Mutation | Groupe de lynkage |
|-----------------------------|-----------------|---------------------------------------|-------------------|
| Oak Ridge (locus PT) | a | non-agouti | V |
| | b | brun | VIII |
| | c ^{ch} | chinchilla | I |
| | d | dilution | II |
| | p | dilution de la couleur rose de l'oeil | I |
| | s | taches de couleur | III |
| | se | oreilles courtes | II |
| Harwell (locus J-tT) | a | non-agouti | V |
| | lep | membres courts | V |
| | fz | poils bouclés | XIII |
| | ln | couleur de plomb | XIII |
| | pa | couleur pâle | V |
| | pe | couleur perle | XIV |

de 300 à 600 R diminue de $3,0 \times 10^{-7}$ par locus, par gamète et par R à $0,85 \times 10^{-7}$ par locus par gamète et par R lorsque le débit varie de 1000 R/min à 0,8R/min. (Tableau IV). Une diminution ultérieure du débit jusqu'à 0,001 R/min ne modifie plus le taux de mutations. Cet effet du débit est interprété en termes de restauration. Si une dose élevée est administrée en deux fractions séparées par un intervalle de temps de 24 h, on constate une augmentation du taux de mutations quelque soit le groupe de locus spécifiques utilisé. Cet effet semble s'expliquer à la fois par une synchronisation provoquée par la première fraction de la dose et par une élimination réduite des cellules les plus radiosensibles.

Tableau IV

Effets du débit sur le taux de mutations de locus spécifiques induites par une irradiation des spermatogonies avec des doses de 300 à 600 R (20, 21).

| Nature du rayonnement | Débit par minute | Taux de mutations par locus par gamète par R ($\times 10^7$) |
|-----------------------|------------------|--|
| RX | 1.000 | 3,0 |
| | 90 | 2,2 - 2,9 |
| | 60 - 70 | 2,5 |
| | 9 | 1,4 |
| Y | 0,8 | 0,85 |
| | 0,009 | 0,80 |
| | 0,001 | 0,98 - 1,40 |

b. Mutations de locus spécifiques produites par une irradiation des oöcytes.

Une exposition des oöcytes mûrs à des doses élevées de rayons X produit plus de mutations que celle des spermatogonies mais l'effet du débit y est beaucoup plus prononcé que chez ces dernières. Aux très faibles débits d'ailleurs (0,009 R/min) on ne constate aucune augmentation de la fréquence des mutations spontanées après ces doses de 258 à 600 R. Ceci pourrait être dû au fait qu'une irradiation chronique produit moins de dommages au système de réparation qu'une irradiation aiguë ou encore que le système de réparation puisse seulement réparer une certaine quantité de dommages en un temps donné de sorte qu'une irradiation à faible débit permette une réparation optimale. Ces hypothèses ont été en partie confirmées par la découverte qu'une dose de 50 R donnée à un débit de 90 R/min à des souris femelles produit beaucoup

moins de mutations que le nombre attendu sur la base d'une extrapolation linéaire des résultats obtenus avec 400 R et d'autre part par la mise en évidence du fractionnement. Ajoutons encore que chez les souris femelles il existe une dépendance étroite entre la fréquence des mutations radioinduites et l'intervalle de temps s'écoulant entre l'irradiation et la conception, le taux de mutations étant négligeable chez les descendants conçus après la 7ème semaine. Ceci pourrait s'expliquer soit par des mécanismes de restauration plus actifs dans les oocytes jeunes, soit par une élimination sélective importante résultant de la grande sensibilité des oocytes jeunes à la mort cellulaire radio-induite.

2. Mutations visibles dominantes et récessives.

Alors que le taux spontané de mutations visibles récessives de locus non-spécifiques est de l'ordre de $7,04 \times 10^{-3}$ par génération l'irradiation des spermatogonies produit un taux moyen de $1,8 \times 10^{-5}$ mutants récessifs par gamète et par R ce qui est nettement plus élevé que les valeurs obtenues avec les locus spécifiques (13). Les mutations dominantes visibles sont beaucoup moins fréquentes, le taux spontané étant seulement de 81×10^{-7} par génération et le taux radioinduit de $4,96 \times 10^{-7}$ par gamète et par R (12 pour revue). La plupart des constatations réalisées avec les mutations de locus spécifiques sur les effets du fractionnement et du débit ainsi que sur l'efficacité biologique relative des différents types de rayonnement (Tableau V) se sont vérifiées ici.

3. Mutations létales dominantes et récessives.

a. Létalité dominante.

Ce terme désigne les changements génétiques qui provoquent la mort des hétérozygotes avant la naissance ou peu de temps après, à l'exclusion de tous les changements qui affectent les gamètes eux mêmes et les rendent incapables d'une fertili-

Tableau V

Efficacité biologique relative des différents types de rayonnements (20, 21)

| Types de cellules | Mutations | Rayonnements | Efficacité biologique relative |
|-------------------|--------------------|---|--------------------------------|
| Spermatogonies | Locus spécifiques | $\frac{\text{Dose aiguë de rayons X}}{\text{Dose chronique de rayons X}}$ | 3 |
| | | Neutrons/rayons X | 5 - 5,8 |
| | | $\frac{\text{Neutrons faible débit}}{\text{faible débit}}$ | 18,1 - 23 |
| | Dominants visibles | $\frac{\text{Neutrons chroniques}}{\gamma \text{ chroniques}}$ | 20 |
| Spermatozoïdes | Dominants létaux | $\frac{\text{Dose aiguë de neutrons}}{\text{Dose aiguë de rayons X}}$ | 6 - 8 |

tion normale. Les létaux dominants résultant d'une irradiation des stades préméiotiques sont surtout la conséquence de translocations réciproques alors que ce sont des délétions qui expliquent en grande partie la létalité provoquée par une irradiation des stades postméiotiques.

Irradiation des cellules reproductrices mâles.

Comme pour les mutations géniques aussi bien que pour les anomalies chromosomiques on observe une différence nette de radiosensibilité entre les divers types cellulaires (Tableau VI) entre les espèces et au sein de celles-ci entre les races.

Irradiation des cellules reproductrices femelles.

La radiosensibilité va en diminuant de la métaphase I au stade des pronucleus. L'irradiation des oocytes mûrs produit presque autant de létaux dominants que l'irradiation des spermatozoïdes.

b. Létalité récessive.

Lüning (11) et Lyon et al. (13) sont arrivés, pour la souris, à des valeurs très voisines ($0,8$ à $2,0 \times 10^{-4}$ par gamète et par R et $2,46 \times 10^{-4}$ par gamète et par R) pour les létaux récessifs autosomiques. Selon Searle (17) le taux de létalité récessive liée au sexe est de $1,7 \times 10^{-4}$ par gamète et par R.

4. Anomalies chromosomiques.

Chez la souris on a surtout étudié la production, par les radiations ionisantes de deux types d'anomalies chromosomiques : les translocations réciproques et les pertes des chromosomes sexuels.

Une translocation réciproque consiste dans l'échange de segments chromosomiques entre chromosomes non homologues. Un individu qui reçoit une telle translocation d'un des parents est un transloqué hétérozygote. Un tel individu sera le plus souvent sémitérile mais il peut être stérile. Le taux de translocation produit par ir-

Tableau VI

Radiosensibilité comparée des différents types de cellules mâles (10)

| Type cellulaire | Mutation | | |
|--------------------|---|---|-----------------------------------|
| | Létalité dominante (par R et $\times 10^4$) | Translocation (par R $\times 10^5$) | X^M_0 (par R $\times 10^5$) |
| Spermatozoïde | 18,0 | 25,4 | 2,0 |
| Spermatide | 38,0 | 72,5 | 4,3 |
| Spermatocyte mûr | 28,0 | 7,4 | 1,0 |
| Spermatocyte jeune | 24,0 | 20,8 | 2,9-3,3 |
| Spermatogonie | 1,1 | 0-3,6 | 0,07 |

radiation des stades postméiotiques mâles (Tableau VI) alors qu'il est toujours faible pour les spermatogonies (9 pour revue). Pour ce type de cellules il passe de $0,3 \times 10^{-4}$ par gamète et par R pour une exposition à une dose aiguë de rayons X à $0,003 \times 10^{-4}$ par gamète et par R dans le cas d'exposition à des doses faibles de rayons γ . L'efficacité biologique relative (neutrons/ γ) est voisine de 4. Les recherches faites sur les femelles (5, 6, 18) montrent que la production des translocations dans les oöcytes et leur transmission aux descendants représente un risque réel.

L'autre type d'aberration chromosomique étudié chez la souris, la perte d'un chromosome sexuel, conduit à la production d'individus XO phénotypiquement identifiables si le chromosome X est porteur d'un marqueur approprié. Alors que l'irradiation des spermatogonies ne semble pas augmenter le taux d'individus XO celle des oöcytes mûrs avec une dose aiguë de rayons X donne un taux de XO de 15×10^{-6} par gamète et par R. Ce taux tombe à $6,5 \times 10^{-6}$ par gamète et par R aux faibles débits.

5. Doses d'irradiation requises pour doubler le taux de mutations spontanées.

Se basant sur les résultats disponibles dans la littérature Lüning et Searle (12) ont calculé quelles étaient pour les spermatogonies les doses de rayons X à administrer pour doubler les taux de mutations spontanées (Tableau VII). Il convient de remarquer que ces valeurs sont plus théoriques que pratiques. Elles sont en effet basées uniquement sur les recherches expérimentales effectuées sur les spermatogonies et les données sont, comme nous l'avons vu, fort incomplètes pour les cellules reproductrices femelles. De plus, hormis le cas d'une exposition accidentelle ou pour des raisons médicales, il est rare qu'une personne soit exposée à une dose aiguë de radiation d'un type bien déterminé. Dans la pratique les gens sont exposés à des doses fractionnées ou à des doses administrées à faible débit. Dans les deux cas les doses requises

Tableau VII

Doses d'irradiation aiguës nécessaires pour doubler les taux de mutations spontanées (12).

| Mutations | Dose d'irradiation | | |
|---------------------------------|--------------------|---------|---------|
| | Minimum | Moyenne | Maximum |
| Locus spécifiques | 18 R | 32 R | 55 R |
| Dominants visibles | 4 R | 16 R | 104 R |
| Dominants visibles du squelette | 3 R | 26 R | 445 R |
| Semistériles | 8 R | 31 R | 138 R |
| Létaux récessifs | 16 R | 51 R | 170 R |

seront beaucoup plus élevées comme nous l'avons vu.

Extrapolation à l'homme des résultats expérimentaux obtenus sur la souris.

1. Radiosensibilité des cellules reproductrices humaines.

La radiosensibilité des spermatogonies de l'homme est deux à trois fois plus élevée que celle des spermatogonies de la souris (15). Le taux des mutations transmises aux descendants pourrait cependant être inférieur par suite d'une sélection germinale plus intense. Il est théoriquement plus délicat d'extrapoler à l'homme les données quantitatives obtenues par irradiation des souris femelles. En effet, la morphologie nucléaire du stade diplotène auquel les oocytes sont bloqués jusqu'au moment de l'ovulation varie largement d'une espèce à l'autre. Si on trouve un stade diplotène caractéristique chez l'homme, le singe Rhesus, la chèvre et le chien, chez la souris, le rat et les quelques espèces de rongeurs étudiées jusqu'à présent,

le stade diplotène ressemble dans une certaine mesure à une interphase (2). Parallèlement à ces différences et aux activités métaboliques qui y sont liées, on constate que les oöcytes du singe sont beaucoup plus radiorésistants. C'est ainsi que 5000 R donnés aux oöcytes jeunes du singe ont le même effet que 15 R seulement administrés aux souris femelles. D'irradiations données in vitro on a pu conclure que les oöcytes humains sont aussi radiorésistants que les oöcytes du singe et qu'il n'y a pas de différences entre les effets d'irradiation donnés in vivo et in vitro.

2. Estimation du taux de mutations radioinduites (Tableau VIII)

Mutations récessives.

En prenant comme valeur de référence le taux de mutations des locus spécifiques on arrive pour l'homme (\pm 30.000 locus) à $0,5 \times 10^{-7}$ x 30.000 c'est-à-dire à 1.500 mutants par rem et par million de gamètes. Si, par contre, on utilise les taux de mutations récessives obtenus pour les locus non spécifiques et que, compte tenu du génome plus important de l'homme, on augmente ces valeurs de 20 % on arrive à 36 mutants seulement par rem et par million de gamètes. Deux à cinq pourcent de ces mutations seulement seront exprimées en première génération, le restant étant disséminé au sein de la population.

Mutations dominantes.

Si l'on se base sur les résultats obtenus sur la souris ainsi que sur les inventaires de McKusik (14) on peut s'attendre à observer 2 mutants dominants visibles seulement par R et par million de gamètes.

Translocations réciproques.

Brewen et Preston (4) ont montré qu'il existait une relation assez étroite entre le nombre de bras chromosomiques que comporte le caryotype d'une espèce et le taux de réarrangements chromosomiques que l'on peut attendre d'une exposition aux radiations ionisantes.

Tableau VIII

Dangers d'induction, chez l'homme, de différents types de dommages génétiques par des faibles doses ou des expositions chroniques (1, 16)

| Type de dommage | Taux d'induction par million/R | | Expression en F1 per million après irra- diation des spermatogonies |
|----------------------------------|-----------------------------------|-------------|--|
| | Spermatogonie | Oöcyte | |
| Mutations ponctuelles récessives | 1500 | très faible | 30 - 75 |
| | 36 | - | 1 - 2 |
| Dominants visibles | 2 | - | 2 |
| Mutations du squelette | 4 | - | ? |
| Translocations réciproques | 15 | très faible | 2 |
| Perte d'un chromosome X | très faible | 8 | - |
| Autres anomalies chromosomiques | très faible | - | - |

Ceci est vrai tant pour les cellules somatiques que pour les cellules reproductrices. Il en résulte que le taux de remaniements de structure du type translocation réciproque que l'on induira dans les spermatogonies humaines (81 bras) sera approximativement deux fois plus élevé que ce que l'on observe chez la souris (40 bras). On arrivera ainsi aux valeurs théoriques suivantes : faibles doses = $2 \times 0,075 \times 10^{-4}$ c.à.d. 15 par R par million de gamètes.

faibles débits =

$2 \times 0,033 \times 10^{-4}$ c.à.d. 7 par R par million de gamètes.

Compte tenu de l'efficacité biologique relative des rayons γ et du fait qu'une bonne partie des embryons porteurs de tels remaniements chromosomiques disparaîtront avant la naissance on peut estimer de 1 à 2 par R et par million de gamètes le nombre d'enfants porteurs de tels remaniements chromosomiques qui verront le jour.

Perte de chromosomes sexuels.

Sur la base des expériences réalisées sur la souris on peut estimer à 8 par R par million le nombre de XO attendu.

La majorité de ces cas d'aneuploïdie conduiront à des avortements précoces.

3. Estimation des risques en fonction de l'incidence naturelle des maladies génétiques.

Les différents types de mutations que nous venons d'évoquer peuvent apparaître comme des concepts assez théoriques. C'est pour cette raison que dans son rapport à l'Académie Nationale des Sciences l'Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations a estimé les effets génétiques que pouvait avoir une exposition chronique totalisant 5 rem et les a comparé aux taux intervenant spontanément dans une population normale. Rappelons que 5 R constitue la dose génétique significative maximale que le Federal Radiation Council des Etats-Unis considère qu'un individu peut recevoir avant l'âge moyen de reproduction qui correspond environ à 30 ans. Ces 5 R correspondent donc à 0,17 R par an. Les valeurs ob-

Tableau IX

Estimation des effets d'une exposition chronique à 5 R par génération sur une population d'un million d'individus (1)

| Anomalies | Incidence * spontanée | Effet de 5 rem par génération | |
|--|-----------------------------|-------------------------------|-------------|
| | | 1e génération | Equilibre |
| Maladies dominantes | 10.000 | 50 - 500 | 250 - 2500 |
| Anomalies chromosomiques et maladies récessives | 10.000 | faible | très faible |
| Anomalies congénitales | 15.000 | | |
| Anomalies exprimées tardivement | 10.000 | 5 - 500 | 50 - 5000 |
| Maladies constitutionnelles et dégénératives | 15.000 | | |
| | ----- | ----- | ----- |
| | 60.000 | 60 - 1000 | 300 - 7500 |

*Basée sur le Rapport de Nations Unies (1966, 1972)

tenues sont résumées dans le Tableau IX tandis que le Tableau X donne les taux attendus d'anomalies chromosomiques résultant d'une exposition à cette même dose de 5 R.

Tableau X

Anomalies chromosomiques observées par millions de conceptions après administration de 5 R (dose génétique significative admissible) aux gamètes mâles et femelles.

Anomalies chromosomiques spontanées

| | | |
|------------------------------|------------------|-----------------|
| Avortements | 90.000 - 120.000 | |
| Contribution XO | | 22.500 - 30.000 |
| Nouveaux-nés | 4.700 - 9.100 | |
| Incidence des XO | | 500 - 700 |
| Incidence des translocations | | 1.650 - 3.185 |
| | <hr/> | |
| Total | 94.700 - 129.100 | |

Anomalies résultant d'une exposition à 5 R

| | | |
|----------------------------|-------|-------|
| XO | | |
| Avortements | 34 | |
| Nouveaux-nés | | 1 |
| Translocations réciproques | | |
| Avortements | 156 | |
| Nouveaux-nés | | 78 |
| | <hr/> | <hr/> |
| Total | 180 | 79 |

Conclusions.

Le développement de l'énergie nucléaire est actuellement présenté comme un moyen, pour les pays industrialisés, de pallier leur manque de ressources énergétiques naturelles. Ces projets ne sont pas sans susciter, dans notre pays comme dans les autres, une certaine émotion dans un public qui garde en mémoire les tragédies d'Hiroshima et de Nagasaki. Les conséquences génétiques que pourrait avoir pour les générations à venir la multiplication des centrales nucléaires sont souvent présentées comme une des objections majeures par les adversaires de ces projets.

Ainsi que nous l'avons rappelé précédemment la contribution, en l'an 2000 de l'énergie nucléaire aux rayonnements dits artificiels, ne dépassera pas 1 mrem par an ou 30 mrem par 30 ans. Compte tenu de cette donnée et des résultats des recherches expérimentales on doit conclure que dans des conditions normales d'exploitation les développements prévus des centrales nucléaires ne risquent pas d'être génétiquement dommageables pour l'espèce humaine.

Remerciements.

Ce travail a été réalisé partiellement avec l'aide du Fond National de la Recherche Scientifique Fondamentale Collective.

Adresse de l'auteur : A. LÉONARD - Laboratoire de Génétique,
Département de Radiobiologie,
C.E.N./S.C.K.
B-2400 MOL (Belgique)

Bibliographie

1. ADVISORY COMMITTEE ON THE BIOLOGICAL EFFECTS OF IONIZING RADIATIONS. The Effects on populations of exposure to low levels of ionizing radiation. National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D.C., 1972.
2. BAKER, T.G. - Comparative aspects of the effects of radiation during oogenesis. *Mutation Res.*, 1971, 11, 9.
3. BOUE, J. et BOUE, A. - Anomalies chromosomiques dans les avortements spontanés, in Symposium on chromosomal errors in relation to reproductive failure (Eds. A. Boué and Ch. Thibault), INSERM, Paris, 1973, pp. 29 - 55.
4. BREWEN, J.G. et PRESTON, R.J. - Cytogenetic effects of environmental mutagens in mammalian cells and the extrapolation to man. *Mutation Res.*, 1974, 26, 297.
5. GILLIAVOD, N., et LEONARD, A. - Sensitivity of the mouse oocytes to the induction of translocations by ionizing radiations. *Can J. Genet. Cytology*, 1973, 15, 363.
6. GILLIAVOD, N. et LEONARD, A. - Dose-relationship for translocations induced by X-irradiation in mouse oocytes. *Mutation Res.*, 1974, 25, 425.
7. JACOBS, P.A. - Human population cytogenetics, in Human genetics. Proc. 4th Int. Congress Human Genetics (Eds. J. de Grouchy, F.J.G. Ebling and I.W. Henderson), Excerpta Medica, Amsterdam, 1972, pp. 232 - 242.
8. JACOBS, P.A., FRACKIEWICZ, A. et LAW, P. - Incidence and mutation rates of structural rearrangements of the autosomes in man. *Annals of Human Genetics*, 1972, 35, 301.
9. LEONARD, A. - Radiation-induced translocations in spermatogonia of mice. *Mutation Res.*, 1971, 11, 71.
10. LEONARD, A. - Données récentes sur les taux de mutations radio-induites chez les mammifères. In : "Human Genetics" Proceedings of

the Fourth International Congress of Human Genetics. Ed. J. de Grouchy, F.J.G. Ebling et I.W. Henderson, Excerpta Medica, Amsterdam, 1972, 67.

11. LÜNING, K.G. - Studies of irradiated mouse populations. III. Accumulation of recessive lethals. *Mutation Res.*, 1964, 1, 86.
12. LÜNING, K.G., et SEARLE, A.G. - Estimates of genetic risks from ionizing irradiation. *Mutation Res.*, 1972, 12, 291.
13. LYON, M.F., PHILIPS, R.J.S. et SEARLE, A.G. - The overall rates of dominant and recessive lethal and visible mutation induced by spermatogonial X-irradiation of mice. *Genet. Res.*, 1964, 5, 448.
14. MCKUSIK, U.A. - Mendelian inheritance in man. Johns Hopkins Press, Baltimore, 3rd ed., 1971.
15. OAKBERG, E.F. et CLARK, E. - Species comparison of radiation response of the gonads. In "Effects of Radiation on the Reproductive System". Ed. W.D. Carlson, F.X. Gassner, Pergamon Press, Oxford, 1964, 11.
16. SANKARANARAYANAN, K. et COHEN, J.A. - Recent advances in the assessment of genetic hazards of ionizing radiation. *Atomic Energy Rev.*, 1974, 12, 47.
17. SEARLE, A.G. - Genetic effects of spermatogonial X-irradiation on productivity of F1 female mice. *Mutation Res.*, 1964, 1, 99.
18. SEARLE, A.G. et BEECREY, C.V. - Cytogenetic effects of X-rays and fission neutrons in female mice. *Mutation Res.*, 1974, 24, 171.
19. TRIMBLE, B.K. et DOUGHTY, J.H. - The amount of hereditary disease in human populations. *Ann. Human Genet.*, 1974, 38, 199.
20. UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. - Rep. to General Assembly, Official Records : Twenty-first session, Suppl. 14 (A/6314), 1966.
21. UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. Ionizing Radiation : Levels and effects. Rep. to General Assembly with annexes. 2 : Effects. United Nations, New York, 1972.

SAMENVATTING

In een normale menselijke populatie gaan 10 tot 13 % van alle bevruchtin- gen gepaard met chromosoomafwijkingen. Het merendeel ervan gaat verloren in een vroegtijdig afsterven van het embryo; niettemin neemt men aan dat 0,5 - 1 % van de geboren kinderen drager zijn van dergelijke afwijkingen. Als men daarbij nog de genetische gebreken in het genen type voegt, kan men besluiten dat ongeveer 6 tot 10 % van de mensen met erfelijke gene- tische afwijkingen belast zijn. De blootstelling van chemische of fy- sische mutagentia zoals de ioniserende stralen is per definitie een mo- gelijkheid om een toename van deze mutaties te bewerken. In de praktijk echter en hoogst waarschijnlijk wegens allerlei moeilijkheden die in- herent zijn aan elke epidemiologische studie, heeft men tot nog toe bij de mens de genetische uitwerkingen van de ioniserende stralen niet kun- nen aantonen. Daarvoor moet men zich steunen op resultaten uit het ex- perimenteel onderzoek. Aldus moet men aanemen bij wijze van extrapola- tie tot de mens dat 5 rem de maximale significante genetische dosis is die een individu voor de ouderdom van 30 jaar mag ontvangen zonder muta- geen gevaar.

ZUSAMMENFASSUNG

In einer normalen menschlichen Bevölkerung finden sich bei 10 - 13 % al- ler Konzeptionen Chromosomenabnormalitäten. Zwar führen die Meisten da- von zum Abbruch der Schwangerschaft, doch nimmt man an, dass etwa 0,5 - 1,0 % aller lebensfähig geborenen Kinder noch solche Chromosomenabnor- malitäten besitzen. Addiert man zu diesem Wert die durch Genveränderun- gen bedingten Abnormalitäten, so erhält man für die Belastung der Bevöl- kerung mit vererbbaaren genetischen Veränderungen einen Wert von etwa 6 - 10 %. Im Prinzip kann jede Einwirkung chemischer oder physikalischer Mu- tagene wie z.B. ionisierende Strahlen, zu einer Zunahme dieser Muta- tionen führen. In Praxi, hat man bis jetzt noch nie beim Menschen ein- deutig eine genetische Wirkung ionisierender Strahlen feststellen kön- nen, eine Tatsache, die sich wahrscheinlich durch die epidemiologischen Untersuchungen inherenten Schwierigkeiten erklären lässt. Daher muss man zur Abschätzung des Risikos auf experimentelle Untersuchungen am Tier zurückgreifen. Ihre Extrapolation auf den Menschen zeigt, dass eine maximale signifikante genetische Dosis von 5 R vordem Alter von 30 Jah- ren verabfolgt eine ausreichende Sicherheitspanne bietet.

SUMMARY

In a normal human population 10 to 13 % of all detectible conceptions are associated with chromosome anomalies. Most of them will result in prenatal loss but it is generally accepted that chromosome anomalies are observed in about ten per 1,000 live newborn infants. If one consi- der also the gene mutations one must admit that 6 to 10 % of the popu- lation present genetic defects. It is normally expected that exposure to chemical or physical mutagens such as ionizing radiations will re- sult in an increase of the incidence of such mutations. The extensive studies performed on man failed, however, to demonstrate the production of genetic effects by ionizing radiations. The difficulties in performing valid epidemiological studies leave, the- refore, no alternative to using the results obtained with experimental animals. From these results it can be inferred that 5 rem per 30 year reproductive generation (the genetic dose-limit) appears to be safe.

STATUTEN

Goedgekeurd in de samenstellende zitting van 9 april 1963 en gewijzigd in algemene vergadering op 8 februari 1975.

ARTIKEL 1

De Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming heeft tot doel :

- 1.- al de vraagstukken te bestuderen met uitsluitend wetenschappelijk karakter betreffende de bescherming van de individuen en de gemeenschap tegen de gevaren die kunnen voortspruiten uit ioniserende stralingen. Zij zal namelijk de opzoeking van alle aard bevorderen evenals het onderzoek met dit doel ondernomen. Zij zal al de belanghebbende universitaire disciplines omvatten (levensleer - geneeskunde - fysica - chemie - burgerlijke genie - landbouwkunde - recht enz.);
- 2.- door alle middelen bij te dragen tot de studie van de wetenschappelijke aspecten van de bescherming tegen de radioactiviteit, namelijk door een nauwe samenwerking te verwezenlijken tussen al de belanghebbende wetenschappelijke disciplines ;
- 3.- de deelname te vergemakkelijken van België aan de internationale organismen of congressen, die tot doel hebben de bescherming tegen de ioniserende stralingen te verzekeren.

ARTIKEL 2

De Vereniging is samengesteld uit effectieve leden (dragere van een universitaire titel) en van buitengewone leden die geen universitaires zijn maar belang stellen in de problemen van de bescherming tegen radioactiviteit.

ARTIKEL 3

De effectieve leden en de buitengewone leden worden door de Algemene Vergadering verkozen bij volstreckte meerderheid van stemmen van de effectieve leden.

De geheime stemming zal verplichtend zijn iedere maal dat ze door een effectief aanwezig lid zal worden aangevraagd.

De kandidatuur van ieder lid moet voorgedragen worden door twee effectieve leden en op de dagorde van de volgende Algemene Vergadering gemeld.

Alvorens aan de stemming van de Vergadering onderworpen te worden, zal de kandidatuur van de buitengewone leden vooraf en bij eenparigheid moeten aanvaard worden door de leden van het Bureau.

ARTIKEL 4

De jaarlijkse bijdrage wordt, ieder jaar, tijdens de Algemene Vergadering vastgelegd.

ARTIKEL 5

De Vereniging mag in een orgaan, dat zij als aangepast beschouwt, het verslag van de vergadering, de werken en de mededelingen publiceren die in de vergadering werden voorgelegd, na voorafgaandelijke toestemming van het Bureau van de Vereniging.

ARTIKEL 6

De Vereniging wordt geleid door een bestuurscomité samengesteld uit de volgende personen : een voorzitter, een eerste vice-voorzitter (toekomstig voorzitter), een tweede vice-voorzitter (uittredend voorzitter), een secretaris-generaal, een adjunct-secretaris-generaal (toekomstig secretaris-generaal), een penningmeester, een bestendig secretaris. Het bestuurscomité omvat daarenboven ten hoogste nog 12 leden. Daarenboven zullen verschillende raadgevers kunnen toegevoegd worden in de gebieden voorzien in artikel 1, om speciale problemen te bestuderen.

ARTIKEL 7

Het bestuurscomité, samengesteld uit effectieve leden, wordt benoemd voor twee jaar, behalve de secretaris-generaal, die benoemd wordt voor vier jaar, tijdens de Algemene Statutaire Vergadering die zal gehouden worden op de eerste zaterdag van december. Met uitzondering van de voorzitter zijn de uittredende leden onmiddellijk herkiesbaar in dezelfde functie. De verkiezingen hebben plaats met de absolute meerderheid der stemmen van de aanwezige effectieve leden.

Zij zullen bij geheime stemming plaats vinden zo de wens hiertoe wordt uitgesproken door ten minste twee leden.

Ingeval één der functies bij het bestuurscomité vacant is wordt tijdens de eerstvolgende vergadering een vervanger gekozen ter beëindiging van het mandaat van zijn voorganger.

De verkiezing wordt aangekondigd door de gewone weg van oproeping.

ARTIKEL 8

Het bestuurscomité heeft volmacht om de vergaderingen samen te roepen.

Het aantal vergaderingen mag niet minder zijn dan drie per jaar.

Een Buitengewone Algemene Vergadering moet bijeen geroepen worden binnen de dertig dagen, op schriftelijke aanvraag, getekend door tien effectieve leden.

De voorzitter en de penningmeester zullen hun verslag over het afgelopen dienstjaar voorstellen op de Algemene Statutaire Vergadering in december.

ARTIKEL 9

Al de kwesties die in de tegenwoordige statuten voorzien zijn worden door het Bureau afgehandeld, dat zijn beslissing zal onderwerpen aan de goedkeuring van de Algemene Statutaire Vergadering.

ARTIKEL 10

Over de wijzigingen aan de huidige statuten kan slechts een beslissing genomen worden door de Algemene Statutaire Vergadering van december met 2/3 meerderheid van de aanwezige leden.

De oproeping zal moeten vergezeld zijn van de tekst van de voorgestelde wijzigingen.

STATUTS

Approuvés en séance constitutive, le 9 avril 1963 et modifiés en assemblée générale, le 8 février 1975

ARTICLE PREMIER

L'Association belge de Radioprotection a pour but :

- 1.- d'étudier toutes les questions de caractère exclusivement scientifiques, relatives à la protection des individus et des collectivités, contre les dangers pouvant résulter des radiations ionisantes. Elle favorisera notamment les recherches de toute nature ainsi que les enquêtes entreprises dans ce but et couvrira toutes les disciplines universitaires intéressées (biologie, médecine, physique, chimie, génie civil, agronomie, droit, etc) ;
- 2.- de contribuer, par tous les moyens, à l'étude des aspects scientifiques de la radioprotection, notamment par une collaboration étroite de toutes les disciplines scientifiques intéressées ;
- 3.- de faciliter la participation de la Belgique à des organismes internationaux ou à des congrès ayant pour objet la protection contre les radiations ionisantes.

ARTICLE 2

L'Association se compose de membres effectifs, détenteurs d'une qualification universitaire, et de membres associés non universitaire mais intéressés par les problèmes de radioprotection.

L'Assemblée Générale, sur proposition du Bureau, peut conférer le titre de Président d'Honneur et de Membre d'Honneur.

ARTICLE 3

Les membres effectifs et les membres associés sont admis, par l'Assemblée Générale, à la majorité absolue des membres effectifs présents.

Le vote par scrutin secret sera obligatoire chaque fois qu'il sera demandé par un membre effectif présent.

Toute candidature de membre doit être présentée par 2 membres effectifs et annoncée à l'ordre du jour de l'Assemblée Générale suivante.

Avant d'être soumise au vote de l'Assemblée, la candidature des membres associés aura dû être préalablement admise par l'unanimité des membres du Bureau.

ARTICLE 4

La cotisation annuelle est fixée, chaque année, lors de l'Assemblée Générale.

ARTICLE 5

L'Association pourra publier, dans un organe qu'elle jugera approprié, le compte rendu des séances et les travaux et communications qui auraient été présentées devant l'assemblée, après approbation préalable du Bureau de l'Association.

ARTICLE 6

L'Association est dirigée par un Bureau composé des personnes suivantes : un président, un premier vice-président (futur président), un deuxième vice-président (président sortant), un secrétaire général, un secrétaire général adjoint (futur secrétaire général), un trésorier, un secrétaire permanent.

Le Bureau compte en outre 12 membres au maximum. De plus, il pourra s'adjoindre divers conseillers dans les disciplines prévues à l'article premier, pour étudier des problèmes particuliers.

ARTICLE 7

Le Bureau composé de membres effectifs est nommé pour deux ans, sauf le Secrétaire Général qui est nommé pour 4 ans, par l'Assemblée Générale Statutaire qui se tiendra le 1er samedi de décembre.

A l'exception du Président, les membres sortant sont immédiatement rééligibles à la même fonction.

Les élections ont lieu à la majorité absolue des voix des membres effectifs présents. Elles se feront au scrutin secret si le voeu en est exprimé par deux membres au moins.

En cas de vacance de l'une des fonctions de membre du Bureau, il est procédé lors de la plus prochaine Assemblée, à l'élection d'un rempla-

çant. Le nouveau membre achève le mandat de son prédécesseur. L'élection est annoncée par la voie ordinaire des convocations.

ARTICLE 8

Le Bureau a pleins pouvoirs pour convoquer les assemblées. Le nombre de réunions ne peut être inférieur à 3 par an. Une Assemblée Générale extraordinaire doit être convoquée dans les 30 jours, à la demande écrite, signée par 10 membres effectifs.

Le Président et le Trésorier présenteront leur rapport sur l'exercice écoulé à l'Assemblée Générale Statutaire de décembre.

ARTICLE 9

Toutes les questions non prévues par les présents statuts sont tranchées par le Bureau qui soumettra sa décision à la ratification de l'Assemblée Générale Statutaire.

ARTICLE 10

Les modifications aux présents statuts ne peuvent être décidées que par l'Assemblée Générale Statutaire de décembre à la majorité des 2/3 des membres présents.

La convocation devra être accompagnée du texte des modifications proposées.

| | | |
|-----------------------------|---|----------------------------|
| Ere-voorzitter | Dr. S. HALTER | Président d'honneur |
| Oud-voorzitters | Dr. S. HALTER M. G. ANDRE M. J. HOSTE Dr. A. LAFONTAINE Dr. M. FAES Dr. P. DE PLAEN | Anciens Présidents |
| Bestuur 1975-1976 | | Bureau 1975-1976 |
| Voorzitter | O. SEGAERT | Président |
| Vice-voorzitters | P. DE PLAEN A. OSIPENCO | Vice-Présidents |
| Secretaris generaal | R. BOULENGER | Secrétaire Général |
| Adjunct secretaris generaal | M. FAES | Secrétaire Général adjoint |
| Permanente secretaresse | C. STIEVENART | Secrétaire permanent |
| Schatbewaarder | G. CANTILLON | Trésorier |
| Leden | J. DELHOVE E. DETILLEUX L. de THIBAULT de BOESINGHE W. FEREMANS J. GARSOU R. GILLET M. GUEBEN E.H. HUBERT J. MAISIN R. NUYS F. VERHEYEN | Membres |

LISTE DES MEMBRES - LEDENLIJST - 1976

| | |
|-----------------------------------|---|
| ALDERHOUT J. (EURO) | Luxemburglaan 5, 2440 Geel (Chim) |
| ALLEWAERT J. | Ridder de Ghellincklaan 6, 9820 St. Denijs Westrem (Dr. Sc.) |
| ANDRE G. (UM) | Rue Marianne 40, 1180 Bruxelles (Ing.) |
| ANSAY J. | Square Marie Louise 58, 1040 Bruxelles (Dr) |
| APERS D. (UCL) | Naamsesteenweg 507, 3030 Heverlee (Prof.) |
| BALLAUX J. (CoRaPro) | Fruithoflaan 6, 2600 Berchem (Chim) |
| 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.) |
| BAUDUIN J.C. (MDN) | Willemstraat 38, 1800 Vilvoorde (Ing) |
| BAUGNET J.M. (CEN) | Boeretang 240, 2400 Mol (Ing.) |
| BAUWENS M. | Mgr. Van Haernelaan 54, 8500 Kortrijk (Dr) |
| BERCKMANS S. (CEN) | Ispralaan 16, 2400 Mol (Ass.) |
| BERCY A. (ULg) | Rue Trieu du Charney 50, 6300 ACOZ (Dr.) |
| BEUMIER A. (UCL) | Place E. Keym 43, Bte 17, 1170 Bruxelles (Math) |
| BODART F. (Fac.Un.Namur) | Rue Deprez 5, 5004 Bouge (Phys.) |
| BODSON N. | Quai Gloesener 5, 4000 Liège (Dr.) |
| BONNET M.P. (Nucleobel) | Rue J. Vanderlinden 9, 1180 Bruxelles (Ing) |
| BOSSUT M. | Engelselaan 6, 1990 Hoeilaart (Dr.) |
| BOULENGER R. (CoRaPro) | Villa 15, Boeretang 284, 2400 Mol (Phys.) |
| BOUQUIAUX J. (MSP) | Square Marie-Louise 56, 1040 Bruxelles (Chim) |
| BOURDA Z. (RUG) | Gordunakaai 18, 9000 Gent (Dr.) |
| BURTHERET J. (Cent.Nucl. Tihange) | Rue Bonne Espérance 40, 5201 Tihange (Ing.) |
| CANTILLON G. (MSP) | Bd.Brand Whitlock 142, 1200 Bruxelles (Pharm.) |
| CAUSSIN J. (UCL) | Avenue Gribaumont 126, 1200 Bruxelles (Ass) |
| CLASENS R. (Nucl'ex) | B.P. 38, 8460 Koksijde (Arch.) |

| | |
|--------------------------------|--|
| CLOSON J. (ULg) | Route de Herve 504, 4030 Grivegnée (Dr.) |
| COLARD J. (CEN) | 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. | Rue du Sanatorium 69, 6001 Marcinelle (Dr.) |
| CREVECOEUR M. | Boulevard Piercot 18, 4000 Liège (Dr.) |
| CROONENBERGHS P. | Av. de la Vecquée 32, 5000 Namur (Dr.) |
| CULOT J.P. (CoRaPro) | Kuilstraat 50, 2480 Dessel (Phys.) |
| DANCOT H. (Bordet) | Rue Meyerbeer 24, 1180 Bruxelles (Dr.) |
| DEBACKER J. (RUG) | Coupure 173, 9000 Gent (Dr.) |
| DEBAUCHE A. (UCL) | Rue St. Lambert 17A, 5880 Tourinnes St. Lambert (Phys.) |
| DE BEUCKELAER C. (CGR Benelux) | Herentalsebaan 71, 2100 Deurne (Dr.Sc.) |
| DEBRY A. (MDW) | Walsebaan 57, 1980 Tervuren (Dr.) |
| DECERF A. | Rue de Campine 92, 4000 Liège (Ing.) |
| DECHAMPS L. (UM) | Avenue du Manoir 56, 1180 Bruxelles (Ing.) |
| DECKERS C. | St.Jansbergsteenweg 303, 3030 Heverlee (Dr.) |
| DECLERK A. (KUL) | Snepedreef 12, 8200 Brugge (Dr.) |
| DEFAYS F. | Rue Borguet 13, 5000 Namur (Dr.) |
| DE HEEM L. (Ass.Vinçotte) | Association Vinçotte, 1640 Rhode St. Genèse (Ing.) |
| DEHON S. | Av. d'Overhem 38, 1180 Bruxelles (Phys.) |
| DEJONGHE P. (CEN) | Boeretang 262, 2400 Mol (Agr.) |
| DELANDTSHEER A. | Rue Washington 87, 1050 Bruxelles (Dr.) |
| 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. | Av. des Tourterelles 8, 1950 Kraainem (Ing.) |
| DEMERRE A. (UM) | Avenue des Volontaires 166, 1040 Bruxelles (Dr.) |
| DEMULDER R. (MBLE) | Rue des Deux-Gares 80, 1070 Bruxelles (Dr.) |

- DUQUENNE-FONTENELLE (Mme) (FN) Av. de l'Observatoire 64, 4000 Liège (Ing.)
 DUSONG M. (Electrobel) Roeselaerstraat 2, 9562 St. Antelinks(Ing.)
 DUYCKAERTS G. (ULg) Institut de Chimie, Université de Liège
 au Sart Tilman, 4000 Liège, (Chim.)
- EGGERMONT G. (RUG) R. Soenenspark 31, 9820 St.Denijs-Westrem
 (Dr.Sc.)
- EYLENBOSCH W. (RUG) St. Salvatorstraat 102, 9000 Gent (Dr.)
- FAES M. (Simetha) Fazantendreef 13, 2850 Keerbergen (Dr.)
 FEREMANS W. (ULB) Av. de Walzin 9, 1180 Bruxelles (Dr.)
 FIEUW G. (CEN) Boeretang 233, 2400 Mol (Ing.)
 FISCHER J. (C.G.R.) Rue du Roetaert 72, 1180 Bruxelles (Ass.)
 FOSSOUL E. (BN) Avenue d'Huart 221, 1950 Kraainem (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.)
 GHOOS L. (CoRaPro) De Heuvels 16, 3998 Vorst-Kempen (Ing.)
 GILLET R. (UCL) 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-
 Genèse, (Ing.)
- GOOSENS H. (MMN) Leopoldlaan 25, 2400 Mol (Ing.)
 GOUTIER R. (ULg) Boulevard de la Constitution 32,4000Liège
 (Dr.)
- GUEBEN M.(Cent.Nucl.Tihange) Avenue de l'Europe 2, 5200 Huy (Ing.)
 GUILLAUME J. (ULg) Rue de la Concorde 2, 4030 Grivegnée (Ass)
- HACCURIA G. (Controlatom) Rue de la Faille 13, 4000 Liège (Ass.)
 HALLEUX O. (Balteau) Rue de Verviers 25, 4000 Liège (Ing.)
 HALTER S. (MSP) Chaussée de Gand 1116, 1080 Bruxelles(Dr.)
 HENRIST M. (ULg) Rue Prof. Mahaim 3, 4200 Ougrée, (Phys.)

| | |
|----------------------------------|---|
| DEMUYNCK G. | Lange Rei 5, 8000 Brugge (Dr.) |
| DE NAYER F. | Jachtlaan 37, 1040 Brussel (Dr.) |
| DE PLAEN P. | Av. de la Couronne 1G, 1050 Bruxelles(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.(ITSE) | Koudenaerdestraat 43, 1710 Dilbeek (Chim.) |
| DESCAMPS C.(BN) | Rue du Saphir 34, 1040 Bruxelles (Ing.) |
| DE SCHREIDER A. (MAEE) | Av. George Bergmann 122, 1050 Bruxelles (Chim.) |
| 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-COOLEN M.L.(Mme) | Av. Louis Lepoutre 44, 1060 Bruxelles(Dr.) |
| DETROY F.(MH) | Metallurgie Hoboken, 2430 Olen (Dr.Sc.) |
| DETROYER A. (UM) | Chaussée de Wavre 229, 3030 Heverlee (Phys) |
| DEVLESAVER C. | Rue de Turenne 44, 6000 Charleroi (Dr.) |
| DEVREUX J. (UM) | Rue Charles Pas 7, 1160 Bruxelles(Ing.) |
| DEWULF L. (RUG) | St. Denijsstraat 4, 9820St.Denijs-Westrem (Dr.) |
| D'HONT M. (KUL) | Retiesteenweg 67, 2440 Geel (Chim.) |
| DIERICK W. (RUG) | Pres.F.D.Rooseveltlaan 199, 9000 Gent(Dr.) |
| DIERKENS F.(Centre &Sud) | Av. Winston Churchill 163, 1180 Bruxelles (Ing.) |
| DOPCHIE H.(Ass. Vinçotte) | Av. G. Abeloos 7, 1200 Bruxelles (Ing.) |
| DOR L. | Route de Philippeville 11, 6270 Loverval (Dr.) |
| DOYEN R. (Cent.Nucl.Tihange) | Rue de l'Industrie 1, 5201 Tihange (Ing.) |
| DRESSE H.(Electrobel) | Warandeborg 47, 1970 Wezembeek-Oppem(Ing) |
| DREZE P.(Camira) | Rue J. Delhaye 11, 5001 Belgrade (Chim) |
| DROISSART (UM) | Rue Konkel 29, 1150 Bruxelles (Math.) |
| DULCINO J.(CEN) | Beemdenstraat 4, 2300 Turnhout (Chim.) |
| DUMONT G. (UM) | Rue Demolder 11, 1341 Ceroux-Mousty(Ing.) |
| DUNJIC A.(UCL) | UCL Faculté Médecine RBLG/5479, 1200 BRUXELLES (Dr.) |

| | |
|----------------------|---|
| HENRY F. | Av. Père Damien 88, 1150 Bruxelles (Dr.) |
| HENRY J. | Av. Defré 267; 1180 Bruxelles (Dr.) |
| HENSGENS J. (ACEC) | ACEC Division Nucléaire, 6000 Chareroi(Ing) |
| HERREGODS M. (IWONL) | Hoegaardsesteenweg 85, 3371 Honsem-Opvelp (Agr.) |
| HERVE A. | Rue Nysten 7, 4000 Liège (Dr.) |
| HEUSGHEM C. (ULg) | Rue des Bonnes Villes 1, 4000 Liège (Pharm) |
| HOLVOET A. | Groeningebaam 44, 8500 Kortrijk (Dr.) |
| HOSTE J. (RUG) | Instituut voor Nukleaire Wetenschappen, Rijksuniversiteit Gent, Proeftuinstraat 80 9000 Gent, (Chim.) |
| HUBERT E.H. (UEEB) | Avenue de Tervueren 225, Bte 7, 1150 Bruxelles (Ing.) |
| HUBLET P. (MET) | Rue Kindermans 14, 1050 Bruxelles (Dr.) |
| JACOBS R. (RUG) | Grotenbroek 40, 9745 Semmerzake (Dr.Sc.) |
| JACQUEMIN R. (IRE) | Av. de la Pairielle 20, 6269 Roselies(Ass.) |
| JANSSENS A. (RUG) | Termstraat 24, 9270 Laarne (Phys.) |
| JOLIVET A. (CEE) | Av. de Walzin 9, 1180 Bruxelles (Dr.) |
| JONARD F. | Rue Blondeau 5, 5000 Namur (Dr.) |
| JOVANOVIC D. (UCL) | Tiensesteenweg 92, 3040 Korbeek-Lo(Dr.) |
| KETELERS R. (CEN) | Kasteelplein 40, 2300 Turnhout (Ass.) |
| KEUSTERS J. | Ganzendries 33, 3041 Pellenberg (Dr.) |
| KEYEUX A. (UCL) | Rue des Wallons 28, 1348 Louvain-la- Neuve (Dr.) |
| KIPFER P. (ULB) | Rue Emile Banning 89, 1050 Bruxelles(Phys) |
| KIRCHMANN R. (CEN) | Rue Cardinal Cardijn 5, 4480 Dupeye (Agr.) |
| KOCH G. (CEN) | Boeretang 234, 2400 Mol (Chim.) |
| LACROIX A. (CEN) | Boeretang 278-B6, 2400 Mol (Ass.) |
| 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.) |
| LECOCQ L. (ULB) | Av. de la Jonction 15, 1060 Bruxelles(Ing.) |
| LEGROS R. (MSP) | Quai de Rome 47, 4000 Liège (Dr.) |
| LEJEUNE P. (MSP) | Av. Commandant Lothaire 50, 1040 Bruxelles (Dr.) |
| LEJEUNE S. (ULB) | Av. des Phalènes 35, Bte 4, 1050 Bruxelles (Ing.) |
| LEMAHIEU S. | Freren Fonteinstraat 8, 8000 Brugge (Dr.) |
| LEMAIRE M. (Melle) | Rue Colson 31, 4431 Loncin (Dr.) |
| LEROUX G. (ULg) | Rue Laurent de Koninck 14, 4000 Liège(Dr.) |
| LEROY R. (CEN) | Boeretang 231, 2400 Mol (Ass.) |
| LESCOT J.P. (Sabena) | Service Médical, Aérodrôme National, 1930 Zaventem (Dr.) |
| LINCHET G. (UCL) | Chaussée de Louvain 425, 1328 Ohain (Dr.) |
| LION G. | Av. des Châtaigniers 10, 1150 Bruxelles(Dr) |
| LUJA M. | H. Consciencelaan 3,,8401 Bredene (Dr.) |
| LUYKX F. (CEE) | Commission des Communautés Européennes Protection Sanitaire, 29 Rue Aldringer, Luxembourg, Grand-Duché (Ing.) |
| MAES G. (Simetha) | Steenweg op Antwerpen 78, 2300 Turnhout(Dr) |
| MAISIN H. | Rue de Grez, 5989 Bossut-Gottechain (Dr.) |
| MAISIN J. (CEN) | Radiobiologie CEN-SCK, 2400 Mol (Dr.) |
| MAMBOUR C. (Controlatom) | Rue Sainte Anne 34, 6238 Luttre (Ass.) |
| MARLEIN J. (CEN) | St. Paulusstraat 9A, 2400 Mol (Ass.) |
| MARTIAL A. (ULg) | Rue Saint Laurent 193, 4000 Liège (Ass.) |
| MARTIN C. (Sabena) | Steenweg Haacht 37, 1920 Diegem (Ing.) |
| MASSCHELEIN W. (CIBE) | Av. des Tourterelles 32, 1150 Bruxelles (Dr.Sc.) |
| MASSE A. (MAEE) | Av. du Domaine 37, 1190 Bruxelles(Ing.) |
| MERCHIE G (ULg) | Quai Mativa 7, 4000 Liège (Dr.) |
| MERCKX R. (Gevaert) | Gevaert-Agfa N.V., 2510 Mortsel(Dr.) |
| MICHAUX J. | Chaussée de Châtelet 59, Bte 2, 6060 Gilly (Dr.) |
| MILLET M (ULB) | Rue Hollebeek 71, 1630 Linkebeek (Dr.) |
| MINET P. | Rue du Vieux Mayeur 2, 4000 Liège(Dr.) |

| | |
|--|---|
| MOERMAN J. (RUG) | Holeinde, 9288 Kalken (Dr.) |
| MOTTE F. (CEN) | Molderdijk 154, 2400 Mol (Ing.) |
| NICOLAY N.L. (MDN) | 24 Les Colir, 1440 Braine le Château(Ing.) |
| NORDVIK N. (SNCB) | Av. de Tervueren 116, 1040 Bruxelles (Dr.) |
| HUYTS R. (MET) | A. Drouartlaan 32, 1160 Brussel (Ing.) |
| OSIPENCO A. (EURO) | Boeretang 263, 2400 Mol (Ing.) |
| OUVRARD R. (Min.Santé Publique France) | Route de Morières 54, 84000 Avignon, France (Ass.) |
| PAHAUT J. | 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.) |
| PETY de THOZEE G. (CEN) | Boeretang 204/12, 2400 Mol (Ing.) |
| PIRET P. (ULg) | Rue Wazon 98, 4000 Liège (Ing.) |
| PIRON A. (Bordet) | Av. des Ménestrels 100, 1080 Bruxelles (Phys.) |
| POCHET A. | Av. Prés. Wilson 43, 75116 Paris, France (Pharm.) |
| POMA K. | Kerkelei 40, 2610 Wilrijk (Chim.) |
| POSKIN M. (BN) | Av. Marie la Misérable 11, 1150 Bruxelles (Ing.) |
| RANSBOTYN J. (UCL) | Av. Vanden Thoren 30, 1160 Bruxelles(Ing.) |
| RECHT P. (CEE) | Bd Général Jacques 30, 1050 Bruxelles(Dr.) |
| RODERBOURG J. | Av. George Bergmann 122A, 1050 Bruxelles (Agr.) |
| ROGGEN G. (ULB) | Avenue Jupiter 87, 1190 Bruxelles (Dr.) |
| ROMBOUTS Y. (Mevrouw) | Potaerdenbergstraat 339, 1070 Brussel (Dr.) |
| ROOSE J. | Ph. Devosstraat 19, 1710 Dilbeek (Ing.) |
| SCHONKEN P. (KUL) | Vengerstraat 57, 3040 Korbeek-Lo (Chim.) |
| SEGAERT O. (RUG) | Beukenlaan 44, 9820 St. Denijs-Westrem (Phys.) |
| SIMON S. (Melle) | Av. de l'Université 49, 1050 Bruxelles(Dr.) |
| SMEETS J. (CEE) | Op der Dresch, Bridel, Grand-Duché (Agr.) |

| | |
|--|--|
| SMONS A. (ULg) | Quai de la Dérivation 23, 4000 Liège(Chim.) |
| STALLAERT P. (MET) | Molenstraat 38, 9360 Buggenhout (Ing.) |
| STANER P. (BN) | Bd Frère Orban 7, Bte 101, 4000 Liège(Agr.) |
| STIEVENART-GODEAU C.(Mme) | Av. A. Huysmans 206, Bte 10; 1050 Bruxelles (Phys.) |
| TASNIER A. | Miksebaan 81, 2130 Braschaat (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 BENEDEN J. (ULg) | Institut d'Hygiène, Place Delcour 16, 4000 Liège, (Dr.) |
| VAN BOSSTRAETEN C. (CEN) | Frankrijklaan 10, 2440 Geel (Ing.) |
| VAN CRAENENBROECK W. (AWW) | Varenstraat 18, 2560 Rumst (Dr.Sc.) |
| VAN DAM J. (St.Rafael Leuven) | Dienst Radiotherapie B, Academisch Zieken- huis St. Rafael, 3000 Leuven (Phys.) |
| VAN DAMME R. (MAEE) | Felix Delhassestraat 12, 1060 Brussel(Ing.) |
| VAN DEN DAMME R. (Intercom-Electrobel) | Place du Trône 1, 1000 Bruxelles (Ing.) |
| VAN DEN WINKEL P. (VUB) | Ninoveteenweg 2, 9440 Erembodegem(Dr.Sc.) |
| VANDERBECKEN F. | Av. Winston Churchill 195, 1180 Bruxelles (Dr.) |
| VAN DER BORGHT O.(CEN) | Kraaibossen 25, 2440 Geel, (Dr.Sc.) |
| VAN DER STRICHT E. (CEE) | Commission des Communautés Européennes, Contrôle de Sécurité, Rue Aldringer, Luxembourg, Grand-Duché (Chim.) |
| VAN ELEGEM P. (ULB) | Rue Franz Merjay 133, 1060 Bruxelles (Ass.) |
| VAN ELST P. (Henricot) | Rue de l'Eglise 7A, 1482 Couture- St. Germain, (Dr.) |
| VAN GIJSEL T. | de Gerlachestraat 12, 3500 Hasselt (Dr.) |
| VAN HOORNE M (RUG) | Nekkersberglaan 702, 9000 Gent (Dr.) |
| VAN MALDER M. (Controlatom) | de Rivierendreef 87, 1080 Brussel (Ass.) |
| VAN MEIRHAEGHE A.(RUG) | Stationstraat 23, 9000 Gent (Dr.) |
| VAN MIERLO F. (CEN) | Maria van Zimmerenstraat 27, 2300 Turn- hout (Ass.) |

| | |
|--------------------------------------|--|
| VAN MULDER J. (Traction Electricité) | Av.J. et P. Carsoel 80, 1180 Bruxelles (Ing.) |
| VAN ROY R. (SNCB) | Av. Béosier 6, 3200 Kessel-Lo (Dr.) |
| VAN VAERENBERGH P. (RUG) | Warandedreef 10, 9830 Deurle (Dr.) |
| VEREecken J. (Philips) | Pl. de Brouckère 2, 1000 Bruxelles(Ing.) |
| 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.) |
| ZALCMAN R. | Rue de Pavie 19, 1040 Bruxelles (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 | Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire - SCK - Studie Centrum voor Kernenergie |
| CoRaPro | Contrôle Radioprotection |
| EURO | Eurochemic |
| IRE | Institut National des Radioéléments - Nationaal Instituut voor radio-elementen |
| ITSE | Institut Supérieur de l'Etat pour les Sciences nucléaires appliquées - Hoger Rijksinstituut voor kernenergiebedrijven. |
| IWONL | IRSIA |
| KUL | Katholieke Universiteit Leuven |
| MAEE | Ministère des Affaires Economiques et de l'Energie - Ministerie van Economisch Zaken en Energie |

| | |
|------|---|
| MBLE | Manufacture Belge de Lampes et de Matériel Electronique |
| MDN | Ministère de la Défense Nationale - Minitérie van de Landverdediging |
| MET | Ministère de l'Emploi et du Travail - Ministerie van Tewerkstelling en Arbeid |
| MH | Metallurgie Hoboken |
| MMN | Metallurgie et Mécanique Nucléaire - Kernmetallurgie en -mechanica |
| 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 |
| Math. | Diplôme en Mathématiques - Diploma in Wiskunde |
| Pharm. | Pharmacien - Apotheker |
| Phys. | Diplôme en Sciences Physiques - Diploma in de Natuurkunde |

OVERZICHT VAN EERDERE PUBLICATIES VAN DE BELGISCHE VERENIGING VOOR
STRALINGSBESCHERMING -

APERCU DES PUBLICATIONS ANTERIEURES DE L'ASSOCIATION BELGE DE
RADIOPROTECTION -

Publicaties in Belgicatom - Publications dans Belgicatom :

LAFONTAINE A., "Commentaire sur le Règlement Général de la Protection de la Population et des Travailleurs contre les Radiations ionisantes", Belgicatom, février 1964.

BOULENGER R.R., "Organisation du Contrôle Physique au C.E.N. à Mol", Belgicatom, février 1964.

HENRY J., "Problèmes de radiobiologie impliqués dans l'utilisation des radioisotopes", Belgicatom, avril 1964.

DE JONGHE P., "Problèmes relatifs au traitement des effluents radioactifs", Belgicatom, avril 1964.

VERLY W., "Journée de la Radioprotection, introduction théorique", Belgicatom, août 1964.

LEONARD A., "Journée de la Radioprotection - Effets génétiques et effets sur le fœtus", Belgicatom, octobre 1964.

DUNJIC A., "Journée de la radioprotection - Action sur la longévité", Belgicatom, décembre 1964.

MAISIN H., "Journée de la Radioprotection - Les irradiations locales", Belgicatom, décembre 1964.

MEWISSEN, "Journée de la Radioprotection - Dose résiduelle effective", Belgicatom, décembre 1964.

CLOSON J., "Journée de la Radioprotection - Effets aigus (de 1 à 60 jours)", Belgicatom, avril 1965.

MALDAGUE P., "Journée de la Radioprotection - Action cancérogène", Belgicatom, avril 1965.

BACQ Z., "Journées de la Radioprotection - Conclusions", Belgicatom, avril 1965.

GERBER et ALTMAN, "Diagnostic des lésions radiologiques et excrétion des acides aminés", Belgicatom, juin 1965.

LAFONTAINE A., "Principes de la réglementation du point de vue médical général", Belgicatom, août 1966.

Publicaties in het Belgisch Tijdschrift voor Radiologie -(mededelingen)
 Publications dans le Journal Belge de Radiologie (communications) :

- BOULENGER R.R., "Introduction au problème de contamination en radioprotection", Journal Belge Radiologie, 50 4 (1967) 291, (1e Série).
- LAFONTAINE I., "Quelques considérations concernant les risques de contamination radioactive interne des travailleurs et les moyens de sa prévention", J.belge Radiol., 50 4 (1967) 293, (1e Série)
- COLARD J., "Mesure des doses d'irradiation interne par spectrométrie", J.belge Radiol., 50 4 (1967) 304, (1e Série).
- HALLEUX O., "La protection des travailleurs dans les utilisations industrielles des rayons X", J.belge Radiol., 50 4 (1967) 312, (1e Série).
- RECHT P., "Normes de base et nouvelles conceptions de la C.I.P.R.", J.belge Radiol. 50 4 (1967) 318, (1e Série).
- LUYKX F.F., "Methodes voor het meten van individuele doses bij uitwendige bestraling", J.belge Radiol. 50 4 (1967) 325, (1e Série)
- CLAES F.H., DE ROECK J., "Het meten van geabsorbeerde stralingsdosissen" J.Belge Radiol. 51 1 (1968) 29, 2e Série.
- ADAMS F., "Bereiding en eigenschappen van Germanium detectoren voor gamma spectrometrie", J.belge Radiol., 51 1 (1968) 40, (2e Série).
- BOULENGER R.R. , GHOS L., "Dosimétrie par films et dosimètres de criticité", J.belge Radiol. 51 3 (1968) I, (3e Série).
- SEGAERT O., "Fotografische stralingsdosimetrie. De A.E.R.E. - R.P.S. filmdosimeter", J.belge Radiol. 51 3 (1968) XIV, (3e Série).
- MAISIN J.R., "Métabolisme et toxicité du plutonium", J. belge Radiol. 51 5 (1968) 274, (4e Série).
- DULCINO J., KOCH G., "Estimation de la contamination interne en plutonium au moyen de l'analyse physico-chimique des excreta", J.belge Radiol. 51 5 (1968) 284, (4e Série).
- PENELLE G., "Considérations générales sur la prévention des accidents de criticité", J. belge Radiol. 51 5, (1968) 291, (4e Série).
- BOESCH T., HUNZINGER W. et OSZUSZKY F., "Criticality aspects at Eurochemic", J.belge Radiol. 51 5 (1968) 297, (4e Série).
- FIEUW G., "Kontrolle van de zones in de installaties waar plutonium behandeld wordt. De stralingsbescherming", J. belge Radiol. 52 1 (1969) I, (5e Série).
- de MAERE d'AERTRYCKE X., "Quelques aspects du contrôle de l'environnement d'installations nucléaires", J.belge Radiol. 52 1 (1969) VII, (5e Série).
- OSIPENCO A., "Le contrôle de l'environnement du C.E.N. à Mol", J.belge Radiol. 52 1 (1969) XIII, (5e Série).
- DELHOVE J., "Etude des aspects radiologiques liés à la fabrication et à l'utilisation des paratonnerres radioactifs", J.belge Radiol. 52 5 (1969) II, (7e Série)

- BUGYAKI L., "L'innocuité des denrées alimentaires irradiées. Leur contrôle et identification ainsi que la législation relative à leur utilisation", J. belge Radiol. 52 3 (1969) II, (6e Série).
- LEJEUNE S., "Adaptation des installations médicales aux normes de radioprotection", J. belge Radiol. 52 5 (1969) VIII, (7e Série).
- GARSOU J., "Dosimétrie de radioprotection en contactthérapie X", J. belge Radiol. 52 5 (1969) XXIII, (7e Série).
- SCHIETEWATTE, "Huidige mogelijkheden in radiosterilizatie", J. belge Radiol. 53 1 (1970) 43, (8e Série).
- COLARD J., "La radioprotection dans les installations où le plutonium est manipulé. Mesure de la contamination des personnes". J. belge Radiol. 53 1 (1970) 56, (8e Série).
- EGGERMONT G., MASOOD A., JACOBS R. et SEGAERT O., "CaSO₄ - Mn dosimetry in dental X-ray diagnosis", J. belge Radiol. 53 3 (1970) 212, (9e Série).
- EGGERMONT G., DECRAEMER W., SEGAERT O. et JACOBS R., "Kritikaliteitsdosimetrie door activatiemetingen", J. belge Radiol. 53 3 (1970) 219, (9e Série).
- RECHT P., "Coopération européenne dans le domaine de la radioprotection", J. belge Radiol. 53 3 (1970) 229, (9e Série).
- MCLEAN A.S., "Development of chromosomal studies in relation to the dosimetry of acute and chronic radiation exposure", J. belge Radiol. 53 5 (1970) 387, (10e Série).
- ANDRE G., "Ce qu'il faut savoir de la réglementation du transport des matières radioactives", J. belge Radiol. 53 5 (1970) 397, (10e Série).
- DELWAIDE P.A., "Contrôle des contaminations internes au moyen d'un Whole-Body Counter de géométrie 4π", J. belge Radiol. 53 5 (1970) 405, (10e Série).
- BESSUGES, "Surveillances médicale des travailleurs dans un centre de stockage de déchets radioactifs", J. belge Radiol. 54 1 (1971) 101, (11e Série).
- LAFONTAINE I., "Perspectives d'utilisation de plutonium en 1970", J. belge Radiol. 54 1 (1971) 111, (11e Série).
- SIMON S., "Incidence des leucémies tardives survenant chez des malades cancéreux irradiés", J. belge Radiol. 54 1 (1971) 119, (11e Série).
- CANTILLON G., "Bilan de six années de recherches dans la radiocontamination des aliments", J. belge Radiol. 54 3 (1971) 433, (12e Série).
- GILLET R., REGIBEAU A., "La scintigraphie en milieu liquide. Techniques et applications en radioprotection", J. belge Radiol. 54 3 (1971) 441, (12e Série).
- DE PLAEN P., "La radioprotection du patient en radiodiagnostic : introduction - le risque radiologique", J. belge Radiol. 54 6 (1971) 711, (13e Série).

- BLEUCKX R., "Radioprotection du patient en radiodiagnostic : protection du patient contre les radiations -Appareils pour le radiodiagnostic. Principes techniques et leur contribution dans la protection du patient contre les radiations", J. belge Radiol. 54 6 (1971) 715, (13e Série).
- DELHOVE J., "Radioprotection du patient en radiodiagnostic : contrôle des installations de radiodiagnostic X sous l'aspect de la réduction de dose aux patients", J. belge Radiol. 54 6 (1971) 721, (13e Série).
- BOULENGER R.R., "Radioprotection du malade en radiodiagnostic: Choix des dosimètres", J. belge Radiol. 54 6 (1971) 727, (13e Série).
- DAMS R., "Studie van de anorganische samenstelling der pollutie-aerosols met behulp van niet destructieve aktiveringsanalyse", J. belge Radiol. 54 6 (1971) 735, (13e Série).
- KIRCHMANN R. VAN DEN HOEK J., "Le tritium dans la biosphère et son transfert dans la chaîne alimentaire", J. belge Radiol. 55 2 (1972) 233, (14e Série).
- VAN DER BORGHT O., "Experimentele studie over de biologische beschikbaarheid van een zwaar metaal, het rutenium in laboratoriumvoorwaarden", J. belge Radiol. 55 2 (1972) 243, (14e Série).
- GOUTIER R., "Lésion cellulaires induites par des sources de radiations externes et internes", J. belge Radiol. 55 2 (1972) 253, (14e Série)
- CLAUS D., GILLET R. et WAMBERSIE A., "Radiologie pédiatrique et irradiation", J. belge Radiol. 55 2 (1972) 263, (14e Série).
- VAN ELEGEM P., BRUNFAUT C et LEJEUNE S., "Dosimétrie en radiodiagnostic" J. belge Radiol. 55 2 (1972) 271, (14e Série).
- DELHOVE J., "Premiers résultats du contrôle des installations de radiologie médicale en vue de l'agrément par le Ministère de la Santé Publique", J. belge Radiol. 55 2 (1972) 285, (14e Série).
- VAN DAM J., "Dosimétrie in vivo met thermoluminescentie bij patiënten behandeld met hoogenergetische elektronen", J. belge Radiol. 55 2 (1972) 293, (14e Série).
- CARPAIJ W.J.M., "Biologische Stralingsindicatoren. Een onderzoek naar reticulocyten en Heinz Bodies", J. belge Radiol. 55 4 (1972) 467, (15e Série).
- LE GO R., "Le dosimètre chromosomique, son intérêt dans l'estimation des irradiations chez l'homme", J. belge Radiol. 55 4 (1972) 481, (15e Série).
- GERBER G.B., "Biochemical indicators of radiation damage : perspective and review", J. Belge Radiol. 55 4 (1972) 493, (15e Série).
- PENELLE G., "Rappel des notions principales servant de base au calcul des blindages contre les neutrons", J. belge Radiol. 56 2 (1973) 168, (16e Série).
- DE ROO M., "Radiation exposure of the patient in nuclear medicine", J. belge Radiol. 56 2 (1973) 176, (16e Série).

HUBLET P., "Etude sur la protection des travailleurs contre les radiations ionisantes en Belgique", J. belge Radiol. 56 2 (1973) 184, (16e Série).

BROERSE I.J., "Practical aspects of neutron dosimetry in biology and medicine", J. belge Radiol. 56 5 (1973) 431, (17e Série).

CANTILLON G.E., "Principes généraux de la réglementation sur les conditions de rejet des déchets radioactifs liquides, gazeux et solides", J. Belge Radiol. 56 5 (1973) 435, 17e Série.

BOULENGER R.R. COLARD J. et KOCH G., "Sensibilité relative des mesures de rejets radioactifs dans l'air et dans l'eau", J. belge Radiol. 56 5 (1973) 439, (17e Série).

KIRCHMANN R. , "Les déchets radioactifs dans les institutions de recherches biologiques", J. belge Radiol. 56 5 (1973) 443, (17e Série).

BERCY A., "La dose intégrale absorbée. Son intérêt en radioprotection". J. belge Radiol. 56 5 (1973) 451, (17e Série).

JANSSENS A., EGGERMONT G., JACOBS R., THIELENS G et SEGAERT O., "Caviteitscorrecties in dosimetrie van X-en elektronenbundels en de invloed op het energieverloop van diverse dosimeter's". J. belge Radiol. 56 5 (1973) 457, (17e Série).

Organisation de Coopération et de Développement Economiques. Comité de protection radiologique et de santé publique: "Patient exposure in diagnostic radiology : Protection problems of current concern.-I.C.R.P." J. belge Radiol. 56 5 (1973) 467, (17e Série).

LIDEN K., "SI units in radiobiology an radiation measurement", J. belge Radiol. 57 1 (1974) 15, (18e Série).

LIDEN K., "Les unités SI en radiologie et dans la mesure des rayonnements", J. belge Radiol. 57 1 (1974), 18e Série).

WYCKHOFF O. " Report to the international executive Committee of the 13th international Congress of Radiology from the international Commission on radiation units and measurements (I.C.R.U.)". J. belge Radiol. 57 1 (1974) 19, (18e Série).

ALLISY A., "Les unités SI dans les rayonnements ionisants" J. belge Radiol. 57 1 (1974) 23, (18e Série).

WAMBERSIE A., "A propos des recommandations de l'I.C.R.U. concernant les notions d'EBR, de facteur de qualité et de dose équivalente", J. belge Radiol. 57 1 (1974) 29, (18e Série).

DETILLEUX E. , "Le problème des déchets radioactifs dans une usine de retraitement de combustibles nucléaires". J. belge Radiol. 57 2 (1974) 107, (19e Série).

RECHT P., JOLIVET A., "Radioprotection et utilisation des sources Lasers", J. belge Radiol. 57 2 (1974) 117, (19e Série).

VERSELE-DE CLERCQ H., GILLARD-BARUH J., "Contamination du lait humain en Césium-137 et Strontium-90 de 1966 à 1968", J. belge Radiol. 57 2 (1974) 129, (19e Série).

- GILLARD-BARUH J.H.C., "Le Strontium-90 dans les os humains en Belgique de 1967 à 1969". J. belge Radiol. 57 2 (1974) 137, (19e Série).
- HUBERT E.H., "La contestation nucléaire et sa répercussion sur les normes applicables aux réacteurs aux Etats-Unis". J. belge Radiol. 57 2 (1974) 145, (19e Série).
- HAAS P., "Les problèmes rencontrés dans les relations avec la population et les autorités locales à Tihange". J. belge Radiol. 57 2 (1974) 161, (19e Série).
- de MAERE X., "L'implantation d'installations nucléaires considérée sous l'angle des réactions de la population locale", J. belge Radiol. 57 2 (1974) 167, (19e Série).
- DUTRANNOIS J., BAARLI J., "Problèmes principaux de radioprotection autour des accélérateurs de haute énergie". J. belge Radiol. 57 4 (1974) 317, (20e Série).
- DEBAUCHE A., GILLET R., "Problèmes particuliers de radioprotection posés par Cyclone". J. belge Radiol. 57 4 (1974) 325, (20e Série).
- COGNEAU M., DEUTSCH J. et GILLET R., "Production expérimentale de radioisotopes pour le diagnostic médical", J. belge Radiol. 57 4 (1974) 333, (20e Série).
- MIJNHEER B.J., "Stralenbeschermingsproblemen by therapie met snelle neutronen", J. belge Radiol. 57 4 (1974) 369, (20e Série).
- MARCUSE J.R., "Enkele aspecten betreffende bouw en werkwijze van de nieuwe radiotherapie afdeling van het Nederlandse Kanker Instituut", J. belge Radiol. 57 4 (1974) 377, (20e Série).
- NOOTEBOOM G., "De contestatie tegen de Kernenergie in Nederland", J. belge Radiol. 57 4 (1974) 381, (20e Série).
- BUGYAKI L., "L'irradiation des denrées alimentaires", J. belge Radiol. 57 4 (1974) 387, (20e Série).
- HUBERT E.H., "La Journée d'information sur les problèmes posés par le tritium", J. belge Radiol. 58 2 (1975) 115, (21e Série).
- GUEBEN M., BEGUIN Ph., "La production de tritium dans les centrales nucléaires", J. belge Radiol. 58 2 (1975) 121, (21e Série).
- SELLESLAGH E., "Beheer van het tritium voortgebracht door kerncentrales". J. belge Radiol. 58 2 (1975) 129, (21e Série).
- KIRCHMANN R., "Transfert dans le cycle biologique du tritium des rejets". J. belge Radiol. 58 2 (1975) 135, (21e Série).
- FEINENDEGEN L.E., "Effects of tritium on the human organism", J. belge Radiol. 58 2 (1975) 147, (21e Série).
- CONSTANT R., WINAND M., "Les utilisations du tritium, sa production et les problèmes posés par son utilisation en laboratoire", J. belge Radiol. 58 2 (1975) 157, (21e Série).
- DOUSSET M., "Normes fondamentales de radioprotection et limites dérivées concernant le tritium", J. belge Radiol. 58 2 (1975) 167, (21e Série).

LEJEUNE P., LAMBOTTE J.M. et LAFONTAINE A., "Etude expérimentale sur l'incorporation du tritium dans les tissus et l'ADN des mammifères", J. belge Radiol. 58 2 (1975) 173, (21e Série).

WAMBERSIE A., "Problèmes de radioprotection en radiologie", J. belge Radiol. 58 1 (1975) 45, (22e Série).

FEREMANS W., "Les risques génétiques de l'irradiation de la femme enceinte", J. belge Radiol. 58 1 (1975) (22e Série).

PYCHLAU P., "Calibration of dosimeters", J. belge Radiol. 58 6 (1975) 469, (22e Série).

HOHLFELD K., "Calorimetric standard device for measurements of absorbed dose for high energy photons and electrons", J. belge Radiol. 58 6 (1975) 475, (22e Série).

HOFMEESTER G.H., SOMERWIL A., "Absolute exposure measurements in the Netherlands in 10-250 kV X-Ray region and for Cobalt-60 gamma rays" J. belge Radiol. 58 6 (1975) 481, (22e Série).

LIDEN K., "The new special names of SI Units in the field of ionizing radiations", J. belge Radiol. 58 6 (1975) 487, (22e Série).

WENKEN VOOR AUTEURS

De auteurs van wetenschappelijke bijdragen of mededelingen die aanvaard werden voor publicatie in de "Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming", worden verzocht rekening te willen houden met de volgende wenken en algemeen geldende richtlijnen.

A. De getijpte tekst : (in zijn geheel beperkt tot 16 bladzijden, bij voorkeur een veelvoud van 4 bladzijden; de auteurs nummeren hun bladzijden in potlood op de keerzijde).

De door de auteur getijpte tekst wordt rechtstreeks afgedrukt; om de afdruk mogelijk te maken en een goede leesbaarheid te bekomen zijn de volgende richtlijnen te respecteren :

- 1.- uitsluitend wit papier gebruiken van formaat Din A4; tekst, tekeningen en figuren binnen een kader van 160 x 240 mm houden.
- 2.- gebruik een goede, liefst elektrische schrijfmachine.
- 3.- een zwart carbonlint of plasticlint gebruiken.
- 4.- tijk de tekst met anderhalve tussenregels (zonder tussenregel voor abstract).
- 5.- het origineel exemplaar indienen, geen doorslag of fotokopie.
- 6.- zwarte inkt gebruiken voor handgeschreven formules en tekeningen.
- 7.- tekeningen op ware grootte worden in de tekst op de juiste plaats gekleefd met witte lijm (geen kleefband).
- 8.- het aantal foto's, (uitsluitend zwart-wit) is beperkt tot vier per artikel; bijkomende foto's vallen financieel ten laste van de auteur. De foto's worden niet gekleefd op de vrijgelaten plaatsen in de tekst. De keerzijde van de foto vermeld :
 - a) naam van auteur
 - b) titel van de publicatie
 - c) rangnummer
 - d) hoven- en onderzijde.
- 9.- de titel voluit in hoofdletters.

B. Indeling : binnen de kader van 160 x 240 mm

- 1.- titel (zorg ervoor dat de titel enkele belangrijke trefwoorden bevat met het oog op literatuuronderzoek, bijvoorbeeld met computer).
- 2.- onder de titel komen achtereenvolgens :

16 cm.

STRALINGSBEVEILIGING

Titel (hoofdletters).

NOLLET H.

Auteur

Instituut voor

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

1 maart 1976

Datum (aanvaarding).

6 cm.

ABSTRACT :

Abstract (titel in hoofdletters)
(tekst, normale letter)

.....

4 cm.

INLEIDING

artikel

15 cm.

24 cm

REFERENTIES :

- (1) SMITH, F.A., Conf.Int.Util.Energie At.Fins Pacif.(Actes Conf.Genève, 1958) 7, ONU, New York (1958) 57.
- (2) GSCHNEIDER, K.A., Jr., WABER, J.T., "Principles of the alloying behaviour of rare-earth metals", Ch.17, The Rare Earths (SPEDDING, F.H., DAANE, A. H., Eds), Wiley, New York (1961).
- (3) GURINSKY, D.H., et al., Finding a container material for the uranium-bismuth system, Nucleonics 12 7 (1954) 40.
- (4) GILROY, H.M., Trans. Amer. Nucl. Soc. 3 1 (1960) 190.
- (5) LEFORT, M., TARRAGO, X., Radiation dosimetry with plastics, Int. J. Appl. Radiat. Isot. 7 (1960) 323.
- (6) HEATH, R.L., Scintillation Spectrometry, Gamma-Ray Spectrum Catalogue, USAEC Rep. IDO-16408 (1957).
- (7) ALLEN, R. A., SMITH, D. B., HISCOTT, J. E., UKAEA Rep. AERE-R 2938 (1961) 199

- a) Auteurs;
 - b) Naam en adres van laboratorium of instituut;
 - c) Datum (van aanvaarding);
 - d) Abstract. Dit is geen deel van het artikel, maar een korte beschrijving van de inhoud, inclusief eindresultaat of conclusie. Houd er rekening mee dat ze afzonderlijk in een Abstract Journal moet kunnen verschijnen. Schrijf eerst het artikel, dan de synopsis; hoogstens 10 lijnen zonder tussenregel.
 - e) Het artikel zelf wordt ingedeeld in paragrafen, doorgaans genummerd met arabische cijfers. Eventueel kan een onderverdeling worden aangebracht. Schrijf in elk geval een inleidende paragraaf waarin de plaats van het werk in het geheel van het verwant onderzoek wordt duidelijk gemaakt en het doel nauwkeurig wordt omschreven.
 - f) Na de laatste paragraaf eventuele "Acknowledgements" en tot slot de referenties. Bij uittreksels van verzamelwerken wordt het verzamelwerk tussen haakjes vermeld (zie bijlage, referentie nr. 1). Volgorde van de vermeldingen :
Auteurs, volume, deelwerk (jaar van uitgave), bladzijde.
Vermelding van de titel enkel indien noodwendig voor identificatie.
- 3.- Op een laatste afzonderlijk blad : Abstract, telkens 10 lijnen zonder tussenregel, respectievelijk in nederlandse, franse, duitse en engelse vertaling, met uitzondering van de voertaal van de publicatie. Op verzoek wordt deze taak overgenomen door de redactie.

C. Algemeen

- schrijf kort en duidelijk; vermijd lange zinnen.
- schrijf deskundig en nauwkeurig, maar vermeld geen onnodige details.
- wees volledig, niet breedspakig.
- toets het betoog op eenvoud en overzichtelijkheid; maak een verstandig gebruik van nieuwe alinea's.
- een stuk tekst dat de lijn van het verhaal breekt, kan eventueel als appendix opgenomen worden.
- bedenk dat veel lezers alleen geïnteresseerd zijn in een deel van het artikel, bvb. de meetmethode of de resultaten. Zorg er dus voor dat paragrafen en onderdelen afzonderlijk leesbaar en begrijp-

pelijk zijn. Dit geldt a fortiori voor figuren en tabellen : de bijschriften hiervan moeten zó duidelijk zijn dat de lezer de figuren en tabellen (en, wie weet, het hele artikel) kan begrijpen zonder de tekst van het artikel te lezen.

- ga na of alle gebruikte grootheden en symbolen in de tekst gedefinieerd zijn.
- ga na of alle figuren en tabellen ook in de tekst genoemd worden.
- formules komen op aparte regels en worden genummerd. Verder zijn ze gewoon onderdeel van de tekst en worden dus zo nodig afgesloten met een komma of een punt.
- in de tekst voorkomende breuken worden met een schuine deelstreep geschreven.
- laat de tekst een tijdje liggen en beoordeel dan nog eens of hij goed "loopt". Vraag in elk geval ook het oordeel van een vakgenoot.

D. Opmerkingen

- Deze wenken worden met mogelijkheid van aanpassing elk jaar opnieuw gepubliceerd in het eerste nummer van de lopende jaargang.
- Elke auteur ontvangt gratis 25 uittreksels van zijn artikel. Een hogere oplage is verkrijgbaar aan uitgifteprijs, mits voorafgaande kennisgeving van het aantal.

CONSEILS AUX AUTEURS

Il est demandé aux auteurs de contributions ou de communications qui ont été acceptées pour publication dans les "Annales de l'Association Belge de Radioprotection" de bien vouloir tenir compte des directives générales et des conseils suivants :

A. Le texte dactylographié : (nombre de pages de préférence multiple de 4 et au plus égal à 16 ; les auteurs numérotent leurs pages au crayon au verso).

Le texte dactylographié par l'auteur est directement reproduit tel quel ; pour que l'impression en soit possible et que le texte soit bien lisible, il est nécessaire de respecter les règles suivantes :

- 1.- utiliser exclusivement du papier blanc de format Din A4 ; maintenir texte, dessins et figures dans un cadre de 160 x 240 mm.
- 2.- utiliser une bonne machine à écrire, électrique de préférence.
- 3.- utiliser un ruban carbone ou plastique noir.
- 4.- taper le texte à 1 1/2 interligne (interligne simple pour les abstracts).
- 5.- remettre l'exemplaire original, pas de copie au carbone ni de photocopie.
- 6.- employer de l'encre noire pour les formules écrites à la main et les dessins.
- 7.- les figures doivent être en vraie grandeur à la place exacte dans le texte, fixées à la colle blanche (pas de papier adhésif).
- 8.- le nombre de photos (uniquement en noir et blanc) est limité à 4 par article, les photos supplémentaires sont à charge de l'auteur. Les photos ne sont pas collées à la place qui leur est réservée dans le texte. Elles portent au verso, le nom de l'auteur, le titre de l'article et le numéro de la figure, l'indication du haut et du bas.
- 9.- le titre en toutes lettres, en majuscules.

16 cm

STRALINGSBEVEILIGING

Dupont D.

Institut.....

1er mars 1976

Titre (en majuscules)

Auteur

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

Date (de l'acceptation du texte)

6 cm

RESUME :

.....

Résumé (titre en majuscules)
(texte en lettres normales)

4 cm

INTRODUCTION

article

15 cm

24 cm

REFERENCES :

- (1) SMITH, F.A., Conf.Int.Util.Energie At. Fins Pacif.(Actes Conf. Genève, 1958) 7, ONU, New York (1958) 57.
- (2) GSCHIEDER, K.A., Jr., WABER, J.T., "Principles of the alloying behaviour of rare-earth metals", Ch.17, The Rare Earths (SPEDDING F.H., DAANE, A.H., Eds), Wiley, New York (1961).
- (3) GURINSKY, D.H., et al., Finding a container material for the uranium-bismuth system, Nucleonics 12 7 (1954) 40.
- (4) GILROY, H.M., Trans.Amer.Nucl.Soc. 3 1 (1960) 190.
- (5) LEFORT, M. TARRAGO, X., Radiation dosimetry with plastics, Int.J. Appl.radiat. Isot. 7 (1960) 323.
- (6) HEATH, R.L., Scintillation Spectrometry, Gamma-Ray Spectrum Catalogue, USAEC Rep. 100-16408 (1957):
- (7) ALLEN, R.A., SMITH, D.B., HISCOTT, J.E., UKAEA Rep. AERE-R 2938 (1961) 199.

B. Subdivisions : dans le cadre de 160 x 240 mm

- 1.- Titre (veillez à ce que le titre contienne quelques mots importants en vue d'une recherche de littérature, par exemple par ordinateur).
- 2.- Sous le titre viennent dans l'ordre :
 - a) le ou les auteurs
 - b) nom et adresse du laboratoire ou de l'institut
 - c) date (du texte)
 - d) résumé. Celui-ci n'est pas une partie de l'article mais une courte description du contenu, donnant le résultat final ou la conclusion. Tenez compte de ce qu'il peut paraître isolément dans un journal d'abstracts. Ecrivez d'abord l'article, ensuite le résumé ; 10 lignes maximum, en simple interligne.
 - e) l'article lui-même est divisé en paragraphes, numérotés en chiffres arabes. Eventuellement une sous-division peut être apportée. Ecrivez dans tous les cas un paragraphe d'introduction pour situer clairement le travail dans l'ensemble de la recherche sur le sujet et pour préciser le but du travail.
 - f) après le dernier paragraphe, figurent éventuellement les "remerciements" et enfin les références. Pour les extraits de recueils, le nom du recueil est indiqué entre crochets (voir annexe, référence n° 1). Suivez l'ordre des mentions : Auteurs, volume, numéro, (année de parution), page. Communication du titre seulement si nécessaire pour l'identification.
- 3.- Sur une dernière page séparée : résumé en 10 lignes (simple interligne), respectivement en néerlandais, français, allemand et anglais, en exceptant la langue de la publication. Sur demande ce travail peut être fait par la rédaction.

C. Généralités

- écrivez de façon courte et claire ; évitez les phrases trop longues.
- écrivez comme un expert et avec précision, mais ne donnez pas de détails inutiles.
- soyez complet, mais pas prolix.
- visez la démonstration simple et claire; faites un usage raisonnable de nouveaux alinéas.

- une partie de texte qui rompt le déroulement de l'exposé peut éventuellement être reprise en appendice.
- pensez que beaucoup de lecteurs ne sont intéressés que par une partie de l'article - par exemple, la méthode de mesure ou les résultats. Veillez donc à ce que les paragraphes ou subdivisions soient lisibles et compréhensibles isolément. Ceci vaut a fortiori pour les figures et tableaux. Les légendes ici, doivent être assez évidentes pour que le lecteur puisse comprendre les figures et tableaux (et, qui sait, l'ensemble de l'article) sans lire le texte complet.
- veillez à ce que tous les tableaux et figures soient aussi mentionnés dans le texte.
- les formules apparaissent sur des lignes séparées et sont numérotées. Si de plus, elles sont des subdivisions ordinaires du texte, elles sont suivies nécessairement par une virgule ou un point.
- les fractions apparaissant dans le texte sont écrites avec une barre de fraction oblique.
- laissez reposer le texte un moment et jugez encore une fois s'il coule de source. Demandez dans tous les cas, le jugement d'un collègue.

D. Remarques

- Ces conseils seront probablement publiés de nouveau dans le premier numéro de chaque année.
- 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.