

**Annalen  
van  
de Belgische Vereniging  
voor  
Stralingsbescherming**

---

**VOL. 3 N° 1**

**1978**

Driemaandelijke  
uitgave

Publication  
trimestrielle

---

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

Hoofdredacteur  
Redactiesecretariaat  
14 Juliette Wytmanstraat  
1050 BRUSSEL

Prof. Dr. O. SEGAERT  
Mme Cl. STIEVENART

Rédacteur en Chef  
Secrétaire de Rédaction  
14 rue Juliette Wytman  
1050 BRUXELLES

## INHOUD

## SOMMAIRE

|  |    |
|--|----|
| R. GILLET :  |    |
| Rapport du IVe Congrès International IRPA .                            | 5  |
| L. DE THIBAUT DE BOESINGHE :   |    |
| Rapport du IVe Congrès International IRPA .                            | 7  |
| E.H. HUBERT :  |    |
| Rapport du IVe Congrès International IRPA .                            | 17 |
| M.H. FAES :  |    |
| Rapport du IVe Congrès International IRPA .                            | 23 |
| A. GYSELEN :   |    |
| Radiofotografische tuberculose-opsporing .                             | 27 |
| P. SCHONKEN :  |    |
| Radiofotografische tuberculose-opsporing -technische gegevens .        | 33 |
| P. SCHONKEN, G. MARCHAL, Y. COENEN, A. BAERT :                         |    |
| Dosimetrie bij computer tomografie van de romp - technische gegevens . | 41 |
| E.H. HUBERT :  |    |
| Motivations, arguments et méthodes de la campagne anti-nucléaire .     | 57 |

Annales de l'Association Belge de Radioprotection Vol. 3 n° 1

Rapport du IVe Congrès International IRPA (Paris 24-30 avril 1977).

THE LINEAR HYPOTHESIS OF RADIATION DAMAGE APPEARS TO BE NON-CONSERVATIVE IN MANY CASES.

Prof. R. GILLET.

Université Catholique de Louvain, 2 Chemin du Cyclotron, Louvain-La-Neuve.

K.Z. MORGAN développe son opinion selon laquelle l'hypothèse de la relation linéaire dose/effet est bien moins conservatrice qu'on ne le pense généralement.

Bien que cette relation linéaire ait été acceptée comme base de travail pour définir les normes de l'I.C.R.P., certains radioprotectionistes la décrivent et proclament que :

1°- l'hypothèse linéaire n'est valable que pour les hautes doses.

2°- Il n'y a pas de preuves d'un dommage quelconque occasionné par des faibles doses à un être humain.

3°- l'hypothèse linéaire est ultra-conservatrice pour les faibles doses. Pour le point 1, la vérité est tout le contraire; en effet, dans le domaine des hautes doses, la relation linéaire n'est pas retrouvée parce que on ne peut pas tuer 100 % des animaux mis en expérience.

D'autre part; un effet maximum peut être atteint à des niveaux de dose intermédiaire parce que les animaux meurent à cause d'un autre effet que celui qui est étudié.

Pour des rayonnements à TEL bas, on admet généralement que l'hypothèse linéaire est largement conservatrice pour des faibles doses, parce que le phénomène de réparation des cellules lésées à le temps de se manifester.

Cependant, l'étude des leucémies provoquées par irradiation des jeunes individus (in utéro), ou de très vieux individus, montre que les membres très jeunes ou très vieux d'une population, sont plus radiosensibles que d'autres et que la relation linéaire qui leur serait appliquée n'est pas conservatrice, même pour des TEL bas.

De même, l'induction de cancers par des radiations à TEL élevés (ingestion de radium par exemple) s'écarte de la relation linéaire pour les

petites doses et dans le sens contraire à celui qu'on attendait, c'est-à-dire une production de cancers par rad relativement plus abondants qu'aux hautes doses.

En ce qui regarde le point 2, diverses publications sérieuses rapportent les effets nocifs des radiations ionisantes et non ionisantes d'ailleurs, à faibles doses; MORGAN pense que ces constatations doivent être prises en considération et faire renforcer, dans l'opinion des radioprotectio-nistes, l'application systématique du principe de ALARA (exposures As Low As Reasonably Achievable).

Enfin, ceux qui proclament l'affirmation du point 3, sont en fait ceux qui sont toujours partisan de la vieille théorie du seuil et qui ne sont pas prêts de l'abandonner en se basant surtout sur l'observation qu'en dessous d'un certain seuil le rythme de réparation cellulaire est systématiquement supérieur à celui du dommage causé. Ceci est d'ailleurs vrai dans de nombreux cas et de plus, bien souvent, la période d'incubation pour certains effets est plus longue que l'espérance de vie de l'individu considéré.

Cependant, on ne doit pas trop se leurrer à ce sujet, car la sensibilité individuelle aux radiations est fort variable, de sorte que la seule attitude sûre est de considérer que toute dose d'irradiation, aussi faible soit-elle, a toujours une certaine probabilité de causer un certain dommage.

Rapport du IVE Congrès International IRPA (Paris 24-30 avril 1977).

Dr. L. DE THIBAUT DE BOESINGHE.

Rijksuniversiteit-Gent, De Pintelaan, 135, Gent.

Du point de vue médical nous retenons de ce congrès les points suivants :

1. Les rayonnements non-ionisants.
  2. L'irradiation médicale et les problèmes de radioprotection qu'elle pose.
  3. Les effets des rayonnements sur l'homme; estimation des risques.
  4. Les aspects médicaux de la protection contre le rayonnement.
  5. L'irradiation par les sources naturelles et les sources de consommation.
1. Les rayonnements non-ionisants.

Monsieur H. Jammet, président du groupe d'étude de la protection contre les rayonnements non-ionisants, présente comme introduction la rapport du groupe d'étude.

Ensuite M. Faber traite des risques et des bénéfices pour l'homme dûs à la radiation ultraviolette.

Les effets immédiats d'une surexposition à l'U.V. sont connus, telles que les brûlures solaires de la peau, la photokératite de l'oeil etc.

Les effets tardifs, les effets de mutation somatique et les effets carcinogènes sont les grandes préoccupations pour le futur.

Les déplacements de la population du Nord vers la méditerranée en périodes de vacances ont montré une certaine tendance à la hausse des cancers de la peau.

D'autre part il est intéressant de mentionner qu'à part les effets nocifs des radiations les U.V. sont nécessaires à la production de vitamine D<sub>3</sub> en partant du 7. déhydrocholestérol.

En plus une exposition aux radiations solaires donne à l'organisme un état de bien-être, donc un profit pour l'homme. A l'heure actuelle les effets secondaires des U.V. tout comme les effets bénéfiques sont difficile à évaluer.

Mr. Przemyslaw-Czerski donne un aperçu des vues actuelles sur le mode d'action entre les micro-ondes et les radiations dues au radio-frequence

sur le système vivant. Ces mécanismes d'interaction sont à l'heure actuelle encore fort controversés. La raison de cette controverse est surtout due au fait que les explications théoriques généralement acceptées ne donnent pas toujours de corrélations exactes avec les faits observés de façon empirique.

L'auteur donne une définition et une analyse de ces faits biologiques. Puis il donne une explication sur l'interaction primaire de ces 2 modes de radiation dans la matière vivante.

S. Eggert et collaborateurs donnent leur expérience pratique dans la mesure des doses dans des endroits où des personnes sont professionnellement exposées.

P. Bassy et collaborateurs nous parlent des dosimètres à thermoluminescence pour la détection des radiations U.V. L'auteur souligne la nécessité d'un dosimètre portatif d'une part, d'autre part il souligne aussi que ce dosimètre a ses limites d'absorption et de ce fait que tout ne peut être enregistré.

M. Grandolfs et C. Ranghiasei nous parlent des problèmes d'environnement dus aux radiations des radio-fréquences employées dans l'industrie. Il s'agit ici d'un exposé assez mathématique.

D.E. Janes et collaborateurs nous parlent des problèmes des radiations non-ionisantes dans les cités urbaines dans les Etats-Unis.

U. Madhvanath et collaborateurs nous parlent des effets mutagènes des radiations non-ionisantes et leurs implications dans la radioprotection. Le résumé de cet article nous montre que les résultats présents suggèrent quand même un certain effet mutagène, qu'il est existant et qu'une étude est nécessaire afin de donner des normes aux utilisateurs pour, préventivement éviter des accidents mutagènes avec ce genre de rayonnement. La partie radiations non-ionisantes, est clôturée par l'exposé de Michael H. Repacholi, traitant sur le contrôle des radiations non-ionisantes au Canada.

## 2. L'irradiation médicale et les problèmes de radioprotection qu'elle se pose.

A. Citons quelques communications intéressantes au sujet de l'évolution des doses de radiations aux divers organes.

W. Jacob donne les principes et modèles pour avoir accès aux doses organes.

J.F. Valey et P. Lerch donnent un modèle de combinaison des doses absorbées dans l'organisme.

D.R. White et collaborateurs nous parlent des interactions des photons et des électrons dans la référence I.C.R.P. de l'homme.

M. Rogenstein nous décrit une méthode calculée à l'ordinateur pour les doses organes en radiologie.

R. Kramer nous parle de la relation entre les doses organes, les doses tissus, et les références quantitatives mesurables, pour l'exposition externe de photons.

W. Snyder : la distribution de la dose dans l'organisme en partant d'un émetteur à photons présent dans cet organisme.

A.E. Gileadi. Dose simulée, à l'organisme humain, due aux neutrons émis en fusion laser.

F.A. Fry. Un phantôme poumon, pour évaluer la dose, due à des photons de faible énergie émis dans les poumons humains.

R.J. Cloutier. Un modèle pour calculer les fractions de doses absorbées par la femme enceinte.

A. Parodo. Un modèle biologique pour calculer les doses équivalentes internes.

Y. Feige. La microdosimétrie de l'iode 129 dans la thyroïde humaine.

T. Grönberg nous parle des évaluations expérimentales aux organes dues à l'exposition  $^{99}\text{Tc}$  de  $^{123}\text{I}$  et de  $^{131}\text{I}$ .

W. Hoffman et collaborateurs nous donnent des calculs de dose pour les enfants et les adultes dus aux relations de radon et ses produits de déclin dans l'environnement normal.

S.A. Book nous parle de l'influence de l'âge et du mode d'exposition à la radio-iodine dans la dose radiologique de la thyroïde.

B. Dans le domaine de l'exposition médicale nous retenons d'abord un article de R.E. Ellis qui nous donne un aperçu de la tendance actuelle des examens radiologiques et isotopiques.

Nous pouvons en résumer que d'une part grâce aux nouvelles techniques et aux meilleurs appareillages, une protection du public est possible et que d'autre part la demande d'utilisation aussi bien de la radiologie que des isotopes ont considérablement augmenté, ce qui veut dire que dans certaines régions du monde nous devrions diminuer le nombre d'examens et d'appareillages tout comme dans d'autres régions du monde nous pourrions en-

core en ajouter où même y commencer.

Suit un article de Frischaut sur la dosimétrie du  $^{99m}\text{Tc}$  dans les applications diagnostiques, l'auteur nous donne quelques chiffres, quelques modèles théoriques, ainsi que ses calculs.

P.C. Vanderpol nous parle des aspects de radioprotection dans le traitement à  $^{131}\text{I}$ .

B. Philipon et J. Brière nous parlent de la mesure par thermoluminescence de la dose gamma délivrée à l'utérus in vivo dans la thérapeutique à  $^{131}\text{I}$  pour la maladie de Basedow. Selon cet auteur les résultats obtenus présentent une dispersion relativement faible. On peut leur accorder une certaine confiance.

Les valeurs de radiation gonadique dans utilisation thérapeutique de  $^{131}\text{I}$  chez les jeunes femmes ne constituent donc pas un obstacle à cet indication. Cela pourrait être d'une grande valeur si elle se révélait complètement exacte.

A. Jerome et collaborateurs traitent de l'évaluation des doses de radiation dues à des produits radioactifs. Cet article nous avise que les doses absorbées de produits radioactifs sont sévèrement contrôlées par le " Food and Drug Administration ", ce qui veut dire qu'elle donne les plus grandes satisfactions en point de vue de protection.

K. Neumuster et co : Les risques de radiation au début de la grossesse. Il est à mon avis très difficile de tirer des conclusions car les observations n'ont pas toujours été effectuées par une méthodologie bien déterminée.

Un nombre de tableaux et de clichés nous sont donnés.

Très souvent dans le dernier tableau les examens anatomopathologiques n'ont pas été effectués sur le foetus; ce qui donne beaucoup de difficultés à l'interprétation des phénomènes.

Albert Halm nous parle des risques et des bénéfices dans l'utilisation de la médecine nucléaire.

P. Paras nous décrit les efforts faits aux Etats-Unis pour la qualité en médecine nucléaire. Cette qualité peut être améliorée d'une part par une meilleure instrumentation, meilleur appareillage, d'autre part par une meilleure fabrication des radioisotopes, aussi bien in vitro qu'in vivo et par éventuellement plus d'utilisation d'électronique, plus favorable en interprétation tel que l'ordinateur ou des systèmes tomographiques.

Richard Gross traite de 2 programmes qui ont pour but de réduire la dose en diagnostic radiologique.

E. Dale et Co nous parlent du problème de l'exposition des malades dans les examens de masses. Il est un fait certain que les examens de masses donnent une dose significative génétique par ces radiations.

J. Bengtsson nous parle de l'exposition due au diagnostic radiologique en Suède.

S. Benassai nous parle de l'exposition due aux radiations médicales dans la population Italienne en 1975.

A. Donagi nous parle de radiologie en Israël.

H. Pauly nous parle des doses organes dues au diagnostic radiologique du thorax et de la tête.

O. Krauss : la dose absorbée par le malade dans l'utilisation du tomographe axial. Dans cette étude il nous donne quelques schémas et les calculs sur fantômes. En conclusion cet auteur conclut que la dose absorbée est à comparer avec celle de la radiographie conventionnelle, car d'une part elle est moins élevée que si on faisait le compte de tous les examens radiologiques que l'on devrait effectuer pour arriver au même diagnostic qu'en employant cette technique.

C. Steward nous parle de la dose malade dans les estimations radiologiques à l'aide d'un fantôme et d'un ordinateur.

J. Jenkosky nous donne un nouveau concepte sur l'estimation des doses reçues dans les malades durant les examinations aux rayons X.

B. Schleien nous donne la dose moyenne de la moelle osseuse pour la population adulte des Etats-Unis, dose moyenne reçue par les radiations en diagnostic radiologique. Et ce selon les différents examens radiologiques.

M.S. Agrawal et Co nous donnent une nouvelle méthode pour déterminer la dose gonade chez les femmes traitées par radiation.

Ici il s'agit de traitement radiologique. Ces coordonnées sont certainement d'une importance pour le radiothérapeute qui veut durant les irradiations quand même épargner les ovaires.

R. Barke nous donne les nouveaux résultats qu'il a obtenu dans le calcul des doses gonades dans le diagnostic par RX dans les examens urologiques.

F. Nuesslin et collaborateurs nous parlent de la radioprotection des malades en radiothérapie et de la dose gonadique résultant de traitement

par accélérateurs linéaires.

W. Herstel nous parle de la radioprotection de l'embryon humain dans la radiation par les diagnostics RX. Il souligne que les femmes pouvant être enceinte, doivent être examinées par radiographie dans la première semaine du cycle menstruel.

N. Vana nous parle de la dose gonade des enfants durant les examens radiologiques de la hanche et nous donne certaines recommandations pour faire ce genre d'examens.

Finalement, Fitzgerald nous parle des doses en radiologie pédiatrique.

### 3. Les effets de rayonnements sur l'homme. Estimation des risques.

Nous notons l'article de W.J. Bair sur une approche théorique et expérimentale des possibilités d'étude des particules à haute énergie dans un foyer où elles peuvent être accumulées.

Suit à l'article de J.O. Sniss sur un cas de cancer des poumons dans un mineur. L'estimation à l'exposition radon est discutée ainsi que les causes probable de ce cancer.

Suit un article de J. Dekker sur une analyse des leucémies dues aux survivants de la bombe atomique de Nagasaki.

Puis nous avons un article de J.W. Baum sur les risques cancérigènes dûs aux expositions humaines à des neutrons.

B. Modan nous parle de tumeurs de la tête et du cou, ainsi que du changement de la fonction mentale après une irradiation de la tête pour épilation.

Nous avons ensuite un article de Y. Yoshizawa et Co sur un cas de cancer induit par radiation.

Puis un article de L.N. Smirennny : l'évaluation des effets des protons à haute énergie sur les organes hématopoïétiques.

J. Delforge nous parle des exemples théoriques et expérimentaux d'effets non-monotomes.

### 4. Les aspects médicaux de la protection contre les rayonnements.

J.A. Watson nous parle de modifications médicales dues à une irradiation accidentelle de l'être humain. Dans ce communiqué il nous donne de données bien connues.

U. Lenz nous parle des examens de la peau chez des personnes qui sont exposés à des rayonnements peu élevés mais chroniques d'irradiations.

Intéressant dans cette étude et nouveau à notre avis est l'utilisation de la thermographie, comme méthode d'investigation, pour les altérations de la peau, plus spécialement des membranes supérieures.

Cette étude devrait certainement être approfondie.

M. Kilibarda : aberrations chromosomiques chez des personnes exposés aux rayons X professionnellement . Le problème a été soulevé ici des aberrations chromosomiques seraient arrivés aux moments où les personnes qui travaillent dans de telles institutions dépassent leur dose annuelle admissible ou non. La réponse n'était pas très satisfaisante. Tous nos critères de radioprotection reviendraient en discussion si cela averrait exacte que quelqu'un qui travaille dans un service de rayons X ne dépasse sa dose ait quand même des aberrations chromosomiques.

Un article de Doloy et Co nous parle de l'utilisation des analyses chromosomiques pour l'estimation d'une dose d'irradiation accidentelle chez l'homme. Ce chapitre a déjà été traité à plusieurs congrès.

T. Kubasova nous parle des altérations de la membrane cellulaire, altérations qui se font au début d'une lésion induite par radiation. Ces altérations ont lieu sur les connections de lécithine.

M.B. Hafez nous parle des chélateurs et de leur possibilité d'évacuer les transuraniens du corps.

C.W. Mays nous parle du problème de recherche sur D.T.P.A. à l'Université de Utah.

A. Naharin nous parle de l'efficacité de décontaminations de  $^{169}\text{YbCl}_3$  par le D.T.P.A. administré selon différentes voies et méthodes, dans la souris.

V. Volf et Co nous parlent de l'utilisation de chélateurs pour éliminer le plutonium chez des rats.

K. Milivojevic : l'effet d'un traitement de décontamination prophylactique dans des cas de lésions de la peau irradiée et contaminée. Il traite aussi bien la peau saine que la peau endommagée.

##### 5. L'irradiation par les sources naturelles et les sources de consommation.

Dans le chapitre des irradiations produites par les sources naturelles et les biens de consommation, nous retenons un article de J. Mehl sur l'irradiation externe du public, une comparaison entre la contribution due aux centrales nucléaires, due au centre de recherches nucléaires et due aux habitations.

Puis suit un article de J.M. Guezéngar sur les variations de la dose due

à l'irradiation naturelle dans la région parisienne.

Suit un article de S.A.M. Hashibi qui nous parle des doses de radiations dues aux sources naturelles dans la population adulte de Bagdad.

Nous avons ensuite un article de Khademi sur la mesure de radium dans les tissus biologiques dans le site radioactif de Ramsen en Iran.

L.M. Cook décrit les effets des expositions dans l'environnement dûs au mine du radium.

O. Castren décrit des sites de haute radioactivité naturelle, ainsi que les problèmes d'hygiène de radioprotection en Finlande.

J.G. Hollins décrit l'existence de radium dans les potagers.

H.P. Fister décrit l'irradiation de la population due à l'irradiation naturelle des terres en employant des fosfates enrichies dans la région de Erlangen.

R. Kirchman et Co parlent de l'évaluation de la dose à l'homme résultant de la présence de radionuclides naturels dans les engrais phosphatés d'origine minérale.

W.M. Mills parle de l'exposition de radiation en floride due à l'industrie des fosfates.

M.C. O'Riordan et Co parlent des contrôles radiologiques pour la construction de matériaux.

A. Wicke et Co parlent de la concentration en radon 222 et thoron 220 et leur produits de déclin à l'intérieur des buildings. Ils donnent les résultats préliminaires.

Finalement, M.D. Hill nous donne un exposé sur les essais radiologiques, effectués pour des produits qui peuvent irradier le public.

De toutes ces communications nous pouvons résumer qu'à l'heure actuelle des effets génétiques n'ont pu être observés mais que bien entendu ce problème prends toute notre importance. Spécialement dans la construction de bâtiments modernes il se pourrait que finalement l'irradiation interne des bâtiments soit plus élevée que l'irradiation due aux radiations externes de source naturelle.

Les impressions générales que j'ai eu à la fin du congrès sont les suivantes :

- La qualité des articles et des présentations était assez bonne, quoique de grandes nouveautés n'ont pas été abordés lors de ce congrès.
- Un tas d'études approfondies doivent être effectuées dans les prochaines années.

- L'impression regnait que la méthodologique était un peu superficielle.
- Mieux voudrait des observations minutieuses, que des hypothèses.
- Certains auteurs se répètent trop. Un sujet déjà présenté à un congrès ne pourrait plus être représenté au suivant congrès, sauf bien entendu si l'exposé contient des nouveautés valables.

Annales de l'Association Belge de Radioprotection Vol. 3 n° 1

Rapport du IVE Congrès International IRPA (Paris 24-30 avril 1977)

E.H. HUBERT.

Union des Exploitations Electriques en Belgique, Galerie Ravenstein, 4  
Bruxelles.

NIVEAU D'ACTIVITE DANS L'ENVIRONNEMENT (section 2 - 11 rapports/section  
20 - 14 rapports)

Les rapports de ces sections portent essentiellement sur :

- la répartition et les effets du plutonium et de certains isotopes : actinides, ruthénium, Sr, Cs, Ce, C, iode;
- effets des radioéléments dans la chaîne agricole;
- limitation de l'exposition de la population due aux installations nucléaires.

Les études effectuées à Hanford montrent que les concentrations pulmonaires, calculées théoriquement et mesurées lors d'autopsies sur la population, sont cohérentes : il en résulte que la dose moyenne serait de 0,5 mrem/an, de l'ordre de 20 fois inférieure à l'irradiation naturelle.

Tenant compte de la dimension des particules de poussières contaminées en plus on peut fixer la limite admissible à deux désintégrations par minutes, par gramme. D'autres études portent sur la diffusion du Pu et du ruthénium en milieu marin et des actinides dans l'environnement; des informations intéressantes sont données sur l'influence de la forme chimique dans la dispersion du radionuclide, sur la discontinuité des décharges et sur le rôle des échanges économiques.

Des recherches soviétiques font apparaître l'importance plus grande de l'intégrale des décharges radioactives que de la concentration et de l'accroissement de la fixation de radioéléments chez les poissons en f (température).

Les effluents nucléaires correspondant à 3.500 MWe donnent une irradiation globale annuelle de 70 hommes-rem pour un pays à forte densité (Pays-Bas) alors que l'irradiation naturelle est de 1.500.000 hommes-rem et les cas résultants de leucémies, autres cancers et déficiences génétiques seraient de l'ordre du million de fois moins fréquents.

La notion de dose collective à la population a été examinée par plusieurs auteurs mais les chiffres cités sont assez divergents et il serait intéressant d'étudier les causes de ces discordances.

L'attention a été attirée par plusieurs auteurs sur la contribution du carbone 14 provenant des centrales nucléaires à la dose globale de la population.

COMPARAISON DES RISQUES DUS AUX RAYONNEMENTS AVEC LES AUTRES RISQUES.  
(section 04- 7 rapports).

Certains polluants chimiques peuvent avoir des effets tératogènes, cancérigènes ou mutagènes analogues à ceux des radiations et les radicaux libres formés par irradiation et par polluants chimiques sont identiques. Ceci justifie l'orientation actuelle vers un concept de REC (rem équivalent chemical) qui produirait le même effet qu'une irradiation de 1 rem : toutefois ce n'est que lorsque les effets des polluants chimiques seront aussi bien connus que ceux des radiations qu'on pourra envisager de fixer une norme d'exposition globale maximum de la population et des travailleurs.

Des études spécifiques sur les effets des polluants chimiques ont été présentées notamment sur les benzo(a) pyrènes où la mortalité par cancer du poumon serait égale à celle que provoquerait l'exposition systématique de la population au niveau des normes ICRP; en outre, on a constaté des effets synergétiques de plusieurs agents chimiques tels les métaux lourds.

D'autres études (dans un cas particulier soviétique) ont fait ressortir que les effets des radiations dues à la proximité d'une centrale nucléaire sont 30 fois inférieurs à ceux d'une centrale à charbon où interviennent en outre les polluants chimiques.

L'intérêt de la comparaison des risques liés aux rayonnements avec les autres risques ne peut échapper aux responsables de la santé publique ni aux défenseurs de l'environnement, ni non plus aux promoteurs du recours à l'énergie nucléaire.

SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DU PERSONNEL (section 10 - 6 rapports).

On retiendra que les éléments suivants résultant d'études du Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants (France) :

- l'incertitude des mesures est de - 21 % à + 31 % mais peut être ramenée à  $\pm 10$  % par des vérifications : une précision supérieure serait illusoi-

- re car la dose délivrée aux divers organes varie beaucoup plus;
- la dosimétrie photographique individuelle reste très supérieure au dosimètre *thermoluminescent* par la variété des informations obtenues;
- la dose moyenne annuelle des travailleurs est passée entre 1973 et 1975 de 160 à 130 mrad;
- une analyse des divers facteurs influençant l'irradiation des travailleurs conduit à une formulation mathématique permettant une minimisation des expositions pour un travail donné.

Enfin, il faut signaler des études spécifiques de contrôle du personnel dans les mines d'uranium et l'usine d'enrichissement.

RADIOPROTECTION DU PERSONNEL DANS LES INSTALLATIONS (section 11 - 4 rapports, section 27 - 6 rapports, section 18 - 9 rapports).

Les problèmes repris dans la section 11 couvrent des domaines assez variés de la recherche : personnel d'installations radiogynécologiques, de laboratoires de diffraction X, de fusion par laser, de détecteurs de capteur électronique au tritium : des données expérimentales y sont rassemblées tant sur les causes et les valeurs d'irradiation que sur les méthodes de protection appropriées.

Par contre, la section 27 traite plutôt des entreprises industrielles : on y trouve notamment une énumération de mesures de prévention allant de la conception des installations à la formation et à la gestion du personnel, une description des règlements et contrôles, des résultats d'expérience de centrales ainsi qu'une analyse de l'exposition au tritium dans des boucles expérimentales et des méthodes de réduction par décontamination chimique.

La section 18 comporte 3 grands thèmes : la radioprotection dans les mines d'uranium, la fabrication d'éléments au plutonium et le démantèlement d'installations radioactives.

*Dans les mines, l'accent est mis essentiellement sur la ventilation pour éliminer le radon mais lorsque la teneur en uranium du minerai est élevée, une attention particulière doit être accordée à l'irradiation gamma qui peut donner des irradiations atteignant 2,5 mrem/h pour un minerai à 0,94 % de  $U_3O_8$ .*

Chez les travailleurs des sources radioactives, on a étudié aussi les contaminations au Po 210 et au Pb 210.

Les rapports relatifs à la manipulation du plutonium donnent les résultats d'exploitation et font apparaître l'amélioration concomittante des procédures et des doses individuelles.

Le démantèlement d'installations de laboratoires radioactifs commence à devenir d'actualité malgré le nombre restreint de cas.

GESTION DES DECHETS RADIOACTIFS (section 12 - 6 rapports).

A part un rapport assez général et la description d'un laboratoire de centre de recherche, cette section traite seulement de quelques problèmes spécifiques qui seront évoqués ci-après.

L'activité des actinides produits pour les réacteurs de puissance peut être réduite de cent à mille fois par irradiation des réacteurs PWR ou LMFBR.

Les déchets radioactifs médicaux se prêtent bien à la technique de compaction. La décontamination de surfaces faiblement radioactives peut se faire avec avantage par des agents en milieu gélifié.

ACCIDENTS D'IRRADIATION - ACCIDENTS NUCLEAIRES (section 21 - 11 rapports).

Malgré les précautions importantes pour éviter les accidents d'irradiation, il s'en produit et leur étude à posteriori présente un intérêt considérable tant sur le plan de la prévention que sur celui du traitement. Ceci explique que plusieurs auteurs décrivent avec minutie les conditions, les mesures d'évaluation et les conséquences d'accidents réels : il s'agit d'irradiation externe ou de contamination interne dans des centres de recherches, des laboratoires médicaux. Les contaminants ont été des produits de fission et du plutonium et les irradiants des rayons X, des neutrons et des gammas.

On doit attacher une importance particulière à la reconstitution des conditions physiques des accidents car le traitement ultérieur ne peut être déterminé d'une manière valable qu'en connaissant les doses à chaque organe. Un cas étonnant de tentative d'assassinat par irradiation de Cs 137 fait l'objet d'une procédure judiciaire encore en cours.

La contamination par aérosols émetteurs  $\alpha$  et par dépôts d'émetteurs gamma sur le sol ont conduit à la détermination de doses maxima correspondantes pouvant conduire à envisager des évacuations locales.

CRITERES DE BASE POUR LA LIMITATION DES REJETS RADIOACTIFS (section 23 - 1 rapport)

Le Comité technique de l'AIEA va publier prochainement des recommandations dont le présent rapport est un abrégé introductif. La multiplication des installations nucléaires conduit à faire intervenir la notion d'exposition globale et non plus seulement locale (cfr. publication ICRP 26 - 1977).

Si les doses limites de l'ICRP restent d'application pour les individus isolés, on recommande que les doses soient aussi faibles que possible raisonnablement en tenant compte de considérations sociales et économiques. Cette dernière condition introduit la notion de l'analyse coût-bénéfice de la protection : elle conduit à l'optimisation basée sur une valeur monétaire d'une réduction de 1 homme-rem pour l'environnement.

ENSEIGNEMENT ET INFORMATION (section 29 - 7 rapports).

Au Royaume-Uni, en RFA et RDA ainsi qu'en France, des cours spéciaux existent pour la formation générale en radioprotection : quatre rapports décrivent brièvement cet enseignement tandis que un rapport plus spécialisé traite de l'utilisation des radioisotopes et de la radioprotection associée en médecine vétérinaire et en agriculture.

En Angleterre, la radioprotection est considérée comme une profession et non une spécialité. En RDA, à partir de septembre 1977, une formation avec examens et diplôme est prévue en spécialisation des biologistes, chimistes, physiciens et ingénieurs. En RFA on forme, en 2 ans, après le baccalauréat, des assistants de physique sanitaire. Dans le domaine de l'information publique, le National Radiological Protection Board anglais développe des contacts fréquents avec les médias et a publié une brochure " Vivre avec les radiations " à l'usage des écoles secondaires. Un dernier rapport de cette section s'efforce d'analyser (ou de psychanalyser) les motivations de la contestation.

SURVEILLANCE DE L' EXPOSITION DU PERSONNEL (section P2a - 7 rapports).

On trouve ici des informations sur des sujets assez divers tels que :

- évaluation des doses des personnes travaillant avec du tritium et dans les transports aériens de matériaux radioactifs;
- des statistiques d'irradiations (Israël et RFA);

- des détecteurs individuels pour radon et pour tritium;
- d'une étude de distribution de radiations secondaires de cibles d'accélérateurs d'électrons.

Ces rapports n'ont pas été discutés en séance mais ont fait l'objet d'échanges de vues individuels avec les auteurs.

Rapport du IVe Congrès International IRPA (Paris 24-30 avril 1977)

M.H. FAES.

C.E.N. Boeretang, 200 Mol.

Le 4e Congrès International de l'IRPA, organisé par la Société française de Radioprotection sous la présidence du Dr. H. Jammet, a tenu ses assises au centre de congrès de Paris du 24 au 29 avril 1977.

Plus de 1200 participants venant de plus de 40 pays différents ont suivi les débats sur le thème général " la radioprotection comme modèle de protection contre les nuisances du monde moderne ".

#### Assemblée générale.

A l'occasion de ce congrès, la 4e assemblée générale de l'IRPA s'est déroulée l'après-midi du 27 avril sous la présidence du Dr. C. Polvani.

Cent et douze délégués y représentaient 8.100 membres, répartis dans les 24 associations nationales de radioprotection. Y assistaient également des observateurs officiels de l'OMS, ICRP, ICNU, IAEA, UNSCEAR, NEA/OECD, ICSU, ILO et IEC.

L'Association belge de Radioprotection était représentée par MM. M.H. Faes, L. de Thibault de Boesinghe et R. Gillet.

L'assemblée s'est ouverte à 14 h 30 et a débuté par l'enregistrement des délégations officielles.

- Le Président C. Polvani fait part de l'admission des Sociétés de Radioprotection d'Australie et du Mexique et de l'évolution de la procédure d'admission des Sociétés de Radioprotection cubaine et iranienne.

En dehors des organismes internationaux cités plus haut, une officialisation des rapports de l'IRPA avec d'autres organisations telles que FAO, ENEP, NGO, ISO, CCE et COMECON est en cours.

Le Président annonce également qu'un groupe d'étude concernant les radiations non ionisantes a été constitué au sein de l'IRPA sous la présidence du Dr. H. Jammet.

Enfin les statuts de l'IRPA ont fait l'objet d'une traduction officielle en français et en allemand.

- Claire C. Palmiter, vice-président, fait part à l'assemblée de pourpar-

lers de l'IRPA avec la Gesellschaft für Strahlenschutz de la RDA et la Korean Association for Radioprotection en vue de leur admission au sein de l'IRPA. Des contacts ont été également établis avec des associations de divers pays tels que le Brésil, la Bulgarie, l'Égypte, la Grèce, l'Arabie Saoudite, l'Espagne et la Tunisie.

La circulaire de l'IRPA concernant les moyens de promouvoir la collaboration entre les associations nationales a récolté 12 réponses. A partir de celles-ci, il a été décidé que d'une part l'IRPA continuera à publier dans le journal Health Physics des informations concernant l'organisation, l'administration et les réunions. D'autre part, le président continuera d'envoyer ses circulaires aux présidents des associations nationales. Enfin le conseil envisage de rédiger un bulletin trimestriel succinct destiné aux associations qui le distribueront à leurs membres après traduction éventuelle.

- Dans son exposé, J.R. Horan, secrétaire, signale qu'entre 1973 et 1977 le nombre de membres est passé de 6.251 à 8.106. En 1975, le symbole officiel de l'IRPA, oeuvre de l'artiste tchécoslovaque Pavel Svab, a été adopté.

- P. Courvoisier, trésorier, présente de manière très détaillée la situation financière de l'IRPA. Il signale que les contributions des associations nationales sont souvent versées après les délais ; 7 % de ces contributions avec plus d'un an de retard. L'ensemble de celles-ci a rapporté US \$ 7.700 pour l'année dernière. Il est remarquable de constater que chaque congrès international se clôture par un bénéfice.

Le congrès de Washington a rapporté ainsi US \$ 17.296. Néanmoins en raison de l'augmentation des frais d'administration et de déplacement, le comité a proposé de porter les contributions individuelles à US \$ 1,5. Cette augmentation ne couvre d'ailleurs pas la perte à l'inflation.

En dehors d'une réserve indispensable, l'IRPA envisage d'ailleurs d'accorder un soutien financier à certains instituts ou associations poursuivant les mêmes buts scientifiques.

- Walter Snyder (x), directeur des publications, confirme que chaque société nationale a droit à la publication de 20 abstracts par an dans le journal Health Physics. Le délai de publication pourrait être plus court si les textes envoyés étaient plus clairs et mieux présentés.

- Les différents comités, des nominations, du règlement, d'agrégation,

juridique et des congrès régionaux, présentent également leur rapport et leur liste de membres.

- L'assemblée a délibéré au scrutin secret sur différents points :

1. La candidature de l'Association de Radioprotection Israélienne pour l'organisation du 5e congrès international de l'IRPA à Jérusalem en 1980 (candidature déjà posée en 1973) a obtenu la préférence vis-à-vis de la proposition de l'Association indienne de tenir le congrès à Bombay;
2. Les membres du conseil d'administration sont élus comme suit :

- |  |   |
|--|---|
| - Président                              | C.C. Palmiter (USA)   |
| - Vice-Présidente                        | Z.M. Nooteboom-Beekman (Pays-Bas)   |
| - Vice-Président pour le congrès de 1980 | T. Schlesinger (Israël)   |
| - Secrétaire Général                     | J.R. Horan (USA)  |
| - Trésorier                              | P. Courvoisier (Suisse)   |
| - Directeur des publications             | W.S. Snyder (x)   |
| - Conseillers (1973-1980)                | C. Cowper (Canada)<br>B.A.J. Lister (Grande-Bretagne)<br>G. Bresson (France)        |
| - Conseillers (1977-1983)                | V. Kleener (Tchécoslovaquie)<br>H. Jacobs (Allemagne Fédérale)<br>S.D. Soman (Inde) |

3. Sont adoptées les modifications aux statuts telles que la mention des effets des radiations non ionisantes dans les buts de l'IRPA, la confirmation de l'IRPA comme association sans but lucratif (ce qui limite les responsabilités des membres du conseil) et la désignation du trésorier par le conseil d'administration.

4. La contribution annuelle est portée de US \$ 1 à 1,5 par membre.

5. La proposition du Fachverband für Strahlenschutz de voir soutenir par l'IRPA une campagne en vue de l'introduction des nouvelles unités radiologiques n'a pas été retenue après discussion.

6. La proposition de l'Association indienne demandant un soutien financier aux membres qui désirent se rendre aux congrès n'est pas retenue davantage.

L'assemblée générale est clôturée à 20 h.

---

(x) Décédé le 20 juin 1977.

## RADIOFOTOGRAFISCHE TUBERCULOSE-OPSPORING.

A. GYSELEN.

Professor K.U.Leuven, Voorzitter Belgisch Nationaal Werk tot Bestrijding der Tuberculose.

19 maart 1977.

SAMENVATTING.

Overzicht van en kritische beschouwingen over de radiofotografische tuberculose-opsporing (R.T.O.) zoals ze in België wordt toegepast. Gepleit wordt om, zoals in de schoolgeneeskunde is geschied, ook in de arbeidsgeneeskunde de R.T.O. niet langer te verrichten bij tuberculine-negatieve personen en om het bevolkingsonderzoek te beperken tot de personen en groepen, die een hoog tuberculose-risico vertonen.

Het is voldoende bekend dat longtuberculose kan ontstaan zonder - in de beginfase althans - aanleiding te geven tot subjectieve symptomen of klinische tekens. Alleen een röntgenfoto is bij machte beginnende afwijkingen in het licht te stellen.

Vandaar dat in vele landen de tuberculosebestrijding tijdens de laatste decennia werd toegespitst op het massaal en herhaald röntgenonderzoek van gezonde bevolkingsgroepen. Vooral de toepassing van kleinbeeldfotografie heeft deze ontwikkeling in de hand gewerkt. De slogan " X-rays show it before you know it " werd in vele landen en onder diverse vormen vertaald en verspreid en op veel plaatsen werden overheidsmaatregelen genomen om het massaal röntgenonderzoek te propageren en met tussenpozen van één of meerdere jaren te herhalen.

In ons land bestaat de radiofotografische tuberculose-opsporing (R.T.O.) onder drie vormen : in het kader van het medisch schoolonderzoek, in de bedrijfsgeneeskunde en als massaal onderzoek gericht tot de inwoners van steden of gemeenten of tot leden van bepaalde collectiviteiten.

Wat de tuberculose-preventie in het kader van het Medisch Schoolonderzoek betreft (wet van 1964) is onlangs (K.B. van 31 januari 1977) voor de tweede maal een wijziging ingetreden. Oorspronkelijk werd bij alle leerlingen van het middelbaar en het niet-universitair hoger onderwijs jaarlijks een kleinbeeldfoto genomen, ongeacht of ze al dan niet een positieve tuberculine-reactie vertoonden. Vanaf het schooljaar 1973-1974 werden alleen de leerlingen die positief reageerden op de tuberculine gedurende 5 opeenvolgende jaren na de tuberculine-omslag aan het röntgenonderzoek onderworpen. Vanaf 1977 is dit onderzoek beperkt tot de 3 eerstvolgende jaren na de tuberculine-omslag. Dezelfde maatregel (3 jaren na de tuberculine-omslag) geldt thans ook voor het schoolpersoneel jonger dan 45 jaar.

In de arbeidsgeneeskunde moeten alle werknemers jonger dan 21 jaar en alle werknemers in "risico-biedende" bedrijven (nl. risico van pneumoconiose of van tuberculose : bv. ziekenhuispersoneel) eenmaal per jaar een röntgenonderzoek van de thorax ondergaan. Hetzelfde geldt voor alle personen die ingevolge hun beroepsactiviteit met voedingswaren in aanraking komen (K.B. van 17 maart 1971).

Het bevolkingsonderzoek ten slotte richt zich tot de inwoners van steden of gemeenten of tot leden van allerhande collectiviteiten (groepsonderzoek), bv. personeel van bedrijven of instellingen dat niet valt onder de bovengenoemde reglementering in het kader van de arbeidsgeneeskunde.

Het radiologisch onderzoek in het kader van het medisch schooltoezicht en van de arbeidsgeneeskunde is verplichtend gesteld; de deelname aan het bevolkingsonderzoek is vrij. Het Ministerie van Volksgezondheid subsidieert het schoolonderzoek en het bevolkingsonderzoek, terwijl de kosten in het kader van de arbeidsgeneeskunde ten laste zijn van de werkgever.

Het aantal personen dat in België jaarlijks deelneemt aan het bevolkings- en groepsonderzoek bedroeg enkele jaren geleden nog ongeveer 1 miljoen en is thans gevallen op ongeveer 800.000 per jaar. Het zal in de nabije toekomst nog belangrijk verminderd worden. Op

te merken valt dat in tegenstelling tot andere landen, het bevolkingsonderzoek in België niet altijd bijzonder planmatig gebeurde. Bepaalde gemeenten werden vrij regelmatig (vooral in het Vlaamse landsgedeelte), andere zelden en nog andere volstrekt nooit onderzocht.

Het aantal leerlingen onderworpen aan het radiofotografisch onderzoek bedroeg ongeveer 1.200.000 in 1972 en nog een kleine 500.000 in 1975. Tengevolge van het recent K.B. is dit aantal thans drastisch verminderd. De tuberculine-index is bij de schooljeugd de laatste jaren immers sterk teruggelopen en ligt in het lager onderwijs tussen de 1 en 2 %, in het lager middelbaar onderwijs tussen de 3 en 4 % en in het hoger middelbaar onderwijs tussen de 4 en 5%. Dit betekent dat vanaf het schooljaar 1977-1978 nog slechts een goede 100.000 leerlingen jaarlijks radiofotografisch zullen onderzocht worden en ieder van hen slechts gedurende drie opeenvolgende jaren.

Over het aantal werknemers dat wettelijk onderworpen is aan het röntgenonderzoek in het kader van de arbeidsgeneeskunde liggen geen preciese cijfers voor. Wel kan gezegd worden dat de jaarlijkse R.T.O. bij werknemers jonger dan 21 jaar geen zin meer heeft, daar de meeste personen op die leeftijd nog tuberculine-negatief zijn. Tuberculose wordt trouwens thans veel frekwenter aangetroffen in oude dan in jonge leeftijdsgroepen.

Naarmate de tuberculose-verspreiding in de ontwikkelde landen afneemt, vermindert uiteraard het rendement van de R.T.O. Men heeft berekend dat wanneer het percentage gevallen van actieve tuberculose, dat door de R.T.O. ontdekt wordt, daalt onder 0,5 %, de kosten-baten verhouding ongunstig is geworden. Deze grens is thans in de meeste industriële landen reeds overschreden. In ons land ligt het globale rendement van het bevolkingsonderzoek in de buurt van 0,3 %. Op sommige plaatsen nochtans en bij sommige bevolkingsgroepen ligt het percentage van de door de R.T.O. ontdekte nieuwe gevallen van longtuberculose duidelijk hoger.

Naast de kosten-baten factor worden nog twee andere argumenten sinds enkele jaren aangevoerd om af te stappen van de "ongerichte" massale R.T.O.

De tuberculose-gevallen die door de R.T.O. ontdekt worden bevinden zich meestal nog in de beginfase van de ziekte, dwz. deze gevallen vertonen geen klachten noch symptomen en zijn ook (nog) niet besmettelijk. Hoe waardevol de vroegtijdige diagnose-stelling ook moge zijn voor het individu, dat onmiddellijk behandeld kan worden en bij wie aldus verergering voorkomen wordt, het epidemiologisch belang van deze opsporing voor de gemeenschap is zeer beperkt. Tegen dit argument moet wel worden aangevoerd dat - in ons land althans - ongeveer de helft van de toevallig opgespoorde tuberculose-gevallen reeds besmettelijk blijkt te zijn. Blijkbaar geven veel patiënten geen acht aan de eerste symptomen van de tuberculose (m.n. hoesten en opgeven van sputum) en verwaarlozen het een arts te consulteren.

Het tweede argument heeft betrekking tot het stralengevaar, verbonden aan de R.T.O. en waarover de jongste tijd vooral in de lekenpers veel misbaar wordt gemaakt. Door Professor Schonken zal op dit aspect uitgebreid worden ingegaan.

Wanneer men rekening houdt met het feit : 1. dat massale R.T.O. geen zin heeft wanneer zij wordt uitgevoerd op tuberculine-negatieve personen, 2. dat massale R.T.O. zowel financieel (kosten-baten verhouding) als medisch (stralengevaar) niet verantwoord is wanneer er niet een reële kans bestaat om op deze wijze besmettelijke tuberculose-gevallen op te sporen, komt men tot de conclusie dat de R.T.O. niet langer "ongericht" mag geschieden, doch integendeel moet toegespitst worden op al diegenen die een speciaal tuberculose-risico vertonen. Deze risico-groepen zijn de contactpersonen van besmettelijke tb-lijdgers, de niet-gevaccineerde medici, paramedici en het verplegend personeel in ziekenhuizen en verzorgingsinstellingen waar tb-patiënten opgenomen worden, de bewoners van achterbuurten en fabriekswijken waar slechte hygiënische omstandigheden onderlinge besmetting in de hand werken, de sociaal marginalen (de zg. homeless, wifeless, jobless), bij wie alcoholisme

en ondervoeding hand in hand gaan en ten slotte gans in het algemeen de mannen boven de 45 jaar, vooral de rokers, bij wie tuberculose frekwenter blijkt aanwezig te zijn dan in andere bevolkingsgroepen.

## SAMENVATTING

Overzicht van en kritische beschouwingen over de radiofotografische tuberculose-opsporing (R.T.O.) zoals ze in België wordt toegepast. Gepleit wordt om, zoals in de schoolgeneeskunde is geschied, ook in de arbeidsgeneeskunde de R.T.O. niet langer te verrichten bij tuberculine-negatieve personen en om het bevolkingsonderzoek te beperken tot de personen en groepen, die een hoog tuberculose-risico vertonen.

## RESUME

L'article présente une revue, accompagnée de considérations critiques, du dépistage de la tuberculose par examens radiographiques, tel qu'il est pratiqué en Belgique. L'auteur plaide pour qu'il soit mis fin, en médecine du travail, à l'examen radiographique des personnes qui ont présenté une réaction négative au test de la tuberculine, par analogie à ce qui a été admis en médecine scolaire, et pour limiter les examens de la population aux personnes et aux groupes qui présentent un risque élevé de tuberculose.

## SUMMARY

The detection of tuberculosis by radiography as practised in Belgium, is critically reviewed. Arguments are advanced in favour of discontinuing the examination by radiography in industrial medicine of individuals showing a negative response to the tuberculin test, to bring the practice into line with that of school medicine; and also to limit examination of the population to persons or groups showing a high tuberculosis risk.

## ZUSAMMENFASSUNG

Es werden eine Übersicht und kritische Betrachtungen über die in Belgien angewandte radiophotographische Tuberkuloseuntersuchung gegeben. Es wird vorgeschlagen, daß - wie es schon in der Schulheilkunde geschieht - auch in der Arbeitsheilkunde die radiophotographische Untersuchung nicht mehr an tuberculin-negativen Personen auszuführen und die Bevölkerungsuntersuchung auf diejenigen Personen und Gruppen zu beschränken, die einem hohen Tuberkulose-risiko ausgesetzt sind.

Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming Vol.3 nr. 1

RADIOFOTOGRAFISCHE TUBERCULOSE OPSPORING - TECHNISCHE GEGEVENS.

P. SCHONKEN.

Professor K.U.Leuven, Laboratorium voor Nucleaire Meetmethoden, Hoofd van de Fysische Controle van de Dienst voor Radioprotectie.

19 maart 1977.

SAMENVATTING.

Een reeks metingen op installaties voor Radiofotografische Tuberculose Opsporing werden verricht waarbij ingaande dosis, uitgaande dosis en gonadendoses werden bepaald. Aanbevelingen werden gegeven voor vermindering van de stralingsbelasting. Volgens de gebruikte installaties ligt de genetische significante dosis tussen 0,265 mR en 4,2 mR.

Teneinde een realistische kijk te krijgen op de stralingsdosissen die kunnen opgelopen worden door de brede lagen van de bevolking bij systematisch radiofotografisch longonderzoek, werden eind 1976 en begin 1977 een reeks metingen uitgevoerd op verscheidene installaties die in de omgeving van Leuven aanwezig waren.

Drie vaste installaties (in tabel 1 en 2 onder nummers 1, 2 en 4) van uiteenlopende types en twee ambulante (in tabel onder nummer 3 en 5) werden hiervoor geselecteerd.

De metingen werden uitgevoerd met eenzelfde fantoom om ze, wat anatomie betreft, gelijkwaardig te maken.

Wat betreft de blootstelling aan straling werden bij elke installatie deze parameters gebruikt die de operatoren normaal bij de onderzochte personen toepassen. Deze werkwijze werd gevolgd om zoveel mogelijk een juist beeld te verkrijgen van de stralingsbelasting die in het normaal dagelijks gebruik wordt gegeven.

Bovendien werd met enkele steekproeven bij normaal onderzochte personen geverifieerd dat de resultaten van de fantoommetingen representatief zijn.

Als fantoom werd enkel de romp gebruikt van een zelf gemaakt fantoom dat in een plexiglasomhulling een menselijk geraamte bevat en gevuld is met rijstkorrels. Het bevat op een plaats die overeenkomt met de vrouwelijke gonaden een ruimte waarin dosimeters kunnen worden geplaatst die bereikbaar zijn via een buis die in de zijkant van het fantoom uitmondt.

Als dosimeters werden thermoluminescente plaatjes in gesinterd LiF gebruikt (Harshaw Chemical Co 1/8" x 1/8" x 1 mm) die na bestraling werden uitgelezen in een toestel van het type Harshaw 2000. De gevoeligheid van de LiF dosimeters worden na elke thermische behandeling gekalibreerd door een proef bestraling met gammastralen van een  $Co^{60}$  bron.

Twee LiF dosimeters worden voor de meting in een klein plastic zakje uit zwart polyethyleen gestopt en op een geschikte plaats gekleefd.

Als bestralingsprocedure werden normaal 15 tot 25 be-lichtingen gedaan van het fantoom dat met dosimeters geladen was. Dit was nodig om voor de gonadendosis een voldoende grote uitslag te bekomen.

In tabel 1 zijn de meetresultaten weergegeven van de in- en de uitgaande stralingsbundel die in het midden van het veld gemeten werd.

Deze metingen laten volgende interpretaties toe:

- 1) Het gebruik van de zeer gevoelige film laat toe de stralingsdosis sterk te verlagen (installaties 2 en 5). Bij gebruik van dezelfde spanning (90 kV) is voor eenzelfde zwarting een gelijke uitgangsdosis nodig.
- 2) Het toestel 5, dat met een hoog frekwente hoogspanningsgenerator is uitgerust geeft voor eenzelfde uitgangsdosis en een gelijke spanning een lagere ingangsdosis dan toestel 2. Dit is mogelijk te danken aan de kleinere rimpel op de hoogspanning bij de hogere frekwentie, zodat een zuiverder X-stralen spektrum verkregen wordt.

- 3) Bij gebruik van relatief gevoelige film (installaties 1 en 3) is het duidelijk dat de ODELCA kamera van installatie 3 met een nagenoeg tweemaal grotere diafragmaopening in het optisch systeem ook tweemaal minder bestraling nodig heeft dan de gewone optiek gebruikt in het oudere General Electric toestel van installatie 1.

TABEL 1. STRALINGSDOSIS BIJ RADIOFOTOGRAFIE VAN DE LONGEN.

| KILOVOLT | Dosissen in mR/foto Afstand focus-scherm 90 cm Zelfde fantoom |      |                  |      |                  |      |                  |      |                     |     |
|----------|---|------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|---------------------|-----|
|          | TOESTELLEN  |      |                  |      |                  |      |                  |      |                     |     |
|          | 1   |      | 2 <sup>ab)</sup> |      | 3 <sup>ac)</sup> |      | 4 <sup>ad)</sup> |      | 5 <sup>abcef)</sup> |     |
| IN       | UIT   | IN   | UIT              | IN   | UIT              | IN   | UIT              | IN   | UIT                 |     |
| 70       |   |      |                  | 1100 | 5.5              | 1306 | 13.5             |      |                     |     |
| 75       |   | 224  | 2.6              |      |                  |      |                  |      |                     |     |
| 80       |   | 268  | 3.8              | 760  | 7                | 1765 | 29.5             |      |                     |     |
| 85       | 1420  | 14.5 | 303              | 4.3  |                  |      |                  |      |                     |     |
| 90       | 1490  | 13   | 380              | 4.4  | 664              | 8.6  | 1700             | 25.5 | 170                 | 4.3 |
| 95       | 1620  | 14   |                  |      |                  |      |                  |      |                     |     |
| 100      |   |      |                  |      |                  |      |                  |      | 144                 | 6.2 |
| 105      |   |      |                  |      |                  |      |                  |      |                     |     |

- a) "Oude Delft kamera ODELCA"  
 b) zeer gevoelige film  
 c) automatische belichting  
 d) continu regelbaar diafragma  
 e) sprongsgewijze regeling van diafragma  
 f) generator bij hoge frekwentie.

- 4) De automatische belichting bij installaties 3 en 5 geven - zoals op theoretische gronden te verwachten is - een verlagening van de ingaande dosis bij verhoging van de spanning. Bij de andere installaties met manuele instelling van de mAs waarde is de compensatie blijkbaar niet altijd optimaal.

In tabel 2 worden de gonadendosissen aangegeven die overeenkomen met de in- en uitgaande dosissen van tabel 1.

Hierbij is op te merken:

- 1) Bij gebruik van hogere spanning op de X-stralen buis verhoogt de gonadendosis. Dit is een logisch gevolg van de hogere energie van de gestrooide straling.

TABEL 2. GONADENDOSIS BIJ RADIOFOTOGRAFIE VAN DE LONGEN

| KILOVOLT | 1   |      | 2    |      | TOESTELLEN      |     |                 |     | 5   |      |
|----------|-----|------|------|------|-----------------|-----|-----------------|-----|-----|------|
|          | Vr  | Man  | Vr   | Man  | Vr <sup>3</sup> | Man | Vr <sup>4</sup> | Man | Vr  | Man  |
| 70       |     |      |      |      | 0.7             | 0.5 | 2.6             | 0.7 |     |      |
| 75       |     |      | 0.7  | 0.36 |                 |     |                 |     |     |      |
| 80       |     |      | 0.8  | 0.42 | 1.7             | 1   | 5.5             | 1   |     |      |
| 85       | 1.7 | 0.23 | 1    | 0.6  |                 |     |                 |     | 0.4 | 0.13 |
| 90       | 2.1 | 0.29 | 1.05 | 0.6  | 1               | 0.7 | 6.7             | 2.4 |     |      |
| 95       | 2.6 | 0.32 |      |      |                 |     |                 |     |     |      |
| 100      |     |      |      |      |                 |     |                 |     |     |      |
| 105      |     |      |      |      |                 |     |                 |     | 0.5 | 0.14 |

- 2) De grote verschillen in de verhouding tussen de vrouwelijke en de mannelijke gonadendosis bij de verscheidene installaties (van 1,5 tot 8) is mogelijk te wijten aan de constructie van het apparaat vooral voor wat betreft de afscherming van de straling die in de omgeving van het fluorescerend scherm gestrooid wordt. Deze kan de mannelijke gonadendosis opdrijven.

- 3) Over het algemeen kan gezegd worden dat voor de meeste installaties de gonadendosis best kan gecorreleerd worden met de uitgaande dosis.

De vrouwelijke gonadendosis ligt tussen 1/4 en 1/8 van de uittredende dosis, terwijl de mannelijke gonadendosis ligt tussen 1/6 en 1/30 van de uittredende dosis. Hierbij is op te merken dat op de installatie 5 erg gunstige resultaten werden bekomen.

Het lijkt ons dat deze het gevolg zijn van een relatief lagere opstelling van de X-stralenbuis ten opzichte van het scherm zodat de onderkant van de stralenbundel na - genoeg horizontaal door de onderzochte persoon gaat en de uitgaande bundel dus verder van de gonaden verwijderd blijft. Bovendien bleek de groep operatoren zeer bewust te zijn van de gevaren van de straling. Zij besteedden grote aandacht aan de nauwkeurige positionering van de onderzochte persoon die ze dan ook van nabij kunnen observeren (van achter een doelmatige afscherming vlak naast de patient). Er wordt naar gestreefd de onderkant van de bundel vlak onder de onderkant van de longen te positioneren. Bij onderzoek van vrouwen wordt bovendien gebruik gemaakt van een opklapbaar loodpaneeltje dat de bundel aan de onderkant supplementair begrenst.

Samenvattend kunnen we zeggen dat de stralingsbelasting sterk kan verminderd worden wanneer op volgende factoren wordt gelet:

- De film moet zo gevoelig mogelijk zijn.
- Het toestel - is best uitgerust met een lichtsterke ODELCA kamera.
  - vergt een hoogspanning met een kleine rimpel (verlaagt ingangsdosis).
  - liefst een X-stralenbuis die relatief laag geplaatst is t.o.v. het scherm (verlaagt gonadendosis).
  - is best uitgerust met een automatische belichting.
  - moet zodanig geconstrueerd zijn dat zo weinig mogelijk strooistraling de gonaden kan bereiken.
  - moet een gunstige plaatsing van de operator mogelijk maken.
- De operatoren moeten zich terdege bewust zijn van het stralingsgevaar en veel aandacht besteden aan de positionering van de bundel ten opzichte van de onderkant van de longen. Bijkomende diafragmering verlaagt sterk te gonadendosis.

Indien we zouden aannemen dat in schoolverband vanaf 6 jaar tot 18 jaar er jaarlijks een radiografisch onderzoek plaats zou grijpen van de gehele belgische schoolbevolking dan heeft dit een genetische significante dosis tot gevolg die in het gunstigste geval 0,265 mR bedraagt en in het ergste geval 4,2 mR. Indien we aannemen dat de kans op een dode door genetische schade  $10^{-4}$  per rad gonadendosis is dan komt dit voor de totale belgische schoolbevolking neer op minder dan één dodelijk slachtoffer per jaar indien ze allen op de minst gunstige installatie zouden worden onderzocht.

Volgens de huidige reglementering terzake (zie hiervoor het deel Medische Aspecten en Indicaties van Prof. A.Gyselen) beantwoordt deze veronderstelling niet meer aan de realiteit en is met de huidige regeling de genetische zowel als de somatische schade verwaarloosbaar klein, vooral als deze vergeleken wordt met de positieve bijdrage tot de gezondheid van de bevolking die de nog verrichte onderzoeken met zich meebrengt.

SAMENVATTING.

Een reeks metingen op installaties voor Radiofotografische Tuberculose Opsporing werden verricht waarbij ingaande dosis, uitgaande dosis en gonadendoses werden bepaald.

Aanbevelingen werden gegeven voor vermindering van de stralingsbelasting. Volgens de gebruikte installaties ligt de genetische significante dosis tussen 0,265 mR en 4,2 mR.

RESUME.

Une série de mesures sur des installations de dépistage de tuberculose par radiophotographie a été effectuée. Les doses à l'entrée et à la sortie et les doses aux gonades ont été déterminées.

Des recommandations pour diminuer la dose sont données.

Suivant l'installation la dose génétique significative se situe entre 0,265 mR et 4,2 mR.

SUMMARY.

A series of measurements was performed at radiophotografic installations for tuberculose survey. Ingoing and outcoming doses and gonad doses were measured.

Recommendations are given for lowering the irradiation dose. The genetic significant dose was in the range of 0,265 mR to 4,2 mR.

ZUSAMMENFASSUNG.

Messungen an unterschiedene Radiophotografische Anlagen für Tuberculose Diagnose sind angegeben. Eintritts - und Austrittsdosen sowie Gonadendosen wurden gemessen.

Vorschriften zur Dosismäßigung sind angegeben. Die Genetisch Significante dosis liegt zwischen 0,265 mR und 4,2 mR.

Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming Vol.3 nr.1

DOSIMETRIE BIJ COMPUTER TOMOGRAFIE VAN DE ROMP - TECHNISCHE GEGEVENS

P. SCHONKEN (x), G. MARCHAL (xx), Y. COENEN (xx), A. BAERT (xxx)

(x) Professor K.U.Leuven, Laboratorium voor Nucleaire meetmethoden, Hoofd van de Fysische Controle van de Dienst Radioprotectie.

(xx) Dienst Röntgendiagnostiek Akademisch Ziekenhuis  
St.-Rafaël Leuven.

(xxx) Professor K.U.Leuven, Dienst röntgendiagnostiek, Akademisch Ziekenhuis, St.-Rafaël Leuven.

19 maart 1977.

SAMENVATTING.

Door fantoommetingen werden isodosen opgemeten die zich voordoen bij axiale computer tomografie (C.T.). Hieruit kunnen gonadendosissen worden afgeleid. Deze metingen worden gecorrigeerd met patiëntendosissen, waarbij gebruik gemaakt wordt van een rectaalsonde voor het bepalen van de ovariodosis. De verandering van de ovariodosis met de bekkenomtrek wordt aangegeven.

De C.T.-dosis is van dezelfde grootteorde als deze die bij een meer klassiek röntgenonderzoek (I.V.P.) door de patiënt wordt opgelopen.

INLEIDING.

Door axiale computer tomografie (C.T.) kunnen beelden met zeer grote dichtheitsresolutie worden verkregen van dwarsdoorsneden van lichaamsdelen.

Dit is een belangrijke aanvulling van de röntgentechniek die normaal enkel projecties oplevert met relatief lage dichtheitsresolutie.

De axiale computer tomografie maakt hierbij gebruik van recente verdoordreven technologische ontwikkelingen.

Voor deze techniek zijn in de vakliteratuur dan ook nog maar zeer schaarse gegevens te vinden over dosissen die patienten oplopen die aan dergelijke onderzoeken worden onderworpen. Niet alleen zijn de gegevens schaars, maar wat ons vooral stoort, was dat er enerzijds wel metingen op fantomen gebeurd zijn en anderzijds enkele fragmentaire metingen bij patienten maar dat beide zeer moeilijk met elkaar te vergelijken bleken en we er niet in slaagden van een inzicht te krijgen in wat er precies gaande is. Vooral is het niet duidelijk welke de invloed is van de individuele constitutie van de patient. (bv. lichaams-gewicht, lengte ...) op de ontvangen gonadendosis.

We stellen ons daarom bij deze studie tot doel te trachten fantoommetingen en metingen bij patienten met elkaar in verband te brengen en de hierbij opgelopen dosissen te vergelijken met deze die bij meer klassieke roentgen technieken voorkomen. Als vergelijkingsbasis werd dosimetrie uitgevoerd bij patienten die een intraveneus pyelografie onderzoek ondergaan.

#### AXIALE COMPUTER TOMOGRAFIE

Aan de hand van een zeer groot aantal metingen van absorptie van fijne X-stralen bundels die in verschillende richtingen door het lichaam van de patient gaan, wordt door de computer een beeld samengesteld van hoe de patient er van binnen moet uitzien om de gedane absorptiemetingen te kunnen verklaren. Dit beeld wordt in een computergeheugen opgeslagen als een reeks absorptiewaarden op punten die gerangschikt zijn volgens een raster in een vlak. Deze absorptiewaarden kunnen als cijfers worden uitgelezen, maar voor diagnosedoeleinden is het meestal handiger ze als verschillende grijswaarden of als verschillende kleuren op het scherm van een kathodestraalbuis zichtbaar te maken. Het toestel dat bij deze metingen wordt gebruikt was een  $\Delta$  scan 50 van de firma Ohio - Nuclear Inc (vertegenwoordigd door Siemens A.G. Medical Engineering Group, Erlangen). Het maakt gebruik van een x-stralenbuis die onder 120 KV spanning werkt met een stroom van 30 mA. De X-stralen worden gefiltreerd met 3mm Al, waaraan nog 3 mm Al kan worden toegevoegd. Een collimator laat drie platte bundeltjes X-stralen door die op zes detectoren

vallen nadat ze door de patient zijn gegaan.

De X-stralenbuis en de detektoren bewegen parallel en synchroon op rails zodat een hele doorsnede van de patient door de bundels wordt afgetast. Nadat de buis en de detektoren aan het eind van hun rails zijn gekomen worden de rails over een hoek van  $3^\circ$  gedraaid en wordt opnieuw afgetast. Aldus wordt 60 maal hetzelfde vlak afgetast onder verschillende hoeken. Hierbij wordt door de buis en de detektoren dus een hoek van  $180^\circ$  beschreven, waarbij de buis van de ene horizontale stand onder de patient doorgekomen is tot in de andere horizontale stand. De huid dosis op de rug van de patient zal dus de hoogste zijn, alleszins veel hoger dan aan de buikzijde.

#### MEETMETHODEN

Fantoom - metingen werden uitgevoerd op een Alderson fantoom dat ons bereidwillig werd ter beschikking gesteld door het Erkend Organisme Corapro (SCK - Mol). Dit fantoom bestaat uit een weefsel - equivalent plastic waarin een geraamte is ingebed. Het is verdeeld in genummerde schijven van 2,5 cm dikte, waarin op een rooster van 3 cm x 3 cm opgevulde gaten van 5 mm zijn voorzien waarin dosimeters kunnen geplaatst worden.

Thermoluminescent dosimeter - plaatjes in LiF ( $1/8'' \times 1/8'' \times 1$  mm - firma Harshaw) werden in verscheidene verpakkingen gebruikt in dit onderzoek:

- Voor metingen in het fantoom werden ze in de 5 mm gaten ter plaatse gehouden door speciaal gevormde stukjes polyethyleen.
- Voor metingen van de huiddosis of andere oppervlakte dosissen werden ze verpakt in zwarte plastic zakjes (twee kristalletjes per zakje) die met een kleefband op de geschikte plaats werden gehouden.
- Voor metingen waarbij een preciese lokalisatie van de stralenbundel diende bekomen te worden, werden tien LiF kristalletjes in een aaneengesloten rij ingelast in een zwart polyethyleen zakje (strip).
- Voor metingen in het rectum van patienten werd een aaneengesloten rij kristalletjes in een dichtgelaste urinekatheter nr. 2 gestapeld. Deze sonden werden bij de patient in een dik-

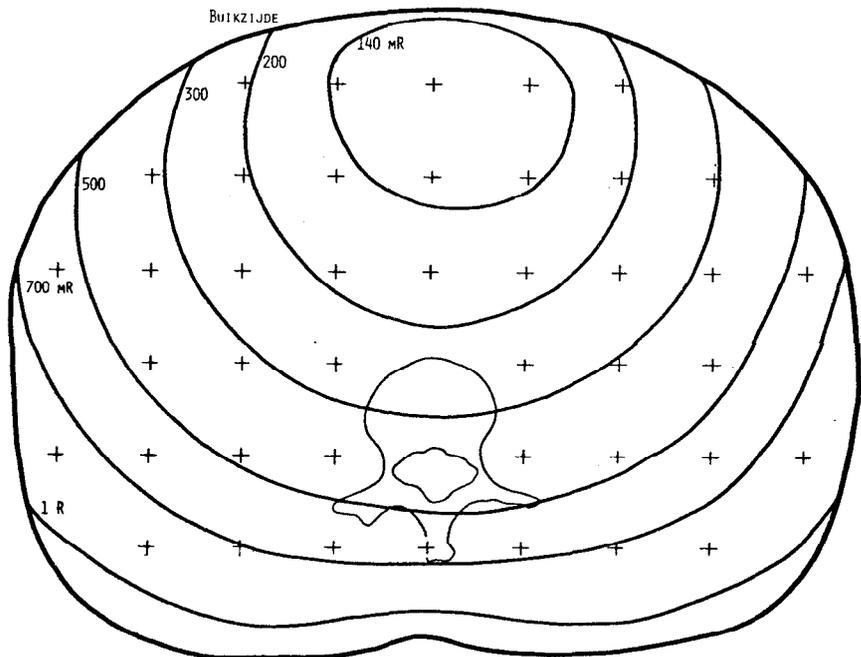
kere rektaalsonde geplaatst die voorafgaandelijk werd aangebracht en die tijdens het gehele onderzoek kon blijven zitten, terwijl verschillende meetsondes na elkaar gemakkelijk op een reproduceerbare plaats konden worden gestoken.

Alle T.L.D. dosimeters werden op een Harshaw 2000 apparaat uitgelezen dat voorafgaandelijke behoorlijk was gecalibreerd.

### RESULTATEN VAN FANTOOMMETINGEN

- In schijf 23 van het fantoom (deze plaats komt overeen met de ligging van de pancreas) werden reeksen van 3 LiF dosimeters aangebracht. Het gemonteerde fantoom werd zodanig op de  $\Delta$  scan gepositioneerd dat het vlak van de X-stralen bundel zich precies in het midden van de schijf bevond.

Fig.1.



SCAN v. PANCREAS FANTOOMMETING DWARSDOORSNEDE (SCHIJF 23) ISODOSEN IN mR VOOR EEN SCAN

Indien het bestralingsvlak midden in deze schijf valt worden de drie dosimeters aan eenzelfde dosis onderworpen daar de stralenbundel breder is dan deze drie dosimeters ( $3 \times 3,2 =$

Fig. 2. Dosisverloop in een centrale doorsnede door het fantoom (scan in schijf 23)

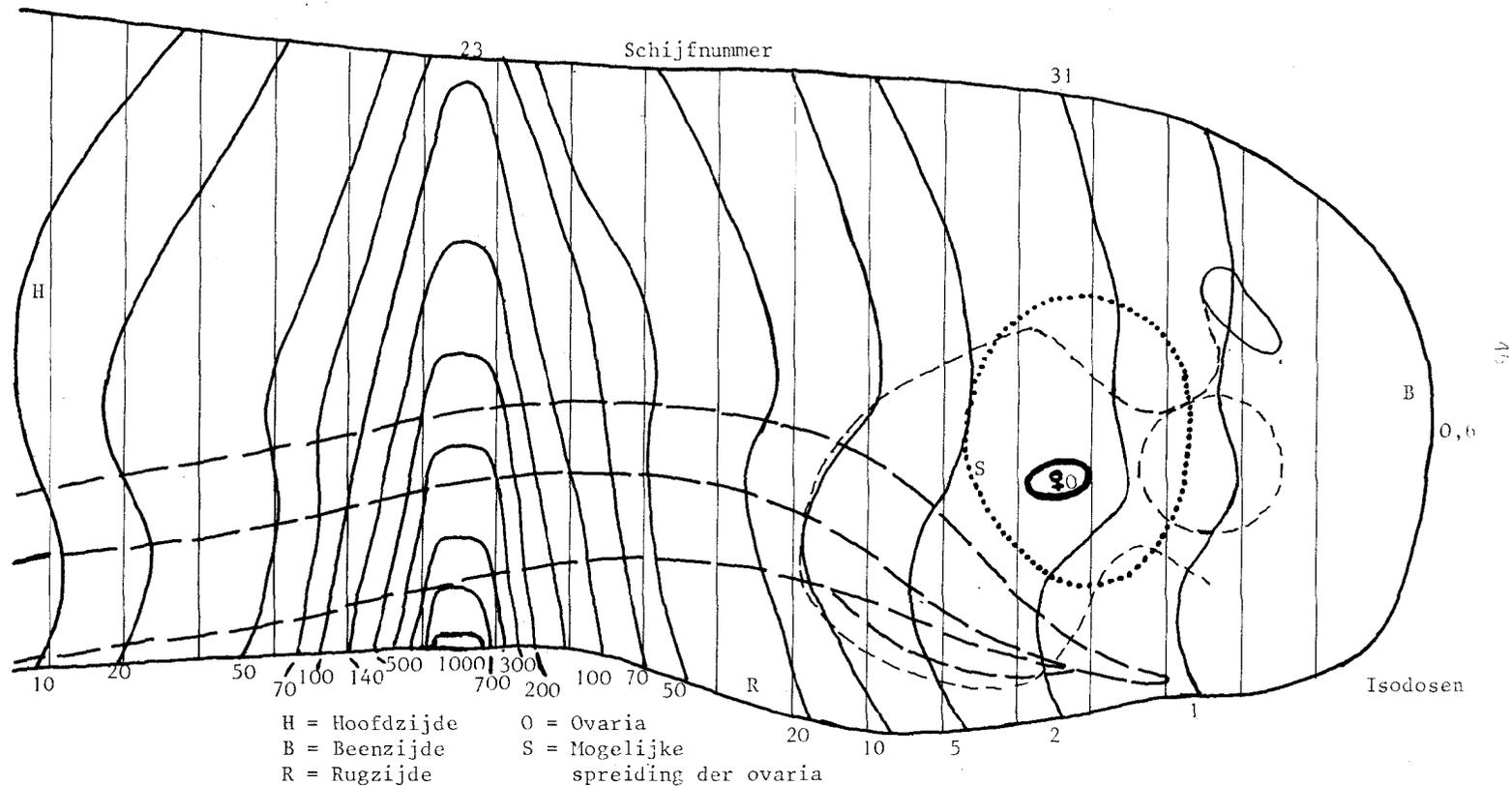
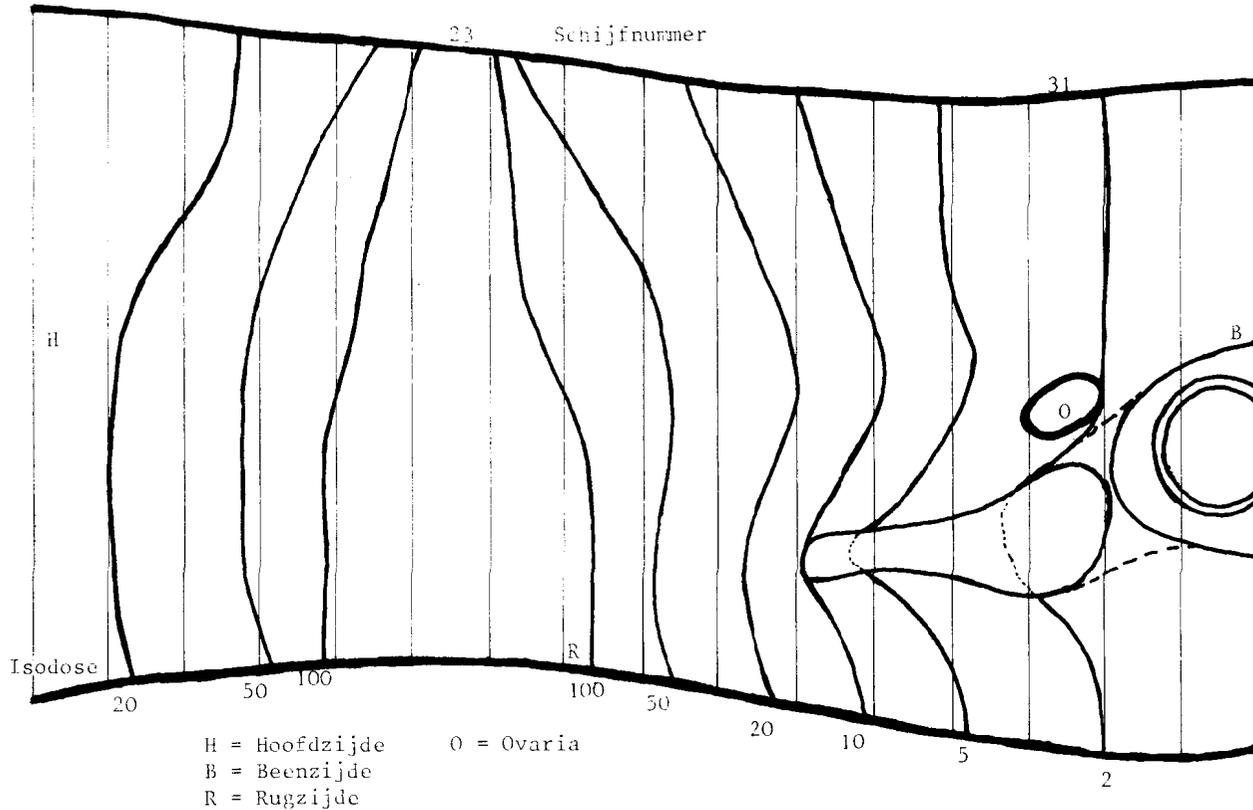


Fig. 3. Dosisverloop in een overlangse doorsnede door de ovaria (rechts)

Scan in schijf 23 Isodosen in mRas/scan

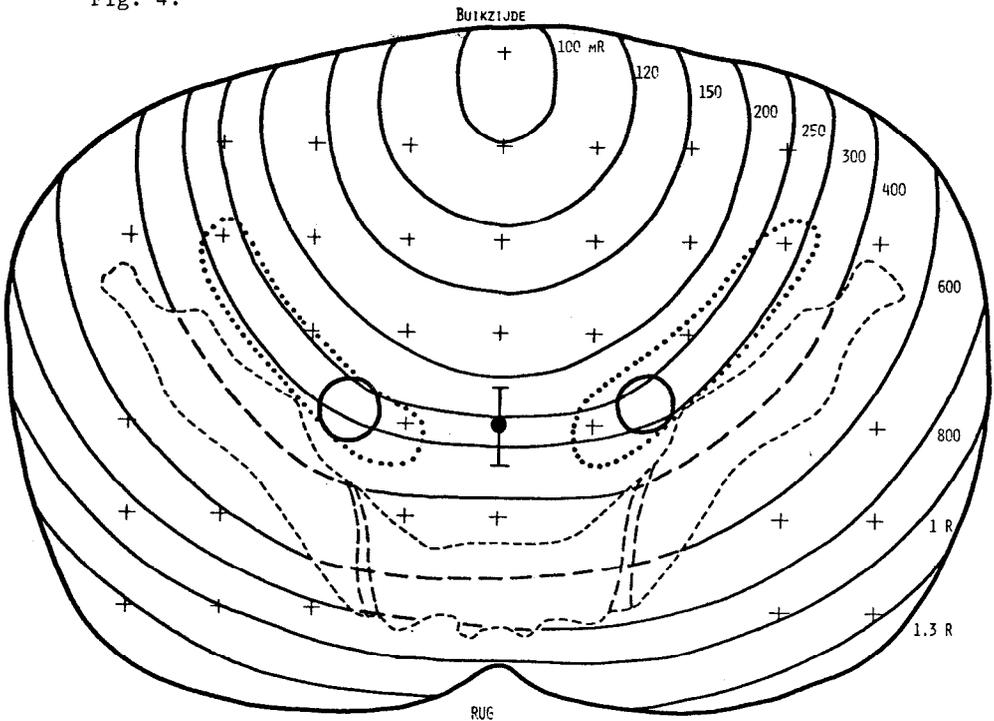


9,6 mm; breedte van de bundel in midden van fantoom is ongeveer 16 mm). Een gelijke uitlezing van elke reeks van drie dosimeters garandeert dat de positionering van de bundel ten opzichte van de schijf van het fantoom juist was. Op deze manier werden de isodosen verkregen die in figuur 1 zijn aangegeven. Bovendien werden in de naburige schijven nog dosimeters geplaatst zodat ook in de langsrichting het dosisverloop kan worden nagegaan. Zo werden voor een overlangse doorsnede in het midden van het fantoom de isodosen bepaald (fig. 2) evenals voor de overlangse doorsnedes die door de gemiddelde ligging van de vrouwelijke gonaden gaan. (fig. 3 geeft de overlangse doorsnede door de rechter ovaria). Op deze doorsnedes komt duidelijk de hogere stralingsabsorptie tot uiting van het beenderstelsel wat schaduw effecten veroorzaakt in de verder af liggende delen. Opgemerkt kan ook worden dat voor één scan ter hoogte van de pancreas de vrouwelijke gonadendosis 3 mRad bedraagt, terwijl de mannelijke gonadendosis ongeveer 0,6 mRad belooft. Een volledige leverscan van bijvoorbeeld vijf scans (tien sneden) geeft een totale vrouwelijke gonadendosis van 17 mRad en een mannelijke gonadendosis van 3 mRad.

- Door analoge metingen werden ook in schijf 31 de isodosen bepaald (fig. 4). Deze schijf werd gekozen omdat ze overeenkomt met de gemiddelde ligging van de vrouwelijke gonaden. Alhoewel de plaats van de ovaria grote individuele verschillen vertoont, zullen ze steeds liggen tussen de blaas en het bekkenbeen. Uit metingen op een dertigtal hysterografieën kon de gemiddelde ligging en de spreiding bij normale individuen worden aangegeven (fig. 2 en 4 puntlijn). We kunnen hierbij opmerken dat eveneens het rectum zich tussen de blaas en het bekkenbeen bevindt en uit een reeks axiale tomografieën kon de gemiddelde ligging van het rectum op deze hoogte worden opgemeten. De gemiddelde ligging is eveneens op fig. 4 aangegeven. De spreiding op de ligging van het rectum is klein. Op de figuur merken we ook op dat de ovaria steeds nagenoeg op dezelfde isodose blijven en dat deze zelfde isodose ook door het rectum gaat. Hieruit kunnen we afleiden dat door het inbrengen

van dosimeters in een rectaalsonde een vrij nauwkeurige meting van de vrouwelijke gonadendosis moet mogelijk zijn. Indien de gonaden in de rechtstreekse bundel komen bij een scan dan ligt de ovariodosis tussen 200 en 250 mRad bij het fantoom dat overeenkomt met een gewicht van 75 kg en een bekkenomtrek van 104 cm.

Fig. 4.



SCAN v. BEKKEN FANTOOMMETING DWARSDOORSNEDE DOOR OVARIA (SCHIJF 31) ISODOSEN IN mR VOOR ÉÉN SCAN

In de schijf die er naast ligt (dus 25 mm van het midden van de bundel) is de dosis ongeveer 120 mRad, twee schijven verder (op 50 mm) nog ongeveer 60 mRad en drie schijven verder (op 75 mm) nog ongeveer 40 mRad. Indien dus zeven scans worden verricht met de gonaden in de middenste scan, wordt een totale ovariodosis bereikt tussen 650 en 500 mRad.

METINGEN BIJ PATIENTEN

Zoals te verwachten was leverden de metingen met rectaalsonden bij patienten uiteenlopende dosissen op. Hierbij werd opgemerkt dat naarmate de patient dikker is de ovariadosis lager ligt. Dit beantwoordt aan de verwachtingen: daar de X-stralenbuis met een konstante spanning en stroom wordt gebruikt, zal naarmate de patient dikker is er ook meer straling worden geabsorbeerd voor ze de gonaden kan bereiken.

TABEL 1. GONADENDOSIS VOOR ACHT SCANS

| <u>BEKKENOMTREK</u> | <u>VROUW</u> | <u>MAN</u> |
|---------------------|--------------|------------|
| 90 cm               | 900mR        |            |
| 100                 | 750          | 75 mR      |
| 120                 | 350          |            |

Het bleek uit de metingen dat de gonadendosis bij de patienten beter te correleren was met de bekkenomtrek dan met het gewicht. In tabel 1 zijn gonadendosissen in functie van de bekkenomtrek aangegeven voor scans waarbij de ovaria in de rechtstreekse bundel komen.

Er deden zich echter soms wel moeilijkheden voor: blijkbaar was de rectaalsonde niet altijd diep genoeg aangebracht wat te merken is aan een stijgende waarde van de dosissen die op de reeks kristallen van de sonde werd afgelezen. Indien geen plateauwaarde wordt bekomen duidt dit er op dat de sonde buiten het veld van de rechtstreekse stralingsbundel is gebleven. Dat de sonde niet diep genoeg zat kon geverifieerd worden aan de hand van de scanbeelden. Er wordt gezocht naar een methode om ook deze metingen te kunnen valoriseren. Dit moet mogelijk zijn uit de vorm van het dosisverloop dat zich in het rectum voordoet, dat uit fantoommetingen kan worden bepaald.

VERGELIJKINGEN MET DOSISSEN BIJ I.V.P. ONDERZOEK

Bij het I.V.P. onderzoek zullen de ovaria zich noodzakelijk in de primaire stralenbundel bevinden. Daarom werd dit onderzoek ook gekozen om als vergelijking te dienen met de axiale computer tomografieën waarbij de ovaria ook door de rechtstreekse bundel worden getroffen. Het bleek al spoedig bij de metingen op patienten dat "het I.V.P. onderzoek" met een unieke combinatie van opnamen niet bestaat. Om een gemiddelde dosis bij een patient te kunnen bepalen zouden dus metingen met een groot aantal combinaties van opnamen moeten worden verricht. Dit bleek echter praktisch niet realiseerbaar wegens het zeer groot aantal metingen dat dit zou meebrengen. Daarom hebben we metingen uitgevoerd op het Alderson fantoom en bij patienten voor de verschillende opnamen afzonderlijk. Alle metingen gebeurden met dezelfde medische ploegen in dezelfde zaal (Karakteristieken van het toestel : Generator Tridoros Optimatic 800 mA; RX buis Bi 150/40/101R/1002, eigen filtering 1 mm Al bijvoegbaar 0 - 3 mm Al; tafel Siregraph B Bouwjaar 1976 ; versterkerfolie High Plus). Voor elke soort opname werden een tiental metingen verricht bij verscheidene patienten. Hierbij leek het ons best de verandering van de gemeten dosissen in functie van het gewicht van de patient te bepalen.

Uit de fantoommetingen konden we afleiden dat we voor deze bepalingen ook gebruik konden maken van de rectaalsonden bij patienten, alhoewel hier de ovaria niet altijd zo goed op dezelfde isodose liggen dan bij de computer tomografie. Ook bleken de individuele afwijkingen groter te zijn dan bij C.T.

Tabel 2 geeft een synthese van het belangrijk aantal metingen dat hier werd verricht. Alhoewel het gemiddeld gewicht van de patienten slechts 70 kg bedroeg (gewichten lagen tussen 56 en 84 kg) werden alle waarden omgerekend naar een patient van 75 kg om beter vergelijkbaar te zijn met de fantoommetingen. De grote spreiding in de resultaten is wel opvallend. De aangegeven waarschijnlijke fout zou kunnen verminderd worden door een groter aantal metingen.

TABEL 2. STRALINGSDOSIS BIJ I.V.P. OPNAMEN (mR/OPNAMEN)

|             | Ingaande Dosis | Uitgaande Dosis | Ovariadosis |            | Invloed van gewicht (3) | KV(4)   |
|-------------|----------------|-----------------|-------------|------------|-------------------------|---------|
|             |                |                 | Fantoom(1)  | Patient(2) | mR/kg                   |         |
| Overzicht   | 1270+ 920      | 33 + 20         | 91,5        | 108 + 20   | 1,6                     | 70 - 80 |
| Leeg        | 1330+ 610      | 43 + 28         | 115,5       | 125 + 56   | 2                       | 70 - 80 |
| Blaasstreek |                |                 |             |            |                         |         |
| Vol         | 1640+1030      | 24 + 25         |             | 87 + 34    |                         | 70 - 80 |
| Zono        | 1600+ 310      |                 | 4,3         | 5 + 4      |                         | 60      |
| Tomo        | 2400+ 670      | 25 + 13         | 4,45        | 4 + 2      |                         | 57 - 66 |
| Nierspot    |                |                 | 3,5         |            |                         | 60      |

- (1) Het fantoom komt overeen met een standaard man van 75 kg.
- (2) De patiënten metingen gebeurden met rectaalsonden (bespreking: zie tekst). Het gewicht van de patiënten lag tussen 53 en 84 kg. De metingen werden genormaliseerd naar een patient van 75 kg.
- (3) Bij herleidingen van de patientgewichten wordt voor de patient zwaarder dan 75 kg voor elke kg boven de 75 kg de hier aangegeven waarde toegevoegd.
- (4) De spanning op de buis is hoogst voor zwaardere patienten. De filtratie was standaard 3 mm Al. Het toestel is uitgerust met automatische belichting.

De resultaten lieten ook zien dat de zwaardere patienten in dit geval meer dosis oplopen dan de lichtere. Dit is verklaarbaar daar het hier gaat om een toestel met automatische belichting dat dus zorgt voor een gelijke zwarting van de roentgenfilms, zodat zwaardere patienten hogere ingangsdosis en hogere ovariadosis zullen oplopen. We hebben dan ook aangegeven hoe de dosis verandert met het gewicht van de patient. In vergelijking met de fantoommetingen blijkt de rectaaldosis een lichte overschatting van de ovariadosis te geven. Dit kan verklaard worden door een lagere densiteit van de darmmassa (aanwezigheid van gassen) bij de patienten in vergelijking met het fantoom.

De meting met volle blaas bevat echter de mogelijkheid tot een aanzienlijke systematische fout. Op dat ogenblik is de blaas gevuld met contrastvloeistof wat dus de rectaalsonde goed afschermt. Indien de ovaria zich dicht bij het rectum bevinden, vertegenwoordigt dit een goede meting. Indien echter de ovaria zich in de meest laterale positie bevinden zullen ze aan de afscherpende werking van de gevulde blaas kunnen ontsnappen en zal de dosis sterk onderschat kunnen zijn, te meer daar de automatische belichting een grotere ingangsdosis zal veroorzaken.

TABEL 3. GONADENDOSIS BIJ PATIENTEN VOOR TOTAAL I.V.P. ONDERZOEK  
GONADENDOSIS

| Patient | Gewicht | Vrouw<br>berekend(1) | Vrouw<br>gemeten(2) | Man<br>gemeten(4) |
|---------|---------|----------------------|---------------------|-------------------|
| 1       | 63      | 571 + 120            | 504                 |                   |
| 2       | 52,5    | 407 + 156            | 316                 |                   |
| 3 (5)   | 68      | 213 + 80             | 176                 |                   |
| 4 (5)   | 70      | 220 + 80             | 171                 |                   |
| 5       | 75      | 384 + 120            | 443                 |                   |
| Norm(3) | 75      | 691 + 224            |                     |                   |
| Man (4) |         |                      |                     | 52 + 36           |

(1) De waarden en de waarschijnlijke fouten werden berekend uit de gegevens van tabel 2.

(2) Metingen bij deze patienten werden uitgevoerd met rectaalsonde.

(3) De hier aangegeven berekende waarde is geldig voor een volledig genormeerd onderzoek bij een patient van 75 kg dat omvat: overzicht/ lege blaas/ Zono's (3)/ Nierspot/ Tomo's (3)/ Afloop (2)/ volle blaas/ lege blaas.

(4) Bij een reeks van 9 mannen van uiteenlopend gewicht werden de mannelijke gonadendosissen gemeten. Daar de resultaten geen al te hoge spreiding vertoonden en niet sterk afhankelijk waren van het gewicht werden al deze metingen hier samengebracht.

(5) Onvolledig onderzoek.

Houden we echter geen rekening met deze factor dan kunnen we de ovariodosis bij patienten aan de hand van tabel 2 schatten. Om onze berekeningen aan de werkelijkheid te toetsen werden bij een vijftal patienten met behulp van rectaalsonden de dosissen gemeten. De resultaten staan vermeld in tabel 3. Hieruit blijkt dat de gemeten waarde meestal goed binnen de berekende grenzen valt. Met de dosis te wijten aan scopie werd hierbij geen rekening gehouden daar de scopie tijden zeer kort zijn en de dosis laag wegens het gebruik van een goede beeldversterker.

We mogen aannemen dat de ovariodosis bij een I.V.P. onderzoek ongeveer 400 - 800 mRad bedraagt, wat lager is maar toch van dezelfde grootteorde dan de ovariodosis bij de  $\Delta$  scan wanneer de bundel door de ovaria gaat en een achttal scans worden genomen.

#### BESLUIT

- 1) Bij axiale computertomografie bij de volwassenen is de gonadendosis te wijten aan onderzoeken hoger dan de lever, verwaarloosbaar klein ( $< 10$  mRad).
- 2) Voor een volledige leverscan is de ovariodosis van de grootteorde van 20 mRad en de mannelijke gonadendosis maximaal 5 mRad.
- 3) Indien echter de tomografische snede in de onmiddellijke omgeving van de ovaria komt kan de ovariodosis tot 1 Rad oplopen. Deze dosissen zijn hoger maar van dezelfde grootteorde als deze die bereikt worden bij een typisch I.V.P. onderzoek. Het is dus aangeraden deze onderzoeken bij vrouwelijke patienten in de reproductieve periode (beneden 30 jaar) zoveel mogelijk te beperken en zekere onderzoeken niet toe te passen indien geen zekerheid bestaat dat de patient niet zwanger is.
- 4) Een goede meting van de ovariodosis kan voor T.C. bij  $\Delta$  scan 50 bekomen worden door gebruik te maken van een rectaalsonde.

LITERATUUR

KRAUSS, O ; SCHUHMACHER, N:

Patientendosis bei der Ganzkörper - Computertomographie;  
CT News (Siemens) Juni 1976

LINKE, G ; PAULI, K ; PFEILER, M:

A propos de la radioexposition du patient au cours de la  
tomographie du patient au cours de la tomographie axiale  
traverse computerisée.

Electromedica 1/1976, 15

EWEN, K ; FISCHER, P.G.; FIEBACH, J.O:

L'irradiation par rayonnements utile et parasite en tomo-  
densitométrie.

Electromedica 1/1977, 7.

SAMENVATTING.

Door fantoommetingen werden isodosen opgemeten die zich voordoen bij axiale computer tomografie (C.T.). Hieruit kunnen gonadendosissen worden afgeleid. Deze metingen worden gecorreleerd met patiëntendosissen, waarbij gebruik gemaakt wordt van een rectaalsonde voor het bepalen van de ovariodosis. De verandering van de ovariodosis met de bekkenomtrek wordt aangegeven.

De C.T.-dosis is van dezelfde grootteorde als deze die bij een meer klassiek röntgenonderzoek (I.V.P.) door de patiënt wordt opgelopen.

RESUME.

Les isodoses ont été déterminées sur fantôme lors de l'irradiations tomodynamométriques. Des doses gonades en ont été déduits. Ces valeurs sont corréllés avec des doses mesurées sur patients par une technique utilisant une sonde rectale.

La dépendance de la dose aux ovaires de la circonference a hauteur du bassin est indiquée.

Les doses lors des irradiations tomodynamométriques sont d'un même ordre de grandeur que celles encourues lors d'examens roentgenologiques plus classiques (P.I.V.).

SUMMARY.

Isodose curves have been obtained for fantom irradiations in computer tomography. From these results gonad doses have been determined. These measurements are correllated with measurements on patients, using a technique of measurement in the rectum. Dependance of ovary doses with body circumference is given.

C.T. dose is of the same order of magnitude as dose encountered in more classical roentgenological explorations (I.V.P.).

ZUSAMMENFASSUNG.

Isodosenkurven für Ganzkörper - computertomographie wurden an einen Phantom gemessen. Von diesen Resultaten wurden Gonadendosen abgeleitet. Diese sind correlliert worden mit Patientemessungen, wobei eine Rectalsonde gebraucht wurde. Die Abhängigkeit der Ovarialdosis vom Körperumsatz is angegeben.

Die C.T. dosen liegen in die selbe größenordnung wie Dosen die in mehr klassischen Roentgenuntersuchungen (I.V.P.) bekommen werden.

## MOTIVATIONS, ARGUMENTS ET METHODES DE LA CAMPAGNE ANTINUCLEAIRE

E.H. HUBERT.

Union des Exploitations Electriques en Belgique, Galerie Ravenstein, 4  
Bruxelles.

Décembre 1977.

RESUME.

Après avoir rappelé que de tout temps l'homme a amélioré sa qualité de vie mais que les nouveautés techniques ont suscité des controverses prenant la protection de la nature pour prétexte, l'auteur recherche pourquoi la contestation a pris particulièrement pour cible l'énergie nucléaire.

Les principaux arguments généralement avancés par la contestation anti-nucléaire, qu'ils soient d'ordre technique, écologique, économique ou social sont examinés. L'article mentionne les diverses formes, pamphlétaires, juridiques, quelques fois même violentes de cette contestation et indique les conséquences possibles d'un abandon temporaire ou définitif du recours à la production nucléaire d'électricité.

L'auteur conclut à l'intérêt des mesures d'économie d'énergie et à la diversification des ressources pour satisfaire aux besoins créés par le maintien du niveau actuel de la qualité de la vie.

## I. INTRODUCTION

L'exposé de ce jour s'écarte en son esprit, quelque peu de ceux qui sont présentés d'habitude à la tribune de l'Association Belge de Radioprotection. En effet, il s'agit le plus souvent de données expérimentales scientifiques ou techniques conduisant à la formulation de certaines théories ou lois scientifiques dont le degré d'incertitude ne dépend que des imprécisions dans la mesure ou le choix des paramètres.

Par contre, dans un domaine comme celui qui fait l'objet du présent exposé, aux éléments scientifiques et techniques s'ajoutent des éléments économiques, sociaux et politiques voire philosophiques qui se prêtent beaucoup moins bien à une quantification un tant soit peu précise. Dès que ces concepts entrent en ligne de compte, il devient plus aisé de mettre en doute sinon la validité des arguments scientifiques et techniques au moins leur caractère d'élément essentiel dans la prise de décision.

Aussi ne faut-il pas s'étonner que même des voix autorisées aient contesté la validité de certaines théories étayées par des faits scientifiques comme par exemple la rotation de la terre ou de certaines applications telles le chemin de fer où on affirmait que l'homme ne pouvait survivre à des vitesses supérieures à 40 km/h ou au passage dans des tunnels.

Mais au-delà de ces oppositions qu'aucun fait scientifique ne pouvait justifier, il est des problèmes où l'interprétation de faits expérimentaux identiques conduit à des conclusions diamétralement opposées: la nature corpusculaire ou ondulatoire de la lumière en est un exemple. En fait, c'est que la réalité des choses est multiple et que la complexité des disciplines conduit à n'apercevoir qu'un aspect de cette réalité.

Dans le domaine de la sauvegarde de l'environnement, d'aucuns souhaiteront maintenir la nature inchangée, voire la ramener à un état antérieur tandis que d'autres voudront améliorer les conditions de vie en établissant un bilan des avantages et inconvénients de chaque modification.

Si d'un point de vue théologique, on peut défendre que la nature doit être conservée, on doit se demander de quel droit on tue des animaux nuisibles et de quel droit on épuise les sols par l'exploitation agricole ou minière. Même si on ramène la notion d'écologie à la protection de l'homme, on peut se demander s'il convient par exemple de prolonger la vie à n'importe quel prix. De même, dans le domaine de la matière inerte, on peut se demander si la sauvegarde de l'environnement ne conduit pas à refuser la canalisation des rivières, l'établissement de barrages ou toute modification du milieu. Evidemment, en poussant l'argumentation à la limite, on devrait reprocher à Michel Ange d'avoir détérioré la colline pour extraire le marbre destiné à sa sculpture de David.

La sauvegarde de l'environnement dévie ainsi vers une série de questions dont la réponse est inévitablement subjective telles que : qu'est-ce qui est beau, qu'est-ce qui est bon, pour qui cela est-il profitable? On en arrive automatiquement à des réflexions amères sur le bien-fondé des actes humains et il vaut mieux laisser aux philosophes le soin d'en découdre en nous limitant à des problèmes plus matériels et plus accessibles à une certaine objectivité.

Notre civilisation est basée sur l'égoïsme humain qui veille à assurer d'abord à l'homme les moyens de vivre c'est-à-dire de se défendre contre les agressions extérieures des intempéries, des animaux, voire des autres hommes et d'assurer sa subsistance journalière; puis cet égoïsme veille à perpétuer la race humaine et lui procurer le bien-être physique de la santé, le confort matériel et les satisfactions intellectuelles et artistiques. Mais tout cela exige un certain travail pour l'exécution duquel l'homme doit maîtriser la

matière au moyen de son énergie personnelle, de celle des autres êtres vivants ou de la nature. Cet égocentrisme de l'homme l'a, dès lors, conduit à poser un certain nombre d'actes dont il n'a pas lieu d'être fier : la transformation de terres arables en désert, comme en Afrique du Nord, l'extermination de certaines espèces animales, l'esclavagisme.

On pourrait sans doute considérer sous le même angle la dilapidation de richesses naturelles provenant d'organismes vivants telles les forêts, des réserves de charbon, de pétrole, de gaz et par extension de richesses naturelles provenant de matières inertes telles les minerais métalliques et plus particulièrement les matières susceptibles de produire l'énergie de fission ou de fusion. On en arrive alors à préconiser l'utilisation des seules matières éternellement disponibles ou reconstituables.

Dans le domaine des matières premières minérales, on devrait, dès lors, se limiter à des matériaux qui pourraient être intégralement récupérés après usage et dans le domaine énergétique aux énergies hydraulique, éolienne, géothermique, marémotrice ou maréthermique, solaire et végétale.

Mais on se heurte à d'autres difficultés telles que l'impossibilité pratique et surtout économique de la récupération intégrale des matières premières minérales; dans le domaine énergétique aussi, la mise en oeuvre exclusive des énergies permanentes ou reconstituables se bute à des obstacles insurmontables sur le plan technique et économique.

Dès lors qu'il n'est pas possible d'assurer à l'humanité les biens (matières et énergie) nécessaires à sa subsistance sans porter atteinte à des richesses naturelles, on est amené à faire un bilan des avantages et inconvénients de chaque activité destinée à la mise à disposition de ces biens. On devra donc établir, compte tenu de l'état actuel des connaissances et techniques, un inventaire des ressources exploitables non seulement en quantités globales mais aussi en fonction de leur répartition géographique.

Le second volet sera celui des besoins ou de la demande car la notion de besoin est très subjective mais il faudra tenir compte de l'évolution temporelle de cette demande car non seulement chaque homme aspire à disposer de plus de bien-être matériel mais aussi le nombre d'êtres humains croît de manière rapide.

Enfin, le troisième volet du bilan sera constitué par les inconvénients associés à la mise en oeuvre de l'activité considérée; on y distinguera les inconvénients certains et les inconvénients potentiels qui ne se matérialisent pas obligatoirement : dans cette dernière catégorie on devra apprécier l'importance de l'inconvénient associée à la probabilité de sa réalisation.

L'établissement d'un tel bilan est particulièrement difficile et ne peut être l'oeuvre d'hommes isolés quelle que soit leur compétence; chacun veut participer à ce travail mais souvent il se borne à apporter des éléments destructeurs plutôt que constructifs car la critique est aisée et l'art difficile. Ce besoin de participer individuellement à tout s'est développé fortement au cours du XXe siècle et a été favorisé par l'extension de la formation et de l'information.

L'énergie nucléaire est un cas typique parce que science nouvelle, chacun croit pouvoir l'apprendre et être qualifié pour émettre des avis d'autant plus définitifs qu'on connaît mal les problèmes.

## II. LES MOTIVATIONS DE LA CAMPAGNE ANTINUCLEAIRE

La première question que l'on peut se poser est de savoir pourquoi la contestation s'est attaquée surtout à l'énergie nucléaire et pas, par exemple, aux transports, à la concentration urbaine, au bruit ou à l'automatisation; les arguments n'auraient pas manqué : les accidents, la pollution atmosphérique, les marées noires, les bidonvilles, la perturbation du sommeil, la perte d'emplois sont certainement des inconvénients indiscutables de la vie moderne.

La contestation s'est en fait cristallisée sur la consommation d'énergie et de matières premières qui est considérée par beaucoup comme caractéristique de la civilisation actuelle. Le rapport du Club de Rome intitulé "Halte à la croissance" a été une manifestation de cette conception et la crise du pétrole liée à celle du Moyen Orient a encore accentué la critique du domaine énergétique.

Mais ces critiques ne visaient pas spécialement le nucléaire qui au contraire apparaissait comme une source d'énergie d'appoint complémentaire. Il est certain qu'au début les explosions de Hiroshima et de Nagasaki ont contribué à faire associer dans l'esprit du public énergie nucléaire et danger. Mais ultérieurement des motivations plus profondes et plus subtiles ont suscité les mouvements d'opposition. C'est ainsi qu'on a associé à l'énergie nucléaire la notion d'une société plus intégrée avec une certaine perte d'indépendance individuelle, une centralisation vers les grandes agglomérations, voire des problèmes de démographie et l'opportunité de limiter les naissances. On a vu, dès lors, se développer des théories déjà anciennes préconisant le retour à la nature et à une forme de vie plus semblable à celle des ancêtres. Ce n'est pas là un fait nouveau car Tacite fait déjà allusion à la tactique de louer le passé pour critiquer le présent mais on oublie un peu trop aisément les difficultés et inconvénients que notre civilisation a éliminés.

Par contre, l'industrialisation a incontestablement augmenté la pollution et les critiques de notre société ont souvent fait de la lutte antipollution un puissant cheval de bataille. Malheureusement les critiques se trompent parfois d'adresse et ignorent volontairement ou involontairement que certaines activités humaines parfaitement acceptées créent une pollution beaucoup plus proche des limites de tolérance pour la santé que celle engendrée par exemple par l'énergie nucléaire. Pour placer les divers risques de pollution dans une perspective correcte, il est indispensable d'entrer dans des explications dont la compréhension exige une formation scientifique qui inévitablement échappe à la majorité du public.

De plus, les moyens perfectionnés dont on dispose aujourd'hui pour diffuser les connaissances a conduit à ce que chacun se croit capable d'émettre une opinion sensée sur n'importe quel sujet.

Or précisément à cause de la complexité croissante des connaissances, chaque homme voit se rétrécir le domaine où il peut être vraiment compétent. Le savant n'échappe pas à la règle et souvent, en raison même de sa connaissance en profondeur d'un domaine, il a tendance à n'en pas mesurer les limites en largeur. On voit alors émettre des avis opposés par des personnes considérées par le public comme compétentes. La science y perd du prestige et le public se met à douter de tout et à considérer la science et la technique comme les sources de tous les maux. Il ne faut quand même pas oublier que Gengis Khan a tué pratiquement autant d'hommes que la bombe atomique. En réalité la science et la technique ne sont que des instruments et c'est l'usage que l'homme en fait qui est source de bien ou de mal.

### III. LES ARGUMENTS

Les opposants à l'énergie nucléaire se basent sur un certain nombre d'arguments que l'on peut classer en 4 catégories :

- les déficiences techniques de l'exploitation
- la détérioration de l'environnement
- les contraintes économiques
- les problèmes socio-politiques.

Dans la première catégorie, ils distinguent les problèmes d'exploitation normale pour lesquels aucune solution "adéquate" n'existe et les risques d'accidents.

Dans le premier groupe, ils partent de l'hypothèse que les solutions actuelles du stockage des résidus ne présentent pas des garanties suffisantes : ils estiment que le stockage en couches géologiques ou en silos contrôlés ne sont pas acceptables dans une société dont la

stabilité n'est pas assurée à l'échelle de centaines ou de milliers d'années en raison de la longue durée de la radioactivité. Mais, on pourrait tenir le même raisonnement à fortiori pour des déchets chimiques qui présentent une certaine toxicité éternelle.

L'argument de la reconcentration de radioéléments qui auraient été volontairement ou involontairement dispersés dans la nature n'est pas sans valeur sans doute mais on oublie trop aisément de dire qu'il en a été tenu compte dans la fixation des normes de rejet.

Un autre argument est celui du plutonium qu'on présente comme le produit le plus toxique existant dont une masse de la taille d'une orange (quelques kgs) suffirait à tuer toute l'humanité. Ici on omet deux arguments à savoir que le plutonium n'atteint cette toxicité qu'en injection intraveineuse à raison de l'ordre de 1 microgramme par individu. Bien d'autres produits ou accidents possibles tueraient aussi toute l'humanité avec une dispersion aussi poussée et régulière. Par ailleurs les essais nucléaires ont dispersé dans l'atmosphère plusieurs tonnes de plutonium avant 1963 et l'humanité existe encore.

Passant aux accidents, les opposants font souvent état de plusieurs centaines d'accidents par an aux USA confondant accident avec incident d'exploitation, sans aucune conséquence autre qu'une réparation souvent mineure. On cite des études qui font état de la possibilité d'accidents produisant des milliers de morts mais on omet d'y associer les probabilités correspondantes et surtout d'observer qu'à ce jour il n'y a eu aucune mort accidentelle d'homme due aux radiations dans les centrales en service.

En ce qui concerne la détérioration de l'environnement les opposants s'attachent beaucoup à l'argument que toute irradiation si faible soit elle conduit à des détériorations de la santé.

Or, il est actuellement établi qu'en matière d'effets somatiques, il existe un seuil de dose lié à la notion de débit en dessous duquel des phénomènes de réparation interviennent. Dans le domaine des effets génétiques, il n'a pas été possible jusqu'à présent d'établir de manière scientifique certaine qu'un seuil existe et la CIPR a donc admis

à titre conservatoire une relation linéaire "effets-doses".

Une autre "déficiência technique" à laquelle il est souvent fait allusion est la pollution thermique qu'il conviendrait mieux d'appeler "effets thermiques" car s'il est aisé de définir un degré de pollution (c.à.d. de contamination) chimique ou radioactive, il est impossible de définir une température correspondant à une pureté parfaite. En pratique les variations de température en plus ou en moins peuvent être bénéfiques ou nocives selon l'espèce animale ou végétale considérée.

Par contre l'argument qui s'attaque au gaspillage des calories rejetées à l'environnement est indiscutablement valable et des efforts pour améliorer le cycle thermo-dynamique sont précieux. Dans ce domaine, on peut songer au recours à des techniques plus perfectionnées soit sur le plan du cycle même (emploi de réacteurs à températures élevées surrégénérateurs ou non) ou sur le plan de la récupération des calories à basse température (serres, chauffage industriel ou domestique) mais souvent on se heurte à des contraintes économiques qui limitent ces améliorations.

Un dernier argument sur le plan technique est le "gigantisme" des installations et en particulier les atteintes à l'environnement esthétique constituées par les cloches et les cheminées. Sans doute ces constructions peuvent créer des perspectives détériorant des sites naturels mais le maintien d'une nature indemne n'est pas compatible avec la société moderne et on peut se demander si les routes, les constructions urbaines, industrielles ou domestiques ne polluent pas davantage l'esthétique en raison de leur multiplicité : pour alimenter notre pays en énergie électrique, il suffit d'une dizaine de sites de production importants.

Au plan économique, les arguments des opposants au nucléaire sont également très variés, ce qui n'implique nullement qu'ils soient

valables car souvent ils ne résistent pas à une analyse sérieuse.

Ainsi, un des arguments cités fréquemment est que l'énergie dépensée pour fabriquer et mettre en oeuvre les matériaux constituant d'une centrale nucléaire est largement supérieure à l'énergie que cette centrale peut développer au cours de sa vie industrielle. Pourtant des études entreprises indépendamment dans plusieurs pays ont montré que l'énergie consommée équivalait selon les hypothèses à 3 à 6 mois de production. D'autres auteurs ont établi une comparaison entre l'énergie consommée par la recherche nucléaire (pacifique et militaire) au cours des années 1945-1965 avec l'énergie produite par les centrales nucléaires et en tirent la conclusion aberrante que l'énergie nucléaire consomme dix fois plus d'énergie qu'elle n'en produit mais en ayant soin de ne pas citer l'origine des chiffres qui ne se rapportent pas aux mêmes choses.

D'autres arguments de nature économique interprètent erronément certaines informations correctes en soi. C'est ainsi, par exemple, que l'on fait état de réductions de consommation d'énergie électrique pendant les années 1974-1975 pour s'opposer à la décision de construction de centrales nucléaires nouvelles. Mais on oublie que dès 1976 et au 1<sup>er</sup> semestre 1977 la croissance a repris et que les consommations dépassent celles de 1973 ; en outre, des décisions de construction n'influencent la production que 8 à 10 ans plus tard, temps pendant lequel non seulement la consommation aura encore augmenté (moins vite sans doute) et que de vieilles centrales devront être désaffectées.

On reproche volontiers aussi les investissements élevés pour la construction de centrales nucléaires, particulièrement en temps de crise, mais on omet de dire que ces investissements procurent beaucoup plus de travail à la main d'oeuvre nationale que les centrales classiques et que dans le coût de production d'un kWh nucléaire 75 % environ sont dépensés dans le pays contre 33 % dans le cas du kWh conventionnel.

Par ailleurs, on fait état d'indisponibilités très élevées d'unités nucléaires, ce qui ne se vérifie que dans des cas isolés, mais on omet d'analyser la nature des incidents dont la plupart sont imputables à la partie non nucléaire de la centrale.

Au plan socio-politique, on reproche fréquemment à l'énergie nucléaire une centralisation excessive qui réduit l'emploi. S'il est vrai que les unités de puissance élevée exigent proportionnellement moins de personnel, cet argument est vrai pour toute industrie et il est certain que la décentralisation et la production artisanale supprimeraient le chômage mais au prix d'un renchérissement considérable de toute unité produite, ce qui abaisserait immédiatement le pouvoir d'achat d'un chacun et par voie de conséquence le niveau de vie.

Pour d'autres opposants, l'énergie nucléaire engendre une société policière en raison du danger de prolifération des armes nucléaires et du chantage possible.

S'il est évident que la détention illicite d'armes nucléaires peut tenter des individus, des groupements politiques, voire des nations, il faut savoir que les matières utilisées en centrales nucléaires ne sont adaptables à des fins militaires que moyennant des traitements très complexes accessibles seulement à des nations très développées et motivées. Les contrôles internationaux rendent cette détention pratiquement irréalisable. Par contre, les exemples ne manquent pas où la simple détention d'armes très classiques conduit à des prises d'otages individuels ou collectifs et à des conflits entre ethnies ou nations. Il ne faut pas confondre des éventualités très peu probables avec des réalités journalières.

On a aussi contesté la validité de l'argument de la consommation rapidement croissante des pays en voie de développement en affirmant que ces pays ne pouvaient tirer avantage de l'énergie nucléaire dont la technologie est trop complexe. Mais à l'échelle mondiale, si les pays industrialisés recourent à l'énergie nucléaire, cela laissera aux pays moins industrialisés la possibilité du recours au charbon et au pétrole, res-

sources que nombre d'entre eux possèdent dans leur sous-sol, d'où réduction des transports massifs de pétrole dont les conséquences sont parfois dramatiques. Depuis peu, les opposants à l'énergie nucléaire ont commencé à proposer des solutions qui devraient permettre de se passer de cette énergie. Ces solutions sont de trois ordres : une limitation de la consommation tendant à une croissance zéro voire négative, la décentralisation et le recours à des énergies alternatives en principe inépuisables.

La lère solution est évidemment une extrapolation déraisonnable de l'idée d'économie : il est certainement très souhaitable de réduire au minimum la consommation d'énergie nécessaire à une production donnée et de faire la chasse aux gaspillages, mais cette notion est comprise différemment selon les gens. La consommation d'énergie pour la radio et la T.V., l'éclairage routier, le confort électroménager, par exemple, peut être ressentie par certains comme un gaspillage d'énergie mais par d'autres comme des témoignages d'une qualité meilleure de la vie.

Le recours à d'autres formes d'énergie telles les énergies solaire, éolienne, maréthermique, marémotrice, géothermique est certainement à souhaiter dans la mesure où ces techniques le permettent, mais elles ne peuvent contribuer qu'à une très faible partie de la production nécessaire au moins d'ici 50 ans. En outre, ces énergies ne sont pas en général disponibles à proximité des centres de consommation au moins en quantités suffisantes.

Quant à la décentralisation, que certains présentent comme la clé des économies d'énergie, si les pertes par transport sont réduites, il ne faut pas oublier que le coût unitaire sera d'autant plus élevé que les unités seront petites et qu'en raison des réserves indispensables la puissance totale de petites unités disséminées sera supérieure à celle de grandes unités concentrées. D'ailleurs, dans le domaine de la production industrielle, il est prouvé que la centralisation conduit à une économie d'énergie et dès lors la décentralisation conduira à une consommation supérieure pour un même résultat ce qui en d'autres termes s'appelle gaspillage.

#### IV. LES METHODES

On a vu par les exemples précédents que les opposants n'hésitent pas à présenter soit de simples contrevérités soit à sortir certains éléments de leur contexte pour en donner des explications tendancieuses. Mais face aux décisions prises en faveur du recours à l'énergie nucléaire dans des pays nombreux et de conditions très diverses telles les Etats-Unis, l'URSS, l'Europe occidentale, l'Amérique latine, le Japon, l'Iran, l'Egypte, l'Inde, le Pakistan, la Corée, etc., les opposants ont créé des mouvements qui se réclament de l'écologie ou de la sauvegarde de l'environnement et font état de déclarations de savants hostiles à l'énergie nucléaire. Nous noterons en passant que les véritables écologistes et protecteurs de la nature sont en faveur de l'énergie nucléaire en raison de la pollution infiniment moindre qu'elle engendre.

Parmi les savants, ayant signé des manifestes antinucléaires, on observe qu'il s'agit le plus souvent de personnalités n'ayant pas de formation spécialisée en science et technique nucléaires mais dans des domaines assez différents. C'est ainsi qu'un manifeste belge a recueilli essentiellement l'adhésion de géographes, astronomes, vétérinaires, philologues, économistes mais se présentant pour le public comme des universitaires, ce qui est exact sans doute mais susceptible de conduire à une généralisation erronée.

Les actions prennent parfois la forme de conférences, livres, films qui respectent la forme démocratique de liberté bien que n'hésitant pas à déformer les faits. Je voudrais citer le cas d'un film récent où des vues destinées à créer une impression de danger ont été prises dans un milieu différent de celui faisant l'objet du film mais tellement bien présentées que le public s'y méprend.

Mais d'autres actions moins démocratiques prennent la forme de manifestations et de tentatives d'occupation de sites par la violence quand ce n'est pas le simple sabotage des installations par dépôt d'explosifs. Quand la police ou la gendarmerie est requise pour protéger les biens et personnes, on ne manque pas de crier à la provocation et à la brutalité, mais les armes, les cocktails molotov, les barres de fer et autres objets saisis lors de contrôles des manifestants ne justifient-ils pas les réactions de la force publique?

D'autres méthodes moins brutales consistent en l'emploi de référendums et procédures juridiques qui ont pour but d'introduire des délais, d'occasionner des frais d'intérêt grevant le prix de revient. Des techniques plus raffinées encore consistent à réclamer un risque nul sachant bien qu'il s'agit d'une utopie et qu'au-delà d'un certain niveau de sécurité le coût d'une amélioration minime devient hors proportion avec le bénéfice escompté.

Enfin, des campagnes de désobéissance civile ont été lancées incitant les consommateurs à ne pas payer les factures d'énergie s'il est fait recours à l'énergie nucléaire.

Une dernière méthode à signaler est celle qui préconise un moratoire dans l'attente que tous les problèmes soient résolus et que la sécurité totale soit garantie : c'est un peu comme si on interdisait l'usage de l'automobile ou des conserves alimentaires sous prétexte qu'il y a encore des accidents et des empoisonnements.

Sur le plan de la tactique, on peut noter que les opposants s'efforcent de détourner le personnel compétent des tâches de réalisation en les obligeant à se consacrer à la controverse. Une méthode fréquente est celle de citations incontrôlables en séance.

## V. CONSEQUENCES POSSIBLES

Le droit de contester est sans aucun doute un droit qui fait partie des libertés de la société démocratique mais ce droit entraîne des devoirs dont celui d'accepter les conséquences des avis de la majorité. Plus encore, ceux qui contestent se bornent à détruire quelque-chose sans proposer de solution de rechange valable et acceptable aussi par tous. Que de fois n'avons-nous entendu les contestataires déclarer : nous voulons avoir le droit de refuser telle formule qui ne nous convient pas, mais ce n'est pas notre rôle d'en proposer une autre. Très souvent ceux qui contestent représentent une minorité très active, mais une minorité quand même.

La majorité du public est en général sans opinion arrêtée soit parce que les éléments d'appréciation lui manquent, soit parce qu'il n'a pas le désir, ni surtout le temps de s'intéresser à tous les problèmes.

Les protagonistes d'une technique, par contre, sont une minorité aussi, mais elle se consacre à réaliser plutôt qu'à critiquer et de ce fait elle est moins bruyante. Les media ont d'ailleurs une tendance à donner plus d'audience à la critique qu'aux réalisations et ce pour des raisons de psychologie commerciale.

A ce stade on peut s'interroger sur les conséquences possibles d'un refus temporaire ou définitif de l'énergie nucléaire.

Sans vouloir faire une analyse détaillée, on peut en tout cas affirmer que, malgré les réductions de gaspillage et les économies éventuelles, la demande d'énergie croîtra dans les prochaines décennies. La production de pétrole ne pourra suivre cette demande et on se trouvera confronté à un accroissement de prix important accompagné d'une limitation de disponibilité sur le marché. Si, au début, les pays producteurs de pétrole connaîtront une rentrée massive de devises, ils ne pourront guère en profiter car les pays industrialisés se seront appauvris et leur production ne sera plus suffisante pour l'exportation.

Le risque d'un accroissement de chômage mondial est certain, ce qui peut à moyen terme entraîner l'apparition de dictatures et de guerres pour la détention des ressources énergétiques limitées.

Pour éviter de tels bouleversements, dont on ne peut présager les conséquences lointaines pour l'humanité, il nous paraît que la seule solution consiste à diversifier au maximum les ressources énergétiques en ne laissant de côté aucune d'entre elles : il appartient aux scientifiques et aux ingénieurs de mettre tout en oeuvre pour que les inconvénients éventuels de telle ou telle méthode soient réduits au minimum compatible avec la sauvegarde de la santé mais aussi de la qualité de la vie.

RESUME.

Après avoir rappelé que de tout temps l'homme a amélioré sa qualité de vie mais que les nouveautés techniques ont suscité des controverses prenant la protection de la nature pour prétexte, l'auteur recherche pourquoi la contestation a pris particulièrement pour cible l'énergie nucléaire. Les principaux arguments généralement avancés par la contestation anti-nucléaire, qu'ils soient d'ordre technique, écologique, économique ou social sont examinés. L'article mentionne les diverses formes, pamphétaires, juridiques, quelques fois même violentes de cette contestation et indique les conséquences possibles d'un abandon temporaire ou définitif du recours à la production nucléaire d'électricité.

L'auteur conclut à l'intérêt des mesures d'économie d'énergie et à la diversification des ressources pour satisfaire aux besoins créés par le maintien du niveau actuel de la qualité de la vie.

SAMENVATTING.

De mens heeft steeds gestreefd naar een verbetering van de levensvoorwaarden maar technische nieuwigheden hebben steeds opstandige reacties opgewekt met de bescherming van de natuur als voorwendsel.

De auteur onderzoekt waarom de contestatie zich tegenwoordig bijzonder tegen de kernenergie heeft gericht.

De belangrijkste argumenten die meestal door de anti-nucleaire contestatie naar voren worden gebracht, worden onderzocht zowel op technisch, ecologisch, economisch als op sociaal vlak.

Het artikel vermeldt de verschillende vormen van contestatie : pamfletten, gerechtelijke vervolgingen, geweld of uitspattingen en duidt de mogelijke gevolgen aan van een tijdelijke of definitieve afschaffing van het aanwenden van kernenergie voor elektriciteitsproductie.

In zijn besluiten beklemtoont de auteur het belang van de energiebesparing en de diversificatie van de energiebronnen om de huidige levensstandaard te kunnen handhaven.

SUMMARY.

Having recalled that, since his earliest beginnings, man has sought to improve the quality of his life, but that technical innovations have always invited opposition by those who claimed to be protecting nature, the author seeks to establish why this opposition has been particularly strong in the case of nuclear energy.

The principal arguments generally put forward by the anti-nuclear faction, be they technical, ecological, economic or social, are examined. The paper discusses the various tactics used by those who argue against nuclear development - distributing pamphlets, filing law-suits or even, at times, the use of violence - and outlines the possible consequences of a temporary or permanent abandonment of the nuclear generation of electricity.

The author concludes by favouring economics in the use of energy and a diversification of resources in order to satisfy the requirements set by the present-day standard of living.

ZUSAMMENFASSUNG.

Nach der Feststellung, daß der Mensch zu allen Zeiten seine Lebensquali-

tät verbessert hat, daß jedoch die technischen Neuerungen Kontroversen unter dem Vorwand des Schutzes der Natur hervorgerufen haben, stellt der Verfasser die Frage, warum dieser Widerstand insbesondere die Kernenergie zum Ziel hat. Er untersucht die hauptsächlich technischen, ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Argumente, die im allgemeinen von der Gegnern der Kernenergie vorgebracht werden.

Der Aufsatz erwähnt die verschiedenen publizistischen, juristischen und zuweilen gewalttätigen Formen dieser Gegnerschaft und weist auf die möglichen Folgen eines zeitweiligen oder endgültigen Verzichts auf die Erzeugung von Elektrizität mit Hilfe der Kernenergie hin.

Der Verfasser plädiert für Energiesparmaßnahmen und die Diversifizierung der Energiequellen, um die für die Erhaltung des gegenwärtigen Standes der Lebensqualität notwendigen Bedürfnisse zu befriedigen.