

ANNALEN
VAN
DE BELGISCHE VERENIGING
VOOR
STRALINGSBESCHERMING

VOL. 13, N° 1

1e trim. 1988

Driemaandelijkse
periodiek
1050 Brussel 5

Périodique
trimestriel
1050 Bruxelles 5

ANNALES
DE
L'ASSOCIATION BELGE
DE
RADIOPROTECTION

Hoofdredacteur

Dr M.H. FAES
Fazantendreef, 13
2850 Keerbergen

Rédacteur en chef

Redactiesecretariaat

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

Secrétaire de rédaction

Publikatie van teksten in de Annalen gebeurt onder volledige verantwoordelijkheid van de auteurs.

Nadruk, zelfs gedeeltelijk uit deze teksten, mag enkel met schriftelijk toestemming van de auteurs en van de Redactie.

Les textes publiés dans les Annales le sont sous l'entière responsabilité des auteurs.

Toute reproduction, même partielle, ne se fera qu'avec l'autorisation écrite des auteurs et de la Rédaction.

INHOUD

Dit nummer bevat de teksten van de uiteenzettingen gedaan op 03/04/87 ter gelegenheid van een vergadering van de B.V.S. gewijd aan :
ACHTERGROND BESTRALING EN LAGE DOSISSEN.

SOMMAIRE

Ce numéro contient les textes des exposés présentés le 3 avril 1987 lors d'une réunion organisée par l'A.B.R. consacrée à :
FOND DE RAYONNEMENT ET FAIBLES DOSES.

- J.P. DEWORM	
Bepaling van de terrestrische komponent van de straling in België	5 - 32
- H. VANMARCKE, A. POFFIJN, F. RAES, G. EGGERMONT, J. UYTENHOVE, P. BERKVENS, R. VAN DINGENEN, R. BOURGOIGNIE, R. JACOBS	
Radon in het leefmilieu	33 - 56
- A. LEONARD	
Effets biologiques des faibles doses de rayonnements ionisants	57 - 66
- STATUTS	67 - 68
- STATUTEN	69 - 70
- CONSEILS AUX AUTEURS	71 - 72
- RICHTLIJNEN VOOR AUTEURS	73 - 74
- INSTRUCTIONS TO AUTHORS	75 - 76
- LISTE DES MEMBRES - LEDENLIJST	77 - 90

BEPALING VAN DE TERRESTRISCHE KOMPONENT
VAN DE STRALING IN BELGIE.

ir. DEWORM J.P.
Departement S.K.V.
S.C.K./C.E.N.
Boeretang 200
2400 MOL

SAMENVATTING

De kennis van de natuurlijke achtergrondstraling is belangrijk vanuit het standpunt dat het één van de stralingsbelastingfactoren vormt voor de Belgische bevolking. Anderzijds geeft de bepaling van de kaart van de stralingsniveau's de mogelijkheid ter gelegenheid van ongewilde lozingen uit kerninstallaties een preciese schatting uit te voeren van de verhoging der stralingsniveau's.

Hiertoe werd over het gehele Belgische grondgebied het stralingsniveau bepaald. Dit werd in samenwerking met het Instituut voor Hygiëne en Epidemiologie uitgevoerd. Naast deze kampanjes wordt eveneens een meetnet, uitgerust met thermoluminescente dosimeters, uitgebaat zodanig dat men een opvolging heeft van de gemeten stralingsniveau's.

Tenslotte kon hetzij door rechtstreekse metingen in het veld, hetzij door bodembemonstering, een direkt verband gelegd worden tussen het gehalte aan natuurlijk radionukliden in de bodem en het stralingsniveau erboven.

Men kan aldus het Belgisch grondgebied opsplitsen in drie specifieke stralingszones waarbij de jaarlijkse stralingsniveau's begrepen zijn tussen 0.40-0.65, 0.65-0.90 en 0.90-1.10 mSv.

1. INLEIDING

Voor 1985 bestond er geen systematische kaart van de spreiding van het natuurlijk stralingsniveau over het Belgisch grondgebied. Gedurende de jaren 1983 en 1984 werden twee meetkampanjes uitgevoerd over heel het Belgisch

grondgebied, om dit stralingsniveau te bepalen. Deze metingen werden uitgevoerd door het Studiecentrum voor Kernenergie en in samenwerking met het Instituut voor Hygiëne en Epidemiologie.

Het eerste doel van deze studie was het opstellen van deze stralingskaart. Als tweede doel kan men deze kaart aanwenden om de weerslag van lozingen tengevolge van ongevallen met kernreactoren te schatten. Deze gegevens van deze meetkampanjes werden aangevuld met waarden afkomstig van andere metingen zoals bodemstalen, een thermoluminescent meetnet en bepaling van de energie der bodemstralers met behulp van gamma-spektrometrie.

Alle waarden, opgenomen in dit verslag, werden uitgedrukt in SI-eenheden. Als omzettingfactoren kan men toepassen : $1\text{Bq} = 27\text{ pCi}$, 10 nSv ekwivalent aan $1\text{ }\mu\text{R}$.

2. STRALINGSKOMPONENTEN VAN NATUURLIJKE OORSPRONG

2.1. Kosmische straling.

Deze komponent is functie van de hoogte boven het aardoppervlak en van de barometrische druk.

De primaire kosmische straling van hoge energie die de atmosfeer binnendringt, zal door interactie met de atoomkernen van de lucht sekondaire straling doen ontstaan. Deze laatste is een complexe samenstelling van verschillende deeltjes waaronder muonen, elektronen, protonen en neutronen de voornaamste zijn. Men kan deze sekondaire straling verder opsplitsen in een "zachte komponent", bestaande uit fotonen en elektronen en een "harde komponent", bestaande uit muonen. De zachte komponent wordt afgezwakt bij hun doorgang door materialen, daar waar de harde komponent pas op zeer grote diepte onder het aardoppervlak volledig afgezwakt wordt. De ionisatie die deze componenten teweeg brengen ter hoogte van het aardoppervlak, kunnen ook gemeten worden door bepaalde meetapparatuur.

De harde komponent maakt 75 % uit van de ionisatie op het zeeniveau. De resterende 25 % zijn afkomstig van de zachte komponent die volledig opgeslorpt wordt door 10 cm lood. Het dosistempo op zeeniveau voor beide componenten is ongeveer 32 nGy/h voor alle breedtegraden en stijgt tot $4\text{ }\mu\text{Gy/h}$ op 12 km hoogte (1).

Daarenboven is de neutronenkomponent verantwoordelijk voor een jaardosis van ongeveer $42\text{ }\mu\text{Sv}$ op zeeniveau.

Gezien de respons van bepaalde apparatuur voor deze ioniserende kosmische komponent werd getracht deze waarde zo nauwkeurig mogelijk te bepalen.

2.2. Aardstraling

De aardstraling is afkomstig van de natuurlijke radionucliden met zeer lange levensduur die aanwezig zijn in alle gesteenten en afzettingen in de aardkorst.

De belangrijkste nukliden, verantwoordelijk voor de ioniserende component, zijn het kalium-40 (halveringstijd $T_{1/2} = 1,42 \cdot 10^9$ jaar), uranium-238 ($T_{1/2} = 4,47 \cdot 10^9$ jaar) en het thorium-232 ($T_{1/2} = 1,41 \cdot 10^{10}$ jaar).

Het radioactief verval van uranium-238 geeft aanleiding tot een volledige vervalreeks evenals het thorium-232 (figuur 1 en 2). Tengevolge van de vorming van radium-226 uit het uranium-238 ontstaat door verval eveneens edelgassen, namelijk radon-222 met een $T_{1/2} = 3,8$ dagen en het radon-220 uit de thorium-232 reeks met een $T_{1/2} = 55$ s. Dit radon-222 diffundeert uit de aardbodem naar de atmosfeer en is verantwoordelijk voor een kleine bijdrage tot de natuurlijke ionisatie boven de aardbodem. De waarde van deze component, ook wel "atmosferische gamma-straling" genoemd, verandert in functie van de atmosferische omstandigheden. Deze waarde is van de orde van 1 nGy/h.

Het gehalte in uranium, thorium en kalium is afhankelijk van de aard van het gesteente of de bodem. Deze bedraagt gemiddeld respectievelijk in gewichtshoeveelheden $2,8 \mu\text{g.g}^{-1}$ en 1,5 percent in gewichtshoeveelheden of in activiteitseenheden 25; 25 respectievelijk 370 Bq/kg over de gehele aardbodem. Deze gemiddelde gehalten geven aanleiding tot dosistempo's op 1 meter van de aardbodem van 44 nGy/h (zie tabel 1).

Het dosistempo tengevolge van de natuurlijke radionucliden is afhankelijk van de bodemsamenstelling. Ze kan eveneens in steden beïnvloed worden door de aanwezigheid van bouwmaterialen.

De aardgamma-straling wordt eveneens beïnvloed door de vochtigheidsgraad van de bodem. Dit water zal door zelfabsorptie van de straling de ioniserende component afzwakken. Het radongehalte in de lucht wordt eveneens beïnvloed door dit watergehalte, maar gezien de beperkte bijdrage tot de ioniserende component is deze invloed onbelangrijk.

Naast deze natuurlijke radionucliden werden voornamelijk in de jaren 1958-1959 en 1961-1963 cesium-137 en andere radionucliden afgezet tengevolge van de atmosferische atoomexplosies. In deze jaren nam hierdoor de ioniserende gamma-straling toe met 50 %. Gezien het cesium-137 met zijn halveringstijd van 30 jaar geleidelijk in de bodem migreerde nam deze straling af. Het gemiddelde dosistempo is heden ten dage teruggebracht tot 2-3 nGy/h, dit is minder dan de waarde van de meetfout van de natuurlijke aardstraling.

De afzetting van de radionucliden in de luchtmassa's, afkomstig van het gebied waar het ongeval van Chernobyl plaats had, gaf in mei 1986 aanleiding tot een tijdelijke verhoging van de ioniserende straling op 1 meter van de aardbodem. Deze komponent was afhankelijk van plaats tot plaats, naargelang de plaatselijke regenval en bedroeg maximum 200 nSv/h gedurende een zeer korte periode.

3. UITGEVOERDE MEETKAMPANJES

3.1. Metingen van dosistempo's.

Gedurende de jaren 1983 en 1984 werden twee kampanjes uitgevoerd over heel het Belgisch grondgebied. In de eerste kampanje werd gebruik gemaakt van een 4" x 4" NaI-kristal; gedurende de tweede meetkampanje van een hogedruk ionisatiekamer.

De waarden van 1983 werden herleid tot de metingen met de ionisatiekamers door de korrelatie te bepalen tussen beide meetssystemen.

3.2. Metingen van geïntegreerde doses.

Sedert 1975 wordt de omgeving rond de kerncentrales DOEL en TIHANGE bewaakt door een meetnet, uitgerust met thermoluminescente dosimeters. Een gelijkwaardig meetnet bestond reeds vanaf 1970 rond de installaties van het Studiecentrum voor Kernenergie.

Bepaalde gecontroleerde plaatsen buiten het technisch domeinen zijn ideale meetpunten voor bepaling van de omgevingsstraling. Tenslotte werd in 1980 een meetnet uitgezet over het Belgisch grondgebied.

3.3. Metingen van de bodemsamenstelling.

Ter gelegenheid van de plaatsing van de meetpalen voor het Belgisch meetnet werden bodemmonsters genomen op verschillende plaatsen. De interpretatie ervan maakte reeds het onderwerp van een publikatie (4). Nochtans werden de meetwaarden later opnieuw geïnterpreteerd in het licht van de bodemvochtigheid.

In 1984 werd een zeer uitgebreide meetkampanje uitgevoerd voor enkele zeer karakteristieke bodemsamenstellingen over het Belgisch grondgebied, en dit met het oog op de vergelijking van verschillende meetmethodieken, d.w.z. met behulp van een intrinsieke, zeer zuiver germanium-detektor en bepaling van de aanwezige natuurlijke radionucliden door gamma-spektrometrie. Terzeldertijd werden metingen op deze plaatsen uitgevoerd met hogedruk ionisatiekamers en werden bodemstalen genomen in de onmiddellijke omgeving.

4. GEBRUIKTE MEETSYSTEMEN

4.1. Ge-spektrometer

De in-situ spektrometrische metingen werden uitgevoerd met behulp van een intrinsieke Ge-detektor, speciaal ontworpen voor veldgebruik. De detektor (CANBERRA-MAC-system) is een co-axiaal type. Opgesteld in een kryostaat (ingangsvenster 0,5 mm Be) met een koelzelfstandigheid van 20 uur.

De efficiëntie van de detektor is 10.1 %. De resolutie is 0.683 keV voor ^{55}Fe (5.9 keV), 0.742 keV voor ^{57}Co (122 keV) en 1.83 keV voor ^{56}Co (1.332 MeV).

De detektor wordt opgesteld op 1 m van de bodem. Het gamma-spektrum wordt opgeslagen in een 2000 kanaal SILENA MCA. Een PET COMMODORE (CBM 8032) wordt gebruikt voor de opslag van de gegevens op een schijf.

De evaluatie van het opgenomen spektrum is gebaseerd op het werk van Beck (2). Het basisprincipe bestaat hierin dat het teltempo van de volle energie pieken in het spektrum proportioneel zijn met de concentraties van de daar mede overeenstemmende radionucliden of hieruit met hiermee gepaarde dosis-tempo's.

De algemene uitdrukking is :

$$(N_f/I) = N_f/N_0 \times N_0/\phi \times \phi/S \times S/I$$

N_0/ϕ	deze waarde slaat op het teltempo N_0 onder een bepaalde volle energiepiek t.g.v. een gamma-fluiks ϕ met energie E invallend parallel met de symmetrie-as van de detektor.
N_f/N_0	hoekcorrectie toegepast op N_0/ϕ die rekening houdt met de veldsituatie waarbij alle gamma-straling niet parallel invalt met de symmetrie-as van de detektor, dus de hoekafhankelijkheidsfactor.
ϕ/S	totale fluks ter hoogte van de detektor per eenheid bodemconcentratie (Bq.kg^{-1} of Bq.m^{-2}) voor een bepaald nuklide als functie van de energie, bronverdeling en bodemsamenstelling.
S	concentratie van het radionuklide in de bodem (Bq.kg^{-1} of Bq.m^{-2})
I	het dosistempo in nSv.h^{-1} op 1 m boven de bodem, tengevolge van de aanwezigheid van een nuklide in de aardbodem.

N_0/ϕ werd experimenteel bepaald voor de gebruikte detektor met behulp van gekalibreerde mono-energetische gamma-stralingsbronnen die onder de detektor geplaatst worden en toelaten de efficiëntie te bepalen in functie van de energie van de gamma-stralen. De bepaling van de hoekafhankelijkheid wordt uitgevoerd door middel van bronnen die zich op een bepaalde afstand

t.o.v. de symmetrie-as van de detektor bevonden. Tenslotte werden de waarden van \emptyset/S of \emptyset/I bekomen uit de theoretische berekeningen van Beck (2), zowel voor een homogene verdeling in de bodem (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th) als voor een exponentiële veranderlijke bodemsamenstelling, zoals dit verondersteld werd het geval te zijn voor cesium-137. Er werd experimenteel nagegaan of de massaverzwakkingscoëfficiënten gebruikt voor de berekeningen bij Beck in redelijke overeenstemming waren met de bodemsamenstellingen in België. Het is gebleken dat deze waarden kunnen toegepast worden.

4.2. Hoge druk ionisatiekamers

De gebruikte ionisatiekamer is een Reuter-Stokes RSS-111. Dit is een sferische kamer (diameter 13 cm) gevuld met ultrazuiver argon op 25 bar absoluut. De ionisatiekamer is gemaakt uit gelast roestvrij staal (wanddikte 3 mm of 2,6 g/cm²).

De door de invallende straling voortgebrachte ionenparen en de hierdoor ontstane ionenstroom worden gevangen door een sferische aluminium elektrode. De ladingstoestand wordt bepaald met een elektrometer. De ionisatiekamer werd met een ^{60}Co -bron gekalibreerd.

Een dergelijke kamer heeft in de omgeving als respons :

$$R_t = K_Y I_Y + K_C I_C + R_\alpha$$

Waarbij R_t de gemeten stroom is. Deze is het gevolg van de aardgamma-straling I_Y (nSv.h⁻¹), de kosmische ioniserende straling I_C en R_α is de stroom te wijten aan eigen activiteit, lekstromen enz...; k_Y is een evenredigheidsfactor en is afhankelijk van de energie van de gamma-straler.

Voor de gebruikte kamer werden deze componenten nauwkeurig onderzocht.

De bepaling van de som der componenten $K_C I_C$ en R_α werd uitgevoerd door opstelling van de ionisatiekamer op een schip in een fjord in Denemarken op voldoende afstand van de oevers om iedere invloed van de aardstraling zo klein mogelijk te maken. Deze meting werd uitgevoerd ter gelegenheid van een intervergelijking van meetinstrumenten in C.E.G.-verband, respectievelijk in 1985 (3) en 1987. De waarde van de kosmische component is 43 nSv/h. De waarde van de R_α werd bepaald in een zoutmijn in Asse, Duitsland, ter gelegenheid van hetzelfde programma. Voor een dergelijke ionisatiekamer is de hiermede overeenstemmende waarde begrepen tussen 0.5 en 2 nSv/h.

4.3. Thermoluminescente dosismeter

De houder die de thermoluminescente detektors bevat is gelijkaardig als deze gedragen door het personeel op het S.C.K (TNO-houder). Deze houder

bevat twee schermen van 730 mg/cm^2 , achter elk scherm bevinden zich 4 detektoren (TLD-700 $3 \times 3 \times 0.9 \text{ mm}^3$ Harshaw). Alle detektoren behoren tot één en hetzelfde fabrikatielot. De detektoren worden uitgelezen met behulp van een automatisch werkend leesapparaat, ontwikkeld door het TNO. Na uitgluoiing van de detektoren en vooraleer ze overgebracht worden naar de meetpalen in het veld, worden ze opgeslagen in een loodkasteel met 10 cm loodafscherming. Er werd een meetpaal ontworpen die het mogelijk maakt dat de dosimeters op ongeveer 1 m boven de bodem kunnen worden opgehangen. Voor een figuur van deze opstelling verwijzen we naar het vroegere gepubliceerde artikel (4).

Rond de kerninstallaties worden deze houders op kwartaal- en jaarbasis omgewisseld. Voor het Belgisch meetnet gebeurt deze omwisseling enkel jaarlijks. In het loodkasteel blijven blanco detektoren in hun respectievelijke houders gedurende de ganse bestraling in het open veld. Alle dosimeters worden gekalibreerd met behulp van een ^{60}Co -bron en een sekondaire standaard.

5. OVERZICHT VAN DE UITGEVOERDE MEETKAMPANJES

5.1. Mobiele meetkampanje over het Belgisch grondgebied. (8)

Het Belgisch grondgebied wordt ingedeeld door het Belgisch geografisch instituut in verschillende kaarten op een schaal 1/25.000. Op elke degelijke kaart werd één, uitzonderlijk twee, meetplaatsen uitgekozen, representatief voor de streek. Aldus bekwam men in totaal 272 meetplaatsen. Ter plaatse werd het meetterrein zodanig gekozen dat het representatief was voor de omgeving en de bodemgesteldheid, en gelegen buiten de bebouwde kom en op voldoende afstand van wegen. De verdeling van de meetplaatsen over het Belgische grondgebied was als volgt :

Antwerpen	26
Brabant	30
Henegouwen	32
Limburg	27
Luik	41
Luxemburg	35
Namen	31
Oost-Vlaanderen	23
West-Vlaanderen	27
	=====
TOTAAL	272

Gezien de eerste kampanje enkel uitgevoerd werd met een NaI-kristal en de tweede met een NaI-kristal en ionisatiekamers, werd de nauwkeurige korrelatie bepaald tussen beide meetinstrumenten.

Deze wordt weergegeven door de volgende betrekking :

$$\text{RSS-111 } (\mu\text{R/h}) = 0.0113 \text{ t/s NaI} + 3.6$$

De samenvatting van de meetwaarden van deze meetkampanjes worden weergegeven in de figuur 3.

De meetwaarden bevatten dus zowel de kosmische als aardkomponent. Indien men alleen de aardkomponent wil in rekening brengen, dan moet men van de waarden in figuur 1, 43 nSv/h aftrekken.

5.2. Bepaling van de aardkomponent uitgaande van lokale bodemonsters.

Op verschillende plaatsen van het Belgisch thermoluminescent meetnet werden bodemstalen genomen.

Met behulp van gamma-spektrometrie werd het activiteitsgehalte in uranium-238, thorium-232 en kalium-40 bepaald.

Uitgaande van de aldus bepaalde concentraties kan men de overeenstemmende dosistempo's berekenen door toepassing van het door Beck (2) vooropgestelde model.

Wegens de stralingsabsorptie van de bodem zijn enkel de bovenste 30 cm belangrijk voor de bijdrage tot het dosistempo op 1 m boven het aardoppervlak.

De samenstelling van de bodem is nogal vrij verscheiden over het Belgisch grondgebied, gaande van duinenzand, polderklei, kempisch zand naar zwaardere zandsoorten, kalk, kleischalies, leistenen en mergel.

Naargelang deze samenstelling zal het dosistempo op 1 m van deze bodems een verschillende waarde vertonen (tabel 2). We kunnen hieruit besluiten dat men een stijging bekomt van het berekende stralingsniveau vanaf kempisch zand en duinen naar bodems bestaande uit kleischalies, leisteen, dolomiet en kwartsiet.

5.3. Vergelijking van verschillende meetsystemen.

Het dosistempo op 1 m is uiteindelijk, zoals men in de inleiding aantoonde, het gevolg van de invloed van de kosmische ioniserende straling, de terrestrische gamma-straling, de atmosferische gamma-straling en deze t.g.v. de neerslag afkomstig van de atoombomexplosies in de atmosfeer.

Er werden karakteristieke plaatsen in België gekozen met verschillende bodemsamenstelling. Er werden op deze verschillende plaatsen bodemonsters genomen met behulp van een grondboor tot op een diepte van 30 cm en over

ongeveer 100 cm². Aldus werd een monster genomen onder de meetplaats van het HPGe-kristal, vier op 2,5 m van dit punt in elke hoek van een assenkruis en nogmaals 4 op 5 m. Deze monsters werden direkt opgeborgen in plasticzakken en luchtdicht afgesloten en naar het laboratorium gebracht.

Na weging werden deze monsters gedroogd bij 105°C en terug gewogen om de waterinhoud te bepalen van de bodem. Na homogenisatie werden ze gemengd met actieve koolstof en in 2,7 l Marinellibekers gebracht.

De gammaspektrometrische bepaling gebeurde pas na 3 weken om het evenwicht ²²⁶Ra-²²²Rn te bereiken. Er werd een bepaling uitgevoerd van het gehalte aan ⁴⁰K, ²²⁶Ra + dochters, ²³²Th + dochters en ¹³⁷Cs.

De bodemconcentraties worden gegeven in tabel 3; er werd een correctie aan gebracht voor de werkelijke bodemvochtigheid.

De metingen, met behulp van het HPGe-kristal opgesteld in het veld, worden eveneens opgenomen in tabel 3 en zijn vergelijkbaar met de waarden, bekomen uit de vorige bodemonsterbepaling. De afwijkingen blijven binnen de 20 %. De afwijking tussen ²²⁶Ra-koncentraties in Mol, zoals bepaald met de twee meetsystemen, is het gevolg van hevige regenval die optrad gedurende de metingen, wat een depositie van ²¹⁴Bi en ²¹⁴Pb op de aardbodem veroorzaakt. Uitgaande van deze metingen kunnen de dosistempo's op de verschillende plaatsen berekend worden. De waarde voor de radioactieve neerslag (¹³⁷Cs) werd voor de verschillende plaatsen berekend op basis van een exponentiële migratie. De bijdrage tengevolge van de atmosferische gamma-straling (²²²Rn) werd berekend, uitgaande van metingen van de luchtactiviteit in ²²²Rn die uitgevoerd werden gedurende de meetperioden. De luchtactiviteit in ²²²Rn, vastgesteld in de lucht, heeft in zekere mate een invloed op de bepaling van ²²⁶Ra in de bodem, met behulp van de in-situ meting met een HPGe-kristal. Inderdaad, in de luchtkoncentratie zijn γ -stralende radon-dochterelementen hiervoor verantwoordelijk. Voor concentratie van 3,7 Bq/m³ ²²²Rn in evenwicht met zijn dochterelementen, komt dit overeen met een overschatting van 3,1 Bq/kg in ²²⁶Ra van de bodem of dosistempo van 1,5 nSv.h⁻¹. Daarom dient de bijdrage van de ²²²Rn-luchtactiviteit niet bijgerekend voor de te velde gedane metingen met het HPGe-kristal (tabel 4). Deze metingen worden vergeleken met de op dezelfde plaats uitgevoerde metingen met de ionisatiekamer. Het verschil Δ is te wijten aan de kosmische straling. De afwijking tussen de gemiddelde Δ en de 43 nSv/h gemeten op een andere manier, ligt binnen de foutgrens van de meetmethoden.

5.4. Meetnet met thermoluminescente dosimeters.

5.4.1. Omgevingsmeetnetten buiten

We verwijzen voor de meetnetten rondom de kerninstallaties naar de tabel 5. Uit de tabel 5 blijkt dat het verschil tussen de meting met de ionisatiekamer en de TLD's ongeveer een waarde heeft van 26 nSv.h^{-1} . Dit verschil is te wijten aan het feit dat de blanco TLD achtergebleven is in een loodkasteel, maar deze geen zuivere blankowaarde geeft maar wel de dosis tengevolge van de kosmische harde straling. De blanco bevat dus niet alleen de eigen straling die verwaarloosbaar is, maar eveneens deze van de harde kosmische komponent. Uit proefnemingen is gebleken dat de waarde van de ioniserende harde komponent in het loodkasteel ongeveer 26 nSv.h^{-1} bedraagt. De gemiddelde meetwaarden voor het Belgisch meetnet werden opgenomen in tabel 6 tesamen met de waarden bekomen uit bodemmonsters en de ionisatiekamer.

5.4.2. Metingen binnen in huizen.

Sedert 1975 werden TLD-dosimeters opgehangen in woningen met verschillende bouwwijzen in de streek van Mol (houten plafond + parket, stenen vloer + betonnen plafond,...). Voor de periode van 1976-1986 bedroeg de gemiddelde jaardosis voor deze vijf woningen $660 \pm 110 \mu\text{Sv}$ (zonder kosmische componenten). Hiermede dient men de buitenomgevingsstraling van $140 \mu\text{Sv}$ te vergelijken (aardstraling). Indien de harde kosmische komponent in rekening genomen wordt bedraagt dit, binnen de woning, $830 \mu\text{Sv}$. In 1985 werden in woningen van een verschillend bouwtype verspreid over het Belgisch grondgebied, eveneens TLD-dosimeters aangebracht (17 woningen). Uit deze metingen werd een gemiddelde jaarlijkse dosisequivalent van $700 \pm 166 \mu\text{Sv}$ afgeleid (zonder invloed van de kosmische straling). Rekening houdende met kosmische straling bedroeg deze $930 \mu\text{Sv}$. De vorige waarde is te vergelijken met $360 \mu\text{Sv}$ als gemiddelde waarde van de jaardosis t.g.v. de aardstraling.

6. TERRESTRISCHE STRALINGSKAART VAN BELGIE

Uiteindelijk kan men een stralingskaart opstellen van de straling buiten tengevolge van de terrestrische gamma-straling hetzij aan de hand van de bodembemonsteringen die uitgevoerd werden hetzij door het TLD-meetnet hetzij door de metingen ter plaatse uitgevoerd met een ionisatiekamer. Aldus kan men het Belgische grondgebied opsplitsen in drie gebieden (figuur 4). Het eerste gebied betreft het noordelijk gedeelte van het grondgebied met zijn zandbodems, polders, het dosisequivalent per jaar (zonder kos-

mische componenten) ligt hier tussen 100 en 250 nSv, het tweede gebied bevat de meer recente alluviale afzettingen in de westhoek, de ijzerhoudende zandlagen naar de zandgrinten van de Maas, evenals het gedeelte Belgisch Lotharingen met zijn mergel, krijtbodem en het uiterst oostelijk gedeelte van België met zijn vochthoudende venen. Hier situeert zich de jaardosis-ekwivalent tussen 250 en 500 μ Sv.

Tenslotte het gedeelte gelegen beneden de lijn Samber-Maas met zijn schieffers, leemhoudende gronden, krijt en kwartsiet-bodems met een jaardosis-ekwivalent tussen 500 à 700 μ Sv.

Hieruit kunnen we de kollektieve dosisbelasting van de Belgische bevolking berekenen door voor deze verschillende gebieden rekening te houden met de bevolkingsdichtheid.

Aldus bekomt men voor de kollektieve jaarlijkse dosisbelasting 4.000 man-Sievert.

7. SCHATTING VAN DE STRALINGSBELASTING VAN DE BELGISCHE BEVOLKING

Deze schatting berust gedeeltelijk op onze metingen voor wat betreft de terrestrische en kosmische component. Voor de belasting ten gevolge van de bestraling van de longen ten gevolge van radon en thoron werd gebruik gemaakt van de gegevens van UNSCEAR 1986, aangepast met de gegevens uit de studies uitgevoerd door de Rijksuniversiteit Gent (7). De gegevens voor de inwendige belasting met natuurlijke radionucliden werd genomen uit het verslag van de UNSCEAR 1986 evenals de gegevens betreffende stralingsbelasting ten gevolge van de atoomexplosies in de atmosfeer. Voor dosisbelasting van de bevolking door medische toepassingen (RX-diagnose, behandeling met radionucliden...) werden bij gebrek aan Belgische statistische gegevens deze van de ons in omringende landen gebruikt (6).

Voor de beroepshalve blootstelling werd gebruik gemaakt van de statistieken van Arbeid en Tewerkstelling. Voor de belasting van de Belgische bevolking tengevolge van het ongeval van Chernobyl werd gebruik gemaakt van de uitgevoerde dosisschattingen (3). Tenslotte werd de belasting van de Belgische bevolking ten gevolge van allerlei radioactieve lozingen (kerncentrales, edelgassen, fosfaatfabrieken ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ...) geschat.

Deze gegevens werden samengebracht in tabel 7.

BESLUIT

Het gemiddelde dosisekwivalent voor de Belgische bevolking tengevolge van de natuurlijke en kunstmatige radioactiviteit is van de orde van 2,2 mSv per jaar. In de toekomst wordt getracht voor enkele componenten, zoals de medische toepassing en de radon in wongingen, een nauwkeurige waarde te bekomen.

Dit zal ons dan toelaten een bestralingskaart op te stellen van de Belgische bevolking. Deze studie wordt dan ook verder gezet.

REFERENTIES

- (1) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
1982 - Report to the General Assembly. United Nations 1982.
- (2) Beck H. en de Planque G. - The radiations field in air due to distributed gamma-ray sources in the ground. - HASL-195 - May 1968.
- (3) Lars Bøtter-Jensen, Sven P. Nielsen - A multi-Laboratory Testing of Calibration Methods for Environmental Dose Rate Meters. - November 1985 - Risø-M-2542.
- (4) W. Slegers, L. Ghoois, J. Gillard - Metingen en resultaten van straling in de omgeving. Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming - Vol. 8, nr. 2 (1983).
- (5) OECD Nuclear Energy Agency - The radiological impact of the Chernobyl accident in OECD countries - Paris - OECD 1987.
- (6) UNSCEAR niet gepubliceerde gegevens - "L'exposition due aux utilisations médicaux de l'irradiation du 1986."
- (7) H. Van Marcke - "Radon in het woonmilieu - Evaluatie en toestand in België"- deze Annalen.
- (8) J. Gillard, J.M. Flemal, J.P. Deworm, W. Slegers, G. Fieuw, L. Ghoois - Meting omgevingsstraling van natuurlijke oorsprong in België. - uitgegeven door het I.H.E. te Brussel, J. Wytsmanstraat 14.

TABEL 1 GEMIDDELDE SPECIFIEKE AKTIVITEITEN VAN KALIUM-40, URANIUM-238 EN THORIUM-232 IN DE BODEM EN GEABSORBEERDE DOSISTEMPO'S IN DE LUCHT OP 1 M BOVEN HET GRONDOPPERVLAK.

Radionuklide of verval- reeks	Dosistempo per eenheid specifieke activiteit in de bodem nGy.h ⁻¹ per Bq.kg ⁻¹ nettogewicht	Gemiddelde speci- fieke activiteit in de bodem Bq.kg ⁻¹	Geabsorbeerde dosistempo nGy.h ⁻¹
⁴⁰ K	0.043	370 (100-700)	16 (4-30)
²³⁸ U + doch- ters	0.427	25 (10-50)	11 (4-21)
²³² Th + doch- ters	0.662	25 (7-50)	17 (5-33)

a) Typisch bereik tussen haakjes

In veronderstelling :

- van evenwicht tussen dochterelementen en moederelementen ²³⁸U en ²³²Th
- voor een bodemdichtheid van 1,6 g.cm⁻³
- een gehalte van 10 % water als bodemvochtigheid.

TABEL 2 AKTIVITEIT IN GRONDMONSTERS GEGROEPEERD PER STREEK IN pCi/g DROOG GEWICHT
 BIJDRAGE TOT DE TOTALE EXPOSIESNELHEID (in nSv/h)

Radionukliden	^{40}K		^{226}Ra		^{232}Th		Totaal
	Bq/kg	nSv h ⁻¹	Bq/kg	nSv h ⁻¹	Bq/kg	nSv h ⁻¹	
Bodem							
Kempische zand	174	7,5	12,6	5,4	8,9	5,9	19
Polderklei, duinzand	370	15,9	20	8,5	20	13,2	38
Zand, klei, zandsteen	429	18,4	30,7	13,1	27	17,9	49
Klei, krijt, mergel, kalksteen	503	21,6	43,3	18,5	40,7	26,9	67
Kleischalies, leisteen, dolomiet, kwartsiet	607	26,1	37,7	16,1	47	31,1	73

TABEL 3 BODEMKONCENTRATIES IN NATUURLIJKE RADIONUKLIDEN EN "FALL-OUT" EN GEMETEN
 MET BEHULP VAN EEN HPGe-KRISTAL IN HET VELD OF BIJ MIDDEL VAN BODEMBE-
 MONSTERING. (Bq/kg)

PLAATS	SAMENSTELLING BODEM	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs
MOL (Hockeyplein, ongemaaid gras)	Kempisch zand	104 (100)	6,7 (29,2 [†])	6,7 (5,6)	5,6
TIHANGE 1 (linkeroever Maas, t.o.v. KCT, weide)	leemhoudende grond met lei, kalksteenelementen	444 (418)	33,3 (27,4)	33,3 (33,7)	5,9
TIHANGE 2 (rechterover Maas KCT, weide)	leemhoudende grond met leisteenelementen	348 (*)	30,0 (*)	29,2 (*)	7,0
CHAUMONT GESTOUX (voetbalplein, geen gewas)	zand (geel)	78 (78)	5,6 (6,7)	5,9 (5,6)	< 0,7
DION (weide)	leemhoudende grond met leisteenhoudende elementen	551 (459)	26,3 (20,7)	32,2 (30,0)	6,3
DOURBES (KMI, ongemaaide weide)	leemhoudende grond met leisteenhoudende elementen	799 (651)	24,8 (18,5)	35,2 (35,2)	8,5

(*) HPGe-systeem gestoord gedurende de meetperiode

+ zie opmerking in de tekst

() meting met behulp van HPGe-kristal

zonder haakjes : meting van de bodemonsters in het laboratorium

TABEL 4 Dosisniveau's bekomen met verschillende meetmethoden.

	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs	^{222}Rn	TOTAAL	HDIK	Δ
Plaats	nSv h^{-1}							
MOL	4,5 (4,3)	2,9 (12,5*)	4,4 (3,7)	1,7	1,0	14,5 (14,3)	51	36,5 (36,7)
TIHANGE 1	19 (18)	14,2 (11,7)	22,0 (22,3)	1,7	0,7	57,6 (54,4)	83,5	25,9 (29,1)
TIHANGE 2	15 (*)	12,8 (*)	19,3 (*)	1,7	0,7	49,5	80	30,5
CHAUMONT GISTAUX	3,4 (3,4)	2,4 (2,9)	3,9 (3,7)	-	0,7	10,4 (10,7)	47,9	37,5 (37,2)
DION	23,7 (19,7)	11,2 (8,8)	21,3 (19,9)	0,9	0,8	57,9 (50,1)	87,9	30,0 (37,8)
DOURBIS	34,4 (28)	10,6 (7,9)	23,3 (23,3)	1,7	1,3	71,3 (62,2)	97,4	26,1 (35,2)
							n = 6	31 ± 5
							n = 5	35 ± 4

TABEL 5 OMGEVINGSSTRALING IN nSv/h GEMETEN ROND KERNINSTALLATIES MET TLD-DOSISMETER EN IONISATIEKAMER RSS-111.

Plaats	Gemiddelde	Gemiddelde	Δ
Aantal meet- punten	TLD	RSS-111	Vershil
Doel n = 10	54	79	25
Tihange n = 13	66	93	27
S.C.K. n = 15	45	70	25

TABEL 6

OMGEVINGSSTRALING IN nSv/h GEMETEN MET BEHULP VAN OMGEVINGSDOSISMETERS,
BEREKENING VAN DE AARDSTRALING DOOR BODEMMONSTERS, NaI OF RSS-111.

PLAATS	TLD's	NaI of RSS-111	bodemmonsters
Oostende	(4)	(4,1)	(0)
Koksijde	65	68	30
Beitem	73	81	45
Melle	77	86	51
Deurne	69	78	37
Brasschaat	60	64	210
Mol	55	59	16
Genk	57	61	18
Kleine Brogel	58	64	21
Schaffen	67	72	39
Florennes	96	97	79
Brustem	87	95	64
Zaventem	72	79	39
St. Genesius Rode	98	93	69
Chaumont Gistoux	66	64	12
Tienen	75	77	49
Bierset	97	92	72
Hollognes/Pierres	95	101	66
Herve	88	95	57
Botrange	91	93	49
Sinsin	99	108	64
Ciney	107	96	67
Modave	96	99	68
Dourbes	86	77	81
Havr�	87	88	47
Wasmuel	97	99	77
Gosselies	97	95	68
Chièvres	94	91	69
Hautrage	75	78	36
St. Hubert	99	91	55
Lacuisine	94	97	69
Libramont	96	100	56
Virton	88	94	51
GEMIDDELDEN	840	850	510

TABEL 7 STRALINGSBELASTING BELGISCHE BEVOLKING : NATUURLIJKE BESTRALING

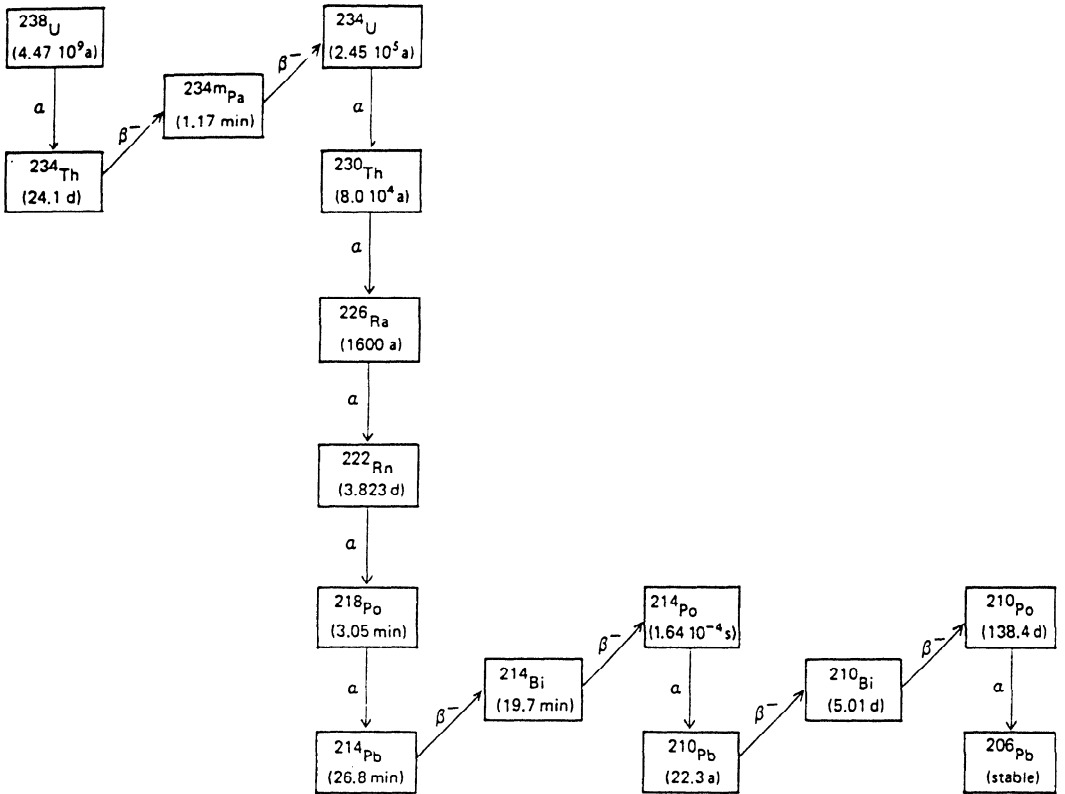
<u>AARD</u>	<u>KOLLEKTIEVE DOSIS</u> <u>man-Sievert</u>	<u>%</u>
<u>I. Uitwendige bestraling</u>		
A. Kosmische straling		
ioniserende komponent	2.320) 2.740	12,4
neutronen komponent	420)	
UNSC EAR 86		
B. Terrestrische straling		
^{40}K	1.480)	18
^{238}U -reeks	1.080) 4.000	
^{232}Th -reeks	1.440)	
<u>II. Inwendige bestraling</u>		
A. Kosmogene radionukliden		
UNSC EAR 86	150)	
B. Primordiale radionukliden		
UNSC EAR 86)	
^{40}K	1.800)	16,1
^{87}Rb	60) 3.560	
^{238}U , uitgez. ^{222}Rn	1.390)	31,6
^{232}Th , uitgez. ^{220}Rn	160)	
^{222}Rn - ^{214}Po	7.000	
^{220}Rn - ^{208}Tl	<u>1.100</u>	<u>5</u>
	18.400	83,1 %

TABEL 7 STRALINGSBELASTING BELGISCHE BEVOLKING : NATUURLIJKE BESTRALING

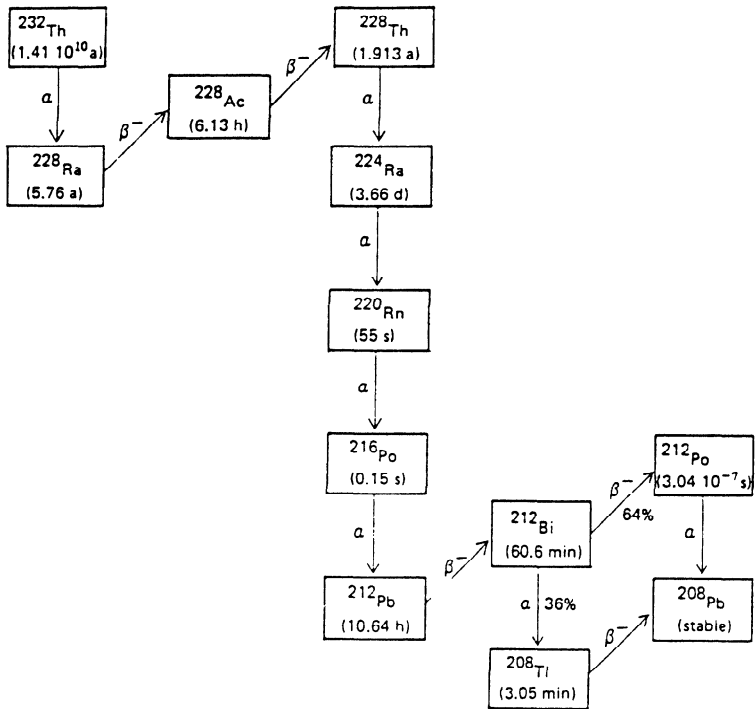
SAMENVATTING

	<u>KOLLEKTIEVE DOSIS</u> <u>man-Sievert</u>	<u>%</u>
NATUURLIJKE BESTRALING	18.400	83,1
KUNSTMATIGE BESTRALING		
III Medische bestraling	3.500	15,8
IV Beroepshalve blootstelling	50	0,2
V Kernexplosies atmosfeer	100	0,4
VI Radioactieve uitstoringen (kerncentrales, fosfaatbe- drijven,...)	30	0,1
VII Allerlei (uurwerken, TV.....)	100	0,4
	<u>TOTAAL</u> 22.180	

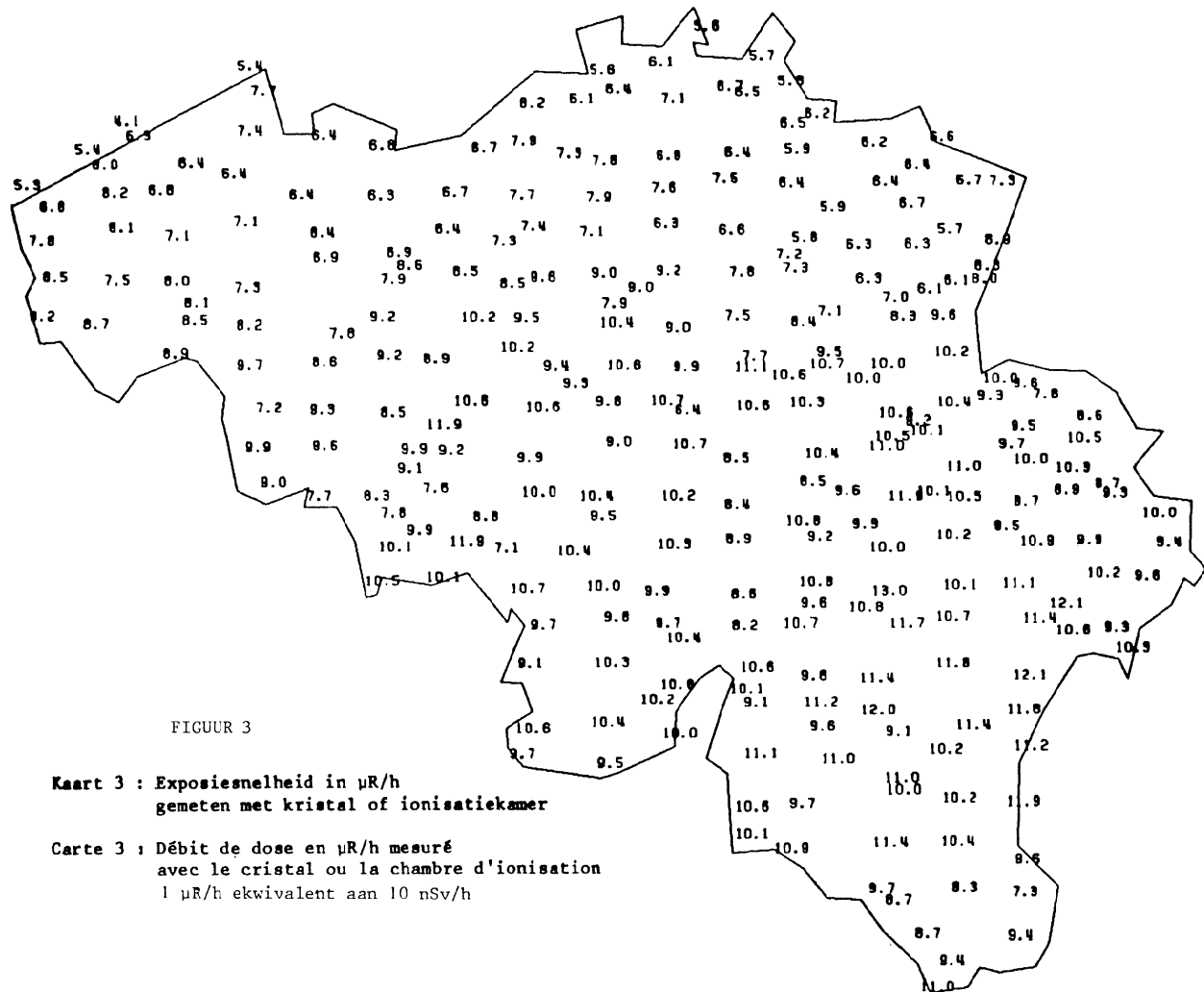
Voor 1986 is de bijdrage voor de Belgische bevolking t.g.v. het ongeval in Chernobyl 400 man-Sievert.



Figuur 1 Vervalreeks van uranium. Radionucliden die minder dan 1 % gevormd worden bij het verval van de moedernuclide worden niet weergegeven (a = jaar).



Figuur 2 Vervalreeks van Thorium-232



FIGUUR 3

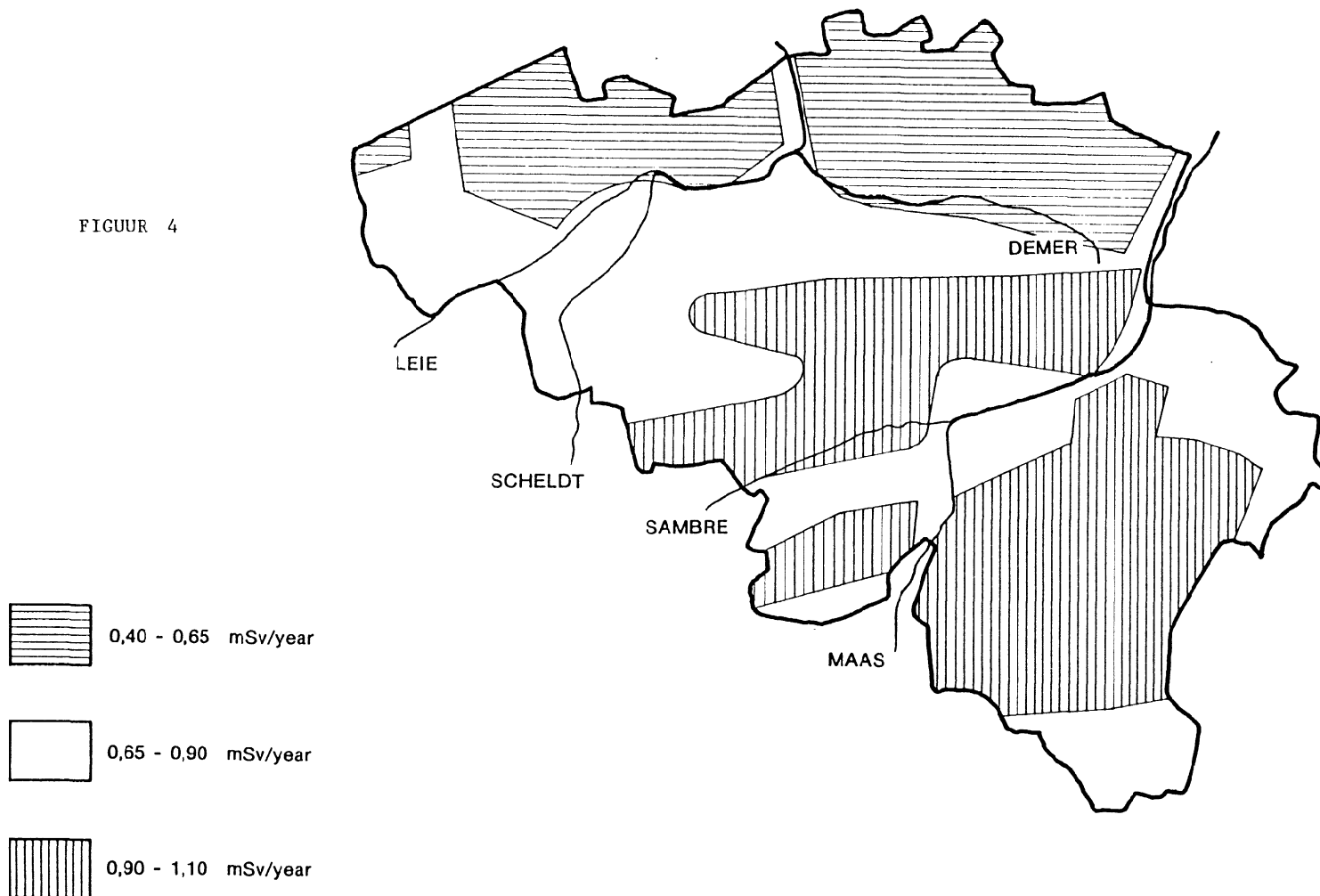
**Kaart 3 : Exposiesnelheid in µR/h
gemeten met kristal of ionisatiekamer**

**Carte 3 : Débit de dose en µR/h mesuré
avec le cristal ou la chambre d'ionisation
1 µR/h ekwivalent aan 10 nSv/h**

RESULT :

NATURAL ENVIRONMENTAL RADIATION LEVEL IN BELGIUM

FIGUUR 4



RESUME

La connaissance du fond du rayonnement naturel est importante en ce sens qu'il constitue un des facteurs d'exposition aux rayonnements ionisants de la population belge. D'autre part, l'établissement d'une carte du rayonnement naturel est une donnée importante pour la détermination de l'exposition due aux rejets des installations nucléaires.

A cette fin le niveau du rayonnement naturel a été déterminé sur l'ensemble du territoire belge. Cette étude a été faite en collaboration avec l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie.

En dehors de cette campagne, un réseau de mesures à l'aide de dosimètres thermoluminescents permet de suivre l'évolution de ces niveaux.

Finalement une étude d'intercomparaison de différentes méthodes de mesures a permis de déterminer le taux de rayonnement en fonction des nuclides naturels dans le sol.

On a pu partager ainsi le territoire en trois zones dans lesquelles les niveaux de rayonnement sont respectivement 0.40-0.65, 0.65-0.90 et 0.90-1.10 mSv par an.

ABSTRACT

Measurement of the environmental exposure to natural radiation was performed by the Institute of Hygiene and Epidemiology and the Nuclear Research Center in Mol. The aim of the study was the estimation of the external doses from natural radioactivity, received by the Belgian population and the set-up of a map on the territory of natural exposure rates.

In order to reach this goal, a network of integrating thermoluminescent dosimeters was used for the determination of the ionizing component of the cosmic and terrestrial radiation.

In the neighbourhood of these dosimeters soil sampling permitted to obtain the contribution to the ionizing component of the terrestrial radiation, of the different natural occurring radionuclides.

The TLD-network was further extended by the measurement of the ionizing radiation at 272 locations throughout the Belgian territory. The campaign was performed during two years with a NaI(Tl) 4" x 4" crystal and with a high Reuter-Stokes ionization chamber.

Correlation between the different measuring methodologies was performed during a special campaign, consisting in the intercomparison of soil sampling, in-situ gamma spectrometry with a high purity Ge-crystal, ionization chamber and NaI(Tl) crystal. Application of the Beck model to soil sampling and in-situ gamma spectrometry permitted comparison to direct ionizing measurement apparatus.

A map could be established dividing the territory into three exposure zones, well correlated with the underlying strata of different composition, namely 0.40-0.65, 0.65-0.90 and 0.90-1.10 mSv per year.

Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming, vol.13,n°1 (1988)

RADON IN HET LEEFMILIEU.

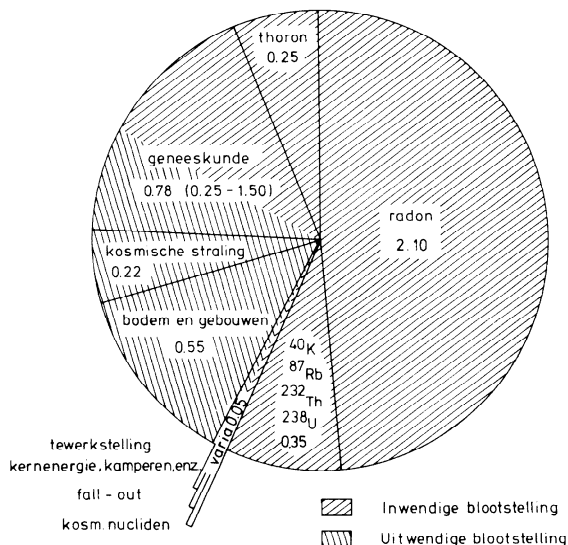
Vanmarcke H., Poffijn A., Raes F., Eggermont G., Uyttenhove J.,
Berkvens P., Van Dingenen R., Bourgoignie R. en Jacobs R.

RUG, Proeftuinstraat 86, 9000 Gent

SAMENVATTING

De jaargemiddelde radon concentratie in Belgische woningen bedraagt 53 Bq/m^3 . Dit is vergelijkbaar met de resultaten van soortgelijke studies in het buitenland. Uit onze studie blijkt verder dat de infiltratie van radon uit de bodem de belangrijkste bron is van radon in woningen met een hoge radon concentratie.
De analyse van het gedrag van de vervalproducten van radon in het woonmilieu leidt tot een dosis conversiefactor die evenredig is met de radon concentratie en gelijk is aan $50 (\mu\text{Sv/j})/(\text{Bq/m}^3)$. Daaruit volgt een dosisequivalent van 2.10 mSv/j , zodat ongeveer de helft van de stralingsbelasting in België te wijten is aan de inademing van de vervalproducten van radon.

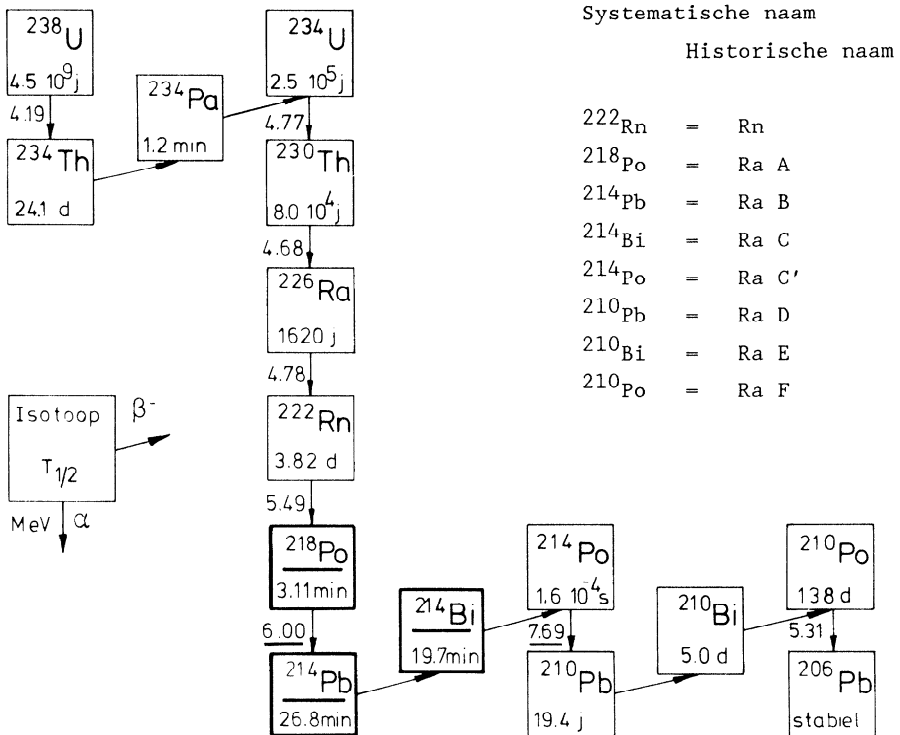
1. INLEIDING



Figuur 1. Bijdrage van de belangrijkste bronnen van ioniserende straling tot de stralingsbelasting van de Belgische bevolking. De totale stralingsbelasting in België schatten we op 4.30 mSv per jaar (Vanmarcke, 1987b; Vanmarcke, 1987c).

Het effectief dosisequivalent tengevolge van natuurlijke ioniserende straling komt op 3.5 mSv. Dit is ongeveer het drievoudige van wat 10 jaar geleden werd aangenomen. Toen, voor ICRP publicatie 26 (1977), werd de dosis berekend in de gonaden of in het beenderengestel aan de hand van het concept "kritiek orgaan". Het verschil met de huidige berekening zit in de optelling, via het effectief dosisequivalent van de longdosis afkomstig van de vervalproducten van radon en thoron.

2. RADON EN THORON



Figuur 2. De natuurlijke radioactieve uranium reeks.
De isotopen die onderlijnd zijn domineren de stralingsbelasting.

In de natuur komen drie radioactieve reeksen voor: de uraniumreeks (^{238}U), de thoriumreeks (^{232}Th) en de actiniumreeks (^{235}U). De uraniumreeks is afgebeeld in figuur 2. Elk van de drie reeksen bevat een isotoop van het element radon. Traditioneel worden die isotopen radon (^{222}Rn), thoron (^{220}Rn) en actinon (^{219}Rn) genoemd. Chemisch gezien is het

element radon een edelgas zodat het, in tegenstelling tot de andere vervalproducten die metalen zijn, in "normale" omstandigheden geen bindingen aangaat (Stein, 1987). Daardoor kan radon vrijkomen van de plaats waar het wordt gevormd en eventueel in de atmosfeer terecht komen. De halfwaardetijd van het isotoop is medebepalend voor de grootte van de fractie dat de atmosfeer kan bereiken. Actinon heeft de kortste halfwaardetijd en de actiniumreeks heeft van de drie natuurlijke reeksen de laagste activiteit, zodat de concentratie van het isotoop in de lucht zeer laag is. Thoron en radon zijn wel aanwezig in de binnenhuislucht. De kortere halfwaardetijd van thoron maakt dat de bijdrage van thoron tot de stralingsbelasting (zie figuur 1) kleiner is dan deze van radon.

3. RADON CONCENTRATIES IN WONINGEN

3.1 Nationale studie

Voor het meten van de tijdsgemiddelde radon concentratie in een woning maken we gebruik van de Karlsruhe dosismeter (Urban, 1981; Vanmarcke, 1986). Honderd dosimeters werden voor een periode van 1 jaar verspreid over België (Uyttenhove, 1984). De adressen werden geselecteerd uit de kenissenkring van het personeel van het laboratorium. Om min of meer representatief te zijn voor de 3.6 miljoen woningen in België werd bij de selectie rekening gehouden met de bevolkingsdichtheid. In het grootste deel van de woningen werd de meting verricht in de woonkamer (58) of in de keuken (13). In enkele gevallen werd de meetbeker geplaatst in de slaapkamer (4) of in het bureau (4).

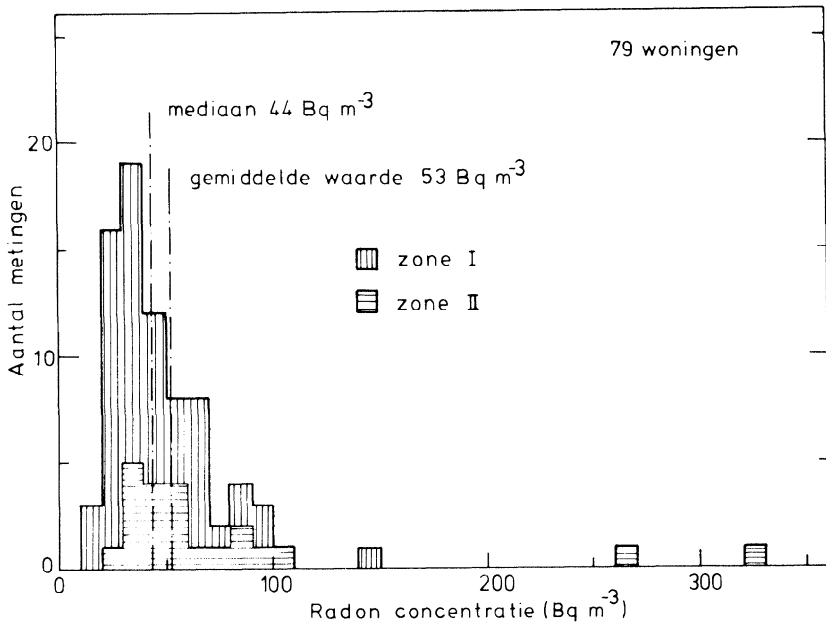
Volledige resultaten werden verkregen voor 79 woningen, waaronder 6 appartementen. Oorspronkelijk werd gedacht dat de hoogste waarde toe te schrijven was aan een meetfout, zodat deze werd weggelaten in onze eerste analyse (Poffijn, 1985). Een nieuwe meting bevestigde echter het resultaat.

Net als de resultaten van soortgelijke onderzoeken elders (zie tabel 2) blijken de gemeten radon concentraties goed beschreven te kunnen worden door een normale verdeling van de logaritme van de radon concentratie. Een dergelijke verdeling wordt een logaritmischnormale verdeling genoemd. Ze wordt gegeven door,

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma x} \exp \left[- \frac{(\ln x - \mu)^2}{2 \sigma^2} \right] \quad (1)$$

met μ en σ de gemiddelde waarde en de standaard afwijking van $\ln x$. De verdeling wordt gebruikelijk gekarakteriseerd door de mediaan of 50 % waarde, $\exp(\mu)$, en door de geometrische standaard afwijking $\sigma_g = \exp(\sigma)$.

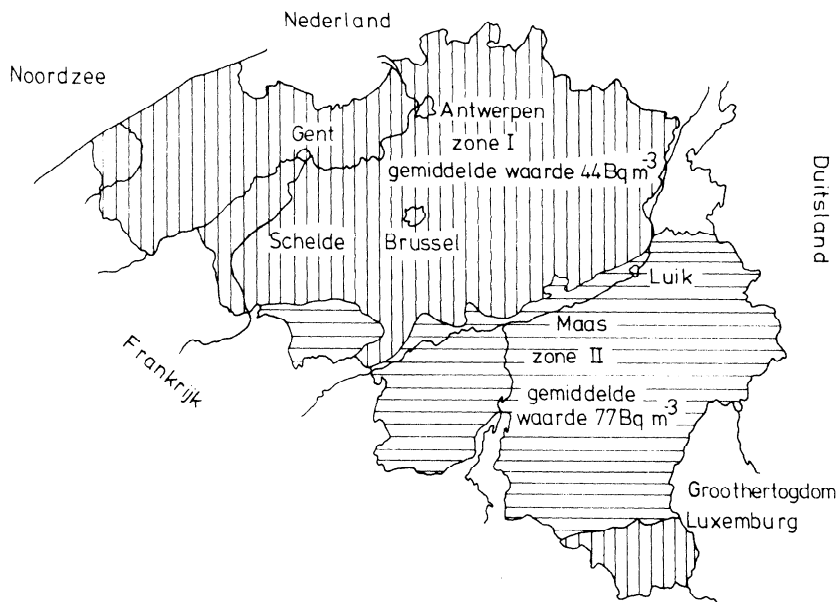
De frequentieverdeling van de gemeten radon concentraties is in figuur 3 voorgesteld onder de vorm van een histogram. De gemiddelde waarde is 53 Bq/m^3 . De aanpassing van een logaritmischnormale verdeling levert een mediaan en een geometrische standaard afwijking op van respectievelijk 44 Bq m^{-3} en 1.8. Hieruit volgt dat de radon concentratie in 1 % van de woningen hoger is dan 170 Bq m^{-3} . Het beperkte aantal meetpunten en het gebruik van een distributiefunctie maakt dat de onzekerheid op deze schatting aanzienlijk is.



Figuur 3. Jaargemiddelde radon concentraties in Belgische woningen.

De infiltratie van radon vanuit de bodem wordt erkend als een belangrijke bron van radon in de woning. De sterkte van deze bron wordt onder meer bepaald door de geologische structuur van de ondergrond. België kan ruwweg worden verdeeld in twee geologische zones (zie figuur 4). Zone I omvat Vlaanderen, het noordelijk deel van Wallonië en het zuiden van de provincie Luxemburg. De bodem dateert er uit het meso- cenozoïcum en bestaat hoofdzakelijk uit zand en leem. Onder deze sedimenten bevinden

zich geplooiden lagen die dateren uit het paleozoïcum. In zone II komen deze oude lagen aan de oppervlakte. De bodem bestaat er hoofdzakelijk uit leem, vermengd met grint, leisteen, zandsteen en kalksteen. De specifieke ^{226}Ra activiteit van de bodem in zone II is dubbel zo hoog als in zone I (Slegers, 1983).



Figuur 4. Verdeling van België in twee grote geologische zones.
Zone I : meso- cenozoïcum, Zone II : paleozoïcum (zie tekst).

Tabel 1. De verdeling van de radon concentraties in de twee grote geologische zones van België.
Voor de afbakening van de zones, zie figuur 4.

Zone	Aantal woningen	Gemid- delde waarde	Logaritmisch-normale verdeling		
			Mediaan Bq m^{-3}	σ_g	90 % waarde Bq m^{-3}
zone I	57	44	39	1.6	71
zone II	22	77	60	1.9	136
gehele land	79	53	44	1.8	94

In het kader van een uraniumprospectie werd een gedetailleerde stralingskaart van zone II opgesteld (Charlet, 1983). Hierbij werden een groot aantal uranium anomalieën geïdentificeerd. De anomalieën zijn echter zeer plaatselijk (Charlet, 1985) en daardoor moeilijk te lokaliseren.

De bijdrage van de beide zones tot de totale frequentieverdeling is uitgezet in figuur 3. De parameters van de verdelingen zijn te vinden in tabel 1.

Zoals verwacht is de gemiddelde radon concentratie in zone II merkkelijk hoger dan in zone I. De twee hoogste waarden in zone II zijn wellicht toe te schrijven aan lokale uraniumanomaliën.

3.2 Buitenlandse studies

Tabel 2. Radon concentraties in woningen in 15 westerse landen.

Land	Aantal woningen	Meetduur	Radon concentratie			Referentie
			50 % waarde Bq m ⁻³	Gem. waarde Bq m ⁻³	90 % waarde Bq m ⁻³	
Engeland	1953	1 jaar	15	25	51*	<u>Green</u> , 1985
Nederland	1030	1 jaar	24	29	44*	<u>Put</u> , 1985
Italië	1000	3 maanden	25	38*	80*	<u>Sciocchetti</u> 1985
Duitsland	5970	3 maanden	40	49	80	<u>Schmier</u> , 1985
Zwitserland	220	>1 maand	-	55	-	<u>Burkart</u> , 1984
Frankrijk**	765	1 maand	44	76	144*	<u>Rannou</u> , 1985
Denemarken	82	3 maanden	-	64	-	<u>Sørensen</u> , 1985
Finland****	3900	1-2 maanden	64	90	185*	<u>Castren</u> , 1984, 85
Noorwegen	1500	5-7 dagen	-	90	200	<u>Stranden</u> , 1987
Zweden	500	2 weken	54	105	200	<u>Swedjemark</u> , 1984
Ierland	220	6 maanden	61	97*	209*	<u>McLaughlin</u> , 1987
USA ***	***	***	33	55	123*	<u>Nero</u> , 1985
Canada	11580	1 uur	14	30*	68*	<u>Létourneau</u> , 1984
Japan **	251	10 maanden	18	31	69*	<u>Aoyama</u> , 1987
België	79	1 jaar	44	53	94*	dit werk

* Berekend uit de parameters van de opgegeven logaritmischnormale verdeling.

** Onvolledige resultaten.

*** Gewogen gemiddelde van 22 regionale studies.

De resultaten van de Belgische studie worden in tabel 2 vergeleken met de resultaten van soortgelijke studies in 14 westerse landen. Het grootste aantal woningen werd gemeten in Canada. Uit de gegevens verstrekt door Létourneau (1984; 1985) volgt een gemiddelde radon concentratie van 30 Bq m^{-3} . Dit resultaat is in vergelijking met de Scandinavische landen, die een soortgelijk klimaat kennen, verrassend laag. De oorzaak hiervan is tweeledig. Enerzijds werd alleen in de zomer gemeten wanneer de radon concentratie het laagst is en anderzijds is dit de enige studie uit de lijst waarin een momentane methode gebruikt werd in plaats van een integrerende methode, en het is onze ervaring dat de momentane methoden de tijdsgemiddelde radon concentratie onderschatten. Dit is wellicht te wijten aan het onvermijdelijke heen en weer geloop voor en tijdens de meting.

Uit de twee intercalibraties van radon dosimeters, georganiseerd door de CEG, is gebleken dat vrijwel alle integrerende methoden betrouwbare resultaten geven (Miles, 1986).

Uit tabel 2 blijkt dat de radon concentraties in België van dezelfde orde zijn als deze die gevonden worden in onze buurlanden. Zo zijn de radon concentraties in Nederland, Engeland en Italië wat lager dan bij ons. In Duitsland en Zwitserland zijn ze vergelijkbaar en in de Scandinavische landen en Ierland zijn de gerapporteerde waarden een stuk hoger.

4. BRONNEN VAN RADON IN DE WONING

4.1 De relatieve belangrijkheid van de verschillende bronnen

Tabel 3. Uitsplitsing, naar de verschillende bronnen, van de radon concentraties in Amerikaanse en Noorse woningen.

Bron	Bijdrage (Bq m^{-3})	
	USA	Noorwegen
bodem	55	100
bouwmaterialen	2	10
drinkwater	0.4	0
buitenlucht	10	-

Een schatting van de gemiddelde bijdrage van de verschillende bronnen tot de radon concentratie in Amerikaanse en Noorse woningen (Nero, 1985; Stranden, 1987) wordt gegeven in tabel 3.

De infiltratie van radon uit de bodem is in de beide landen de belangrijkste bron van radon in de woning. Bouwmaterialen zijn minder belangrijk, zeker in de USA. Dit komt doordat, in de USA, het voornaamste bouw materiaal hout is, en dit geen radon exhaleert. Ook in Noorwegen zijn vele huizen van hout, zodat de bijdrage van de bouwmaterialen in ons land wellicht hoger is dan 10 Bq m^{-3} . De bouwmaterialen en de bodem worden meer in detail besproken in de punten 4.2 en 4.3.

Drinkwater is gemiddeld genomen geen belangrijke bron van radon in de woning. Dit komt doordat het grootste deel van de drinkwatervoorziening wordt betrokken uit oppervlaktewater, waar zo weinig radon in voorkomt dat het gebruik de radon concentratie in de woning niet beïnvloedt (Cothorn, 1986).

De radon die in de poriënstructuur van de grond terecht komt, wordt opgelost in het grondwater. In gebieden met een verhoogde radium concentratie worden dan ook dikwijls heel hoge radon concentraties gemeten. Concentraties hoger dan 10^6 Bq/m^3 zijn gevonden in de USA (Hess, 1983), in Noorwegen (Stranden, 1987), in Denemarken (Ulbak, 1984), in Japan (Morinaga, 1984) en in Griekenland (Kritidis, 1986). Ook in België komt een dergelijke bron voor: de Plétrou bron gelegen in Visé. De radon concentratie in het bronwater varieert tussen $0.5 \cdot 10^6 \text{ Bq m}^{-3}$ en $1.1 \cdot 10^6 \text{ Bq m}^{-3}$ (Bourgoignie, 1982).

De transfertcoëfficiënt, van water naar lucht, van huishoudelijk watergebruik is ongeveer 10^{-4} (Nero, 1985; Stranden, 1987). Toegepast op de Plétrou bron resulteert dit in een luchtconcentratie van 50 tot 110 Bq m^{-3} . Sinds 1973 is de bron niet meer aangesloten op het drinkwaternet.

Radon in de buitenlucht is hoofdzakelijk afkomstig van de bodem, zodat de radon concentratie hoger is wanneer de lucht langer boven een landmassa blijft hangen. Afhankelijk van de exhalatie van de bodem en de meteorologische omstandigheden ligt de gemiddelde radon concentratie in de buitenlucht in de gematigde continentale gebieden tussen 10 Bq m^{-3} en 25 Bq m^{-3} (Gesell, 1983; Urban, 1985). Nederland met zijn overheersende zeewind heeft een gemiddelde concentratie van 4 Bq m^{-3} (Put, 1985).

4.2 Bouwmaterialen

4.2.1 Exhalatiemetingen

Voor de bepaling van de exhalatie van een bouw materiaal wordt een staal van het materiaal opgesloten in een luchtdicht vat. Na verloop van enkele weken wordt de radon concentratie in het vat bepaald (Vanmarcke, 1987c).

In samenwerking met het Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB) hebben we de exhalatie van meer dan 100 verschillende bouwmaterialen gemeten. De exhalatie varieert van 10^{-6} Bq kg⁻¹ s⁻¹ voor bakstenen tot 10^{-4} Bq kg⁻¹ s⁻¹ voor fosforgips, een afvalproduct van de fosfaatverwerkende industrie. De cementgebonden bouwmaterialen (beton, chappe, mortel enz.) hebben een exhalatie van ongeveer 10^{-5} Bq kg⁻¹ s⁻¹. De volledige resultaten van de metingen zijn te vinden in het eindverslag van de biënnale 1985-86 van het IWONL kontrakt nr. 4462.

Aan de hand van de hoger vermelde richtwaarden berekenen we de radon evenwichtsconcentratie in een kamer met binnenafmetingen 5x4x2.8 m en een ventilatiesnelheid van 0.7 h^{-1} . Onderstellen we dat de muren, de vloer en het plafond van de kamer 0.12 m dik zijn en bestaan uit cementgebonden bouwmaterialen met een soortelijk gewicht van 2500 kg m^{-3} en dat de radon voor de helft in de kamer exhaleert, dan is de radon evenwichtsconcentratie gelijk aan 13 Bq m^{-3} . Zijn de wanden en het plafond bedekt met een laag fosfogips van 0.015 m dik, dan komt daar nog eens 10 Bq m^{-3} bij. In een weinig verluchte kamer (ventilatietempo 0.2 h^{-1}) wordt dit respectievelijk 46 Bq m^{-3} en 34 Bq m^{-3} .

4.2.2 Activiteitsmetingen

De specifieke ^{226}Ra en ^{232}Th activiteit van heel wat bouwmaterialen hebben we gemeten met behulp van hoge resolutie γ spectroscopie (Vanmarcke, 1987c). In tabel 4 zijn de resultaten van deze metingen samengevat. De activiteit van de bestanddelen van de cementgebonden materialen (cement, zand, grind) is van dezelfde orde als van baksteen, zodat de hogere exhalatie van de cementgebonden materialen toe te schrijven is aan een hogere emanerende fractie.

Sommige industriële afvalproducten, die als bouw materiaal worden gebruikt, met name fosforgips en hoogovenslakken, hebben een hogere ^{226}Ra activiteit. Fosforgips heeft bovendien een hoge emanerende fractie wat de hoge exhalatie verklaart.

Sulfogips is een afvalproduct dat vrijkomt bij het ontzwavelen van rookgassen. In tegenstelling tot fosforgips bevat het geen verhoogde ^{226}Ra activiteit.

Tabel 4. De specifieke activiteiten van ^{226}Ra en ^{232}Th in bouwmaterialen die in België worden verkocht.

Bouwmateriaal	Aantal stalen	^{226}Ra (Bq kg ⁻¹) gemiddelde waarde (laagste waarde- hoogste waarde)	^{232}Th (Bq kg ⁻¹) gemiddelde waarde (laagste waarde- hoogste waarde)
cement	20	47 (<11-161)	54 (9-148)
zand, grind	3	19 (13-24)	21 (13-27)
baksteen	47	34 (15-85)	32 (16-63)
fosforgips	27	442 (333-847)	<11
sulfogips	3	25 (<11-40)	26 (<11-38)
natuurgips	1	9	<11
hoogovenslakken	2	85 (79-91)	41 (38-44)
cellenbeton met vlieggas	5	31 (<11-58)	34 (<11-44)
kalksteen	1	21	5
leisteel	1	33	47
porfier	1	27	32

<11 : De specifieke activiteit is lager dan 11 Bq/m³. De precieze waarde is niet gekend, omdat de lijn(en) niet door het programma werd(en) geanalyseerd.

4.3 Bodem

De radon concentratie in bodemlucht is altijd veel hoger dan in binnenhuislucht. Inderdaad, in een bodem met "normale" eigenschappen (soortelijk gewicht : 1600 kg m⁻³, porositeit : 40 %, emanerende fractie : 20 %, ^{226}Ra activiteit : 25 Bq kg⁻¹ (wereldgemiddelde : UNSCEAR, 1982)) is

de radon concentratie bij evenwicht gelijk aan 20000 Bq m^{-3} ($1600 \times 25 \times 0.2 / 0.4$). De voortdurende insijpeling van bodemlucht in de woning maakt echter dat de radon concentratie net onder de woning geen 20000 Bq m^{-3} is maar bijvoorbeeld 5000 Bq m^{-3} is.

Stel een woning met een volume van 300 m^3 en een ventilatiesnelheid van 0.5 h^{-1} . Bij een intrede van $0.9 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ bodemlucht, hetgeen 0.6% van de totale ventilatie is, is de bijdrage tot de radon concentratie in de woning 30 Bq m^{-3} . In de meeste woningen is het aandeel van de infiltratie van de bodemlucht in de ventilatie kleiner dan 1% , zodat de bijdrage van de bodem tot de radon concentratie in de woning vergelijkbaar is aan de bijdrage van de bouwmaterialen.

De duurdere energie heeft ons ertoe aangezet de ventilatie in de woningen te verminderen. Evenwel is de dichtheid van de woning met de bodem in vele gevallen niet verbeterd, zodat in goed geïsoleerde woningen, de intrede van bodemlucht vaak 1 tot 5% van de ventilatie uitmaakt (Ericson, 1984). In deze woningen komt dan ook een hoge radon concentratie voor.

De grote verschillen in radon concentratie tussen woningen in eenzelfde gebied kunnen verklaard worden door de grote verschillen in de infiltratie van radon uit de bodem. Deze infiltratie is voornamelijk toe te schrijven aan druk geïnduceerde stroming door voegen, barsten of andere openingen tussen de bodem en de woning (zie figuur 5).

Aan druk geïnduceerde stroming zijn drie voorwaarden verbonden (Ericson, 1986).

1. Er moet een open verbinding zijn tussen de bodem en de woning. In figuur 5 zijn de infiltratieroutes aanschouwelijk voorgesteld.
2. Er moet een drukgradiënt bestaan tussen de bodem en de woning. Drukverschillen kunnen ontstaan door de wind, het verwarmen van de woning, het gebruik van een afzuigstelsel (dampkap, verluchting) enz..
2. Er moet een groot volume permeabele grond onder de woning aanwezig zijn. Alle methoden voor het verminderen van de infiltratie van bodemlucht in woningen werken in op één van de bovenstaande punten. Aan de bodem zelf kan men gewoonlijk niets veranderen.

Wanneer de ondichtheid waarlangs de radon de woning binnenkomt kan gelocaliseerd worden, bijvoorbeeld de aansluiting van een waterleiding, is het afsluiten van dit lek de aangewezen oplossing. Dikwijls is de ondichtheid echter verspreid en ontoegankelijk.

Bij het ontwerpen van nieuwe woningen is het aangewezen een goede dichtheid van de vloerplaat te voorzien, zeker in gebieden met een hoge radium activiteit en/of een poreuse ondergrond. Een conventionele vloerplaat uit gegoten beton (zonder voegen of scheuren) is vaak voldoende om de infiltratie van bodemgas verwaarloosbaar klein te maken.

Zeer goede resultaten worden verkregen door het omkeren van de drukgradiënt tussen de bodem en de woning. Dit gebeurt in de praktijk door het afzuigen van de lucht onder de vloerplaat. Deze methode wordt vaak toegepast in Zweden. De gemiddelde vermindering van de radon concentratie in de woning is 88 % (Ericson, 1986).

Infiltratie van radon :

Uit de bodem (A-H)

A en B Barsten in
betonnen platen.

C en G Voegen in een
gemetselde keldermuur.

D Aansluiting vloerplaat.

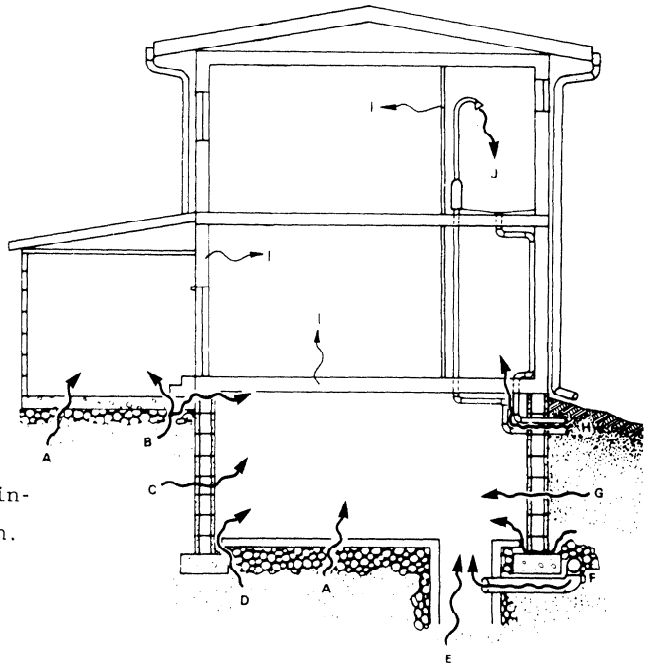
E Onbedekte grond.

F Draineerbuis.

H Plaatsen waarlangs leidin-
gen het huis binnenkomen.

Uit bouwmaterialen (I)

Uit drinkwater (J)



Figuur 5. De belangrijkste manieren waarop radon de woning binnenkomt (EPA, 1986b).

5. HET GEDRAG VAN DE VERVALPRODUCTEN VAN RADON IN HET WOONMILIEU EN HUN EFFECT OP HET EFFECTIEF DOSISEQUIVALENT.

5.1 Potentiële α energie

De longdosis geassocieerd met radon wordt in feite veroorzaakt door het α verval van de ingeademde dochters. De biologische halfwaardetijd van de dochters in de long is van de orde van enkele uren (ICRP publicatie 32, 1981), zodat er tijd is voor volledig verval naar ^{210}Pb . De potentiële α energie voor ^{218}Po is dus samengesteld uit de α vervalenergie (zie figuur 2) van ^{218}Po (6.00 MeV) en uit de vervalenergie van ^{214}Po (7.69 MeV). De andere kortlevende dochters ^{214}Pb , ^{214}Bi en ^{214}Po hebben een potentiële α energie van 7.69 MeV.

Voor de kwantificering van het gezondheidsnadeel is het concept van de Evenwichts Equivalente radon Concentratie (EEC radon) ingevoerd. Het wordt meestal uitgedrukt in Bq/m^3 . 1 Bq/m^3 EEC radon is gedefinieerd als elke concentratie van dochterproducten waarvan de potentiële α energie gelijk is aan deze van 1 Bq/m^3 van elk van de dochters.

$$\text{EEC} = 0.1064 C_A + 0.5150 C_B + 0.3786 C_C \quad (2)$$

met respectievelijk C_A , C_B en C_C de concentraties van ^{218}Po , ^{214}Pb en ^{214}Bi in de lucht.

^{214}Po komt in de vergelijking niet voor omdat er, gezien zijn korte levensduur ($164 \mu\text{s}$), bijna geen ^{214}Po atomen in de lucht aanwezig zijn.

De historische eenheid van EEC radon is de "Working Level". 1 WL is gelijk aan de potentiële α energie van de kortlevende dochters bij evenwicht met 100 pCi/l (3700 Bq/m^3) radon.

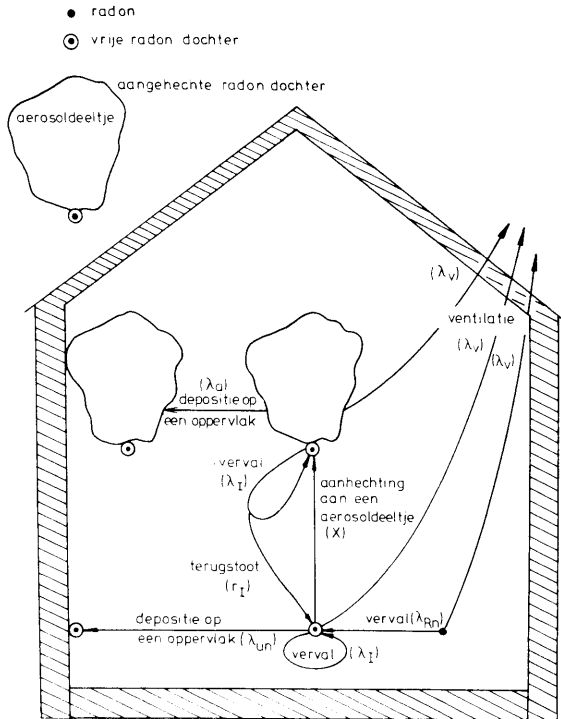
De verhouding van de EEC radon tot de radon concentratie in de lucht is de evenwichtsfactor. Deze factor is steeds kleiner dan 1 door het optreden van twee verliesmechanismen : de verdunning van de lucht door ventilatie en de depositie van de dochters op de aanwezige oppervlakken (wanden, meubilair enz.).

Het gezondheidsnadeel tweegebracht door de inademing van een bepaald mengsel van radon dochters wordt niet volledig beschreven door de EEC. In de dosimetrische modellen wordt namelijk aan de radon dochters die niet aangehecht zijn aan een aerosoldeeltje (vrije dochters) een veel hogere conversiefactor toegekend dan aan de aangehechte dochters, zodat nog een

grootheid moet gedefinieerd worden, namelijk de vrije fractie (f_p). Dit is het gedeelte van de potentiële α energie dat bestaat uit vrije radon dochters.

5.2 Het lot van de vervalproducten van radon

De preciese aard van de vervalproducten van radon in het woonmilieu en hun interacties met dat milieu zijn buitengewoon complex. Gelukkig is het grootste gedeelte van deze complexiteit overbodig om een model op te stellen dat bruikbaar is voor het bepalen van de stralingsbelasting.



Figuur 6. Schematische voorstelling van de processen die het gedrag van de vervalproducten van radon beïnvloeden.

Raabe (1969) en later ook Jacobi (1972) stelden een eenvoudig model op dat gebaseerd is op de macroscopische massabalans van de dochteractiviteiten in een ruimte. Hierbij veronderstelden ze dat de luchtactiviteit isotroop verdeeld is over de ruimte en bestaat uit een

vrije fractie en een fractie aangehecht aan het aerosol. In de literatuur staat het model bekend als het kamermodel. Het beschrijft de volgende processen (zie figuur 6) :

- de aanhechting van de vrije radon dochters aan het aerosol (X),
- de depositie van de vrije (λ_{un}) en aangehechte (λ_a) dochters op wanden en andere oppervlakken die in de kamer aanwezig zijn,
- het radioactief verval (λ_I),
- het vrijkomen van een deel van de aangehechte dochters bij α verval (r_I) en
- de ventilatie (λ_V).

We hebben aangetoond (Vanmarcke, 1987c) dat in het woonmilieu het gebruik van dit model gerechtvaardigd is.

5.3 Bepaling van de dosis conversiefactor

De radon dochter concentraties, de ventilatiesnelheid en de grootteverdeling van het aerosol werden gedurende verschillende dagen gevolgd in twee slaapkamers, een woonkamer en een kelder. Uit de meetgegevens werd met behulp van het kamermodel de vrije fractie berekend (Vanmarcke, 1987c). Zonder aerosolbronnen in de kamer is de vrije fractie gelegen tussen 5 en 15 %. Met een aerosolbron in de kamer zakt de vrije fractie onder de 5 %. Gemiddeld genomen is de vrije fractie evenwel heel wat hoger dan de waarde die ondersteld wordt in het NEA rapport (1983) (2 %) en door James (1984) (3 %).

Vervolgens werd het effectief dosisequivalent berekend voor het Jacobi-Eisfeld model en voor het James-Birchall model (zie NEA rapport, 1983, tabel 2.9). De dosissen blijken bijna niet beïnvloed te worden door de evenwichtsfactor. Dit komt door het feit dat er een omgekeerd verband bestaat tussen de vrije fractie en de evenwichtsfactor. Hierdoor lijkt het ons zinvoller een dosis conversiefactor te definiëren die evenredig is met de radon concentratie in plaats van met de radon dochter concentratie.

De dosis conversiefactor per eenheid van radon concentratie die uit onze analyse volgt is gelijk aan $50 (\mu\text{Sv/j})/(\text{Bq/m}^3)$. In tabel 5 wordt onze waarde vergeleken met deze van de NEA, de ICRP en James. De NEA en ICRP conversiefactoren zijn omgerekend met de evenwichtsfactoren 0.35 en 0.55. Als gevolg van ons werk heeft James beslist zijn dosis conversiefactor uit te drukken per eenheid van radon concentratie. Zijn waarde is hoger dan de

onze omdat hij rekening houdt met de recente ontdekking dat niet alleen de basale cellen van het longepitheel stralingsgevoelig zijn maar ook de "secretory" cellen.

Tabel 5. Factoren voor de omrekening van radon concentratie naar effectief dosisequivalent.

Referentie	Conversiefactor $\frac{\mu\text{Sv/j}}{\text{Bq/m}^3}$	Gemiddelde jaardosis in België ** mSv
<u>NEA</u> , 1983*	27 - 42	1.1 - 1.8
<u>ICRP</u> , 1984*	35 - 55	1.5 - 2.3
<u>James</u> , 1987	50 - 100	2.1 - 4.2
<u>Vanmarcke</u> 1987	50	2.1

* Berekend met de evenwichtsfactoren 0.35 en 0.55

** Gemiddelde radon concentratie : 53 Bq/m^3 (zie punt 3.1),
verblijfsfactor 80 %

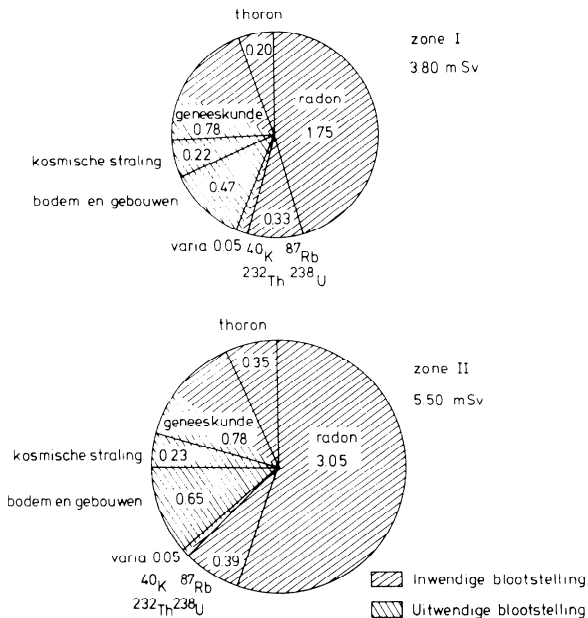
5.4 Stralingsbelasting in België

Passen we de conversiefactoren van tabel 5 toe op de gemiddelde radon concentratie in België, dan bekomen we een dosisequivalent dat gelegen is tussen 1.1 en 4.2 mSv/j. Onze conversiefactor geeft 2.10 mSv/j, zodat ongeveer de helft van de totale stralingsbelasting in België (4.30 mSv/j, zie figuur 1) te wijten is aan de inademing van de vervalproducten van radon.

De radon concentratie in een woning wordt onder meer bepaald door de geologische structuur van de ondergrond. In het Belgisch paleozoïcum, dat de Ardennen en de streek tussen Samber en Maas omvat (zone II, figuur 4), is de gemiddelde concentratie 77 Bq/m^3 , zodat de bijdrage van radon tot de stralingsbelasting er oploopt tot 3.05 mSv/j. De totale stralingsbelasting in deze streek schatten we op 5.50 mSv/j (zie figuur 7). In Vlaanderen en in het noorden van Wallonië daarentegen schatten we de gemiddelde stralingsbelasting op 3.80 mSv/j.

Wat de gemiddelde waarden in figuur 7 niet tonen is de variatie van de dosissen binnen de bevolking. Voor radon is de verhouding tussen de uiterste waarden 10 tot 100 keer groter dan voor de andere bronnen van natuurlijke straling (UNSCEAR, 1982). Uit onze nationale studie volgt dat

1 % tot 5 % van de woningen in zone II een radon concentratie heeft die hoger is dan 250 Bq/m^3 , hetgeen overeenstomt met 10 mSv/j . Op basis van statistische overwegingen moeten er in België zelfs tientallen en wellicht zelfs honderden woningen zijn waar de bewoners zijn blootgesteld aan dosissen die hoger zijn dan 50 mSv/j , de limiet voor personen die beroepshalve zijn blootgesteld aan ioniserende straling.



Figuur 7. Schatting van de jaarlijkse stralingsbelasting van de bevolking in de twee grote geologische zones van België. Voor de verdeling van België, zie figuur 4.

5.5 Risico voor de bevolking

Passen we de ICRP risicofactor (publicatie 26, 1977) van $1.65 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ toe op onze dosisberekening (2.10 mSv/j) dan komen we voor het geheel van de Belgische bevolking aan 350 longkankers per jaar, wat ongeveer 6 % is van het totale aantal longkankers. Dit gezondheidsrisico moeten we afwegen tegenover de andere gevaren die we in het dagelijks leven lopen.

Uit tabel 6 blijkt dat de kans om longkanker te krijgen door de inademing van de vervalproducten van radon vergelijkbaar is met het risico op een dodelijk werkongeval. Roken daarentegen is heel wat gevaarlijker maar is in tegenstelling tot radon het gevolg van een persoonlijke keuze.

Tabel 6. De kans om te sterven ten gevolge van een bepaalde oorzaak (1 : Wrixon, 1985; 2 : Bouville, 1985; 3 : eigen berekening).

Oorzaak	Risico %	Refe- rentie
Longkanker : 10 sigaretten per dag	6.	1
Longkanker : radon 50 mSv/j	4.	1
Werkongeval : bouwvakker	1.	2
Ongevallen op de weg	1.	3
Ongevallen thuis	0.9	1
Longkanker : gemiddelde radon concentratie in België	0.2	3
Werkongeval : alle beroepen samen	0.2	1

5.6 Nationale en internationale aanbevelingen voor de bevolking

De ICRP (publicatie 39, 1984) maakt op het vlak van de reglementering van de bronnen van natuurlijke straling een onderscheid tussen een bestaande toestand, waar elke actie noodzakelijkerwijs herstellend is, en een toekomstige situatie, waar reeds op het niveau van de plannen kan ingegrepen worden. In het geval van een bestaande toestand is de commissie voorstander van het invoeren van een variabel actie niveau dat afhangt van de omvang van de herstellende ingreep. Bijvoorbeeld, voor radon in huizen wordt, in het geval van een eenvoudige ingreep, het actie niveau gelegd op een EEC radon van 200 Bq/m³. Dit komt volgens de commissie overeen met een jaarlijks effectief dosisequivalent van 20 mSv. Bij een meer grondige ingreep wordt een hoger actie niveau voorgesteld. Daarentegen wordt voor nieuwe woningen het actie niveau teruggebracht naar 100 Bq/m³.

Specifiek voor de Belgische situatie is, in 1983 en 1984, door een werkgroep met vertegenwoordigers van het ministerie van volksgezondheid, van het WTCB en van de Rijksuniversiteit Gent, een schema opgesteld dat als basis kan dienen voor een reglementering (Janssens, 1985). In tegenstelling tot de ICRP wordt met slechts één referentieniveau gewerkt, van 250 Bq/m³ radon, maar het niveau heeft in de twee gevallen een

verschillende betekenis. Voor bestaande woningen is het een onderzoeksniveau en eventueel een actie niveau terwijl voor nieuwe woningen het niveau de betekenis heeft van een limiet. Afwijkend van de ICRP is het schema opgesteld voor radon concentraties.

Tabel 7. Nationale en internationale aanbevelingen tot het beperken van de radon concentratie of de radon dochter concentraties in woningen.

Land of organisatie (tevens referentie)	Bestaande woningen		Nieuwe woningen	
	actie niveau		ontwerp niveau	
	EEC Bq/m ³	radon Bq/m ³	EEC Bq/m ³	radon Bq/m ³
<u>USSR</u> , 1976 *			70	
<u>Polen</u> , 1980 *			20	
<u>Finland</u> , 1982	360		70	
<u>ICRP</u> nr.39 1984	200		100	
<u>Zweden</u> , 1985 **	400		70	
<u>EPA</u> (USA), 1986a		150		
<u>Engeland</u> , 1987		400		100

* enkel de bijdrage van bouwmaterialen

** nog niet bekrachtigde wet

In een aantal landen heeft de overheid reeds stappen ondernomen om de blootstelling van de bevolking aan de kortlevende vervalproducten van radon te beperken (zie tabel 7). De meest recente aanbevelingen komen uit de USA en Engeland en beperken de radon concentratie in plaats van de radon dochter concentratie. Dit is grotendeels het gevolg van de resultaten die wij de laatste jaren naar voor hebben gebracht (Vanmarcke, 1985; Vanmarcke, 1987a). De EPA (Environmental Protection Agency) schat dat in de USA miljoenen woningen boven de limiet van 150 Bq/m³ uitkomen. De overheid in de USA is echter niet van plan de rekening te betalen voor het aanpassen van deze woningen.

In de USSR en in Polen zijn er aanbevelingen met betrekking tot de bijdrage van de bouwmaterialen in de radon dochter concentratie in nieuwe woningen.

Nederland zit op dezelfde lijn. Inderdaad het interim advies van de gezondheidsraad aan de minister (1985) geeft grenswaarden aan voor de som van de specifieke ²²⁶Ra en ²³²Th activiteiten in veel gebruikte

bouwmaterialen (zie tabel 8). Bouwmaterialen waarvan de activiteit beneden de onderste grenswaarde ligt, kunnen zonder enig voorbehoud gebruikt worden. Overschrijdt een materiaal de onderste grens dan moeten de voor- en nadelen van het toepassen van het desbetreffende materiaal afgewogen worden. In het advies zijn ook grenzen vastgesteld waarboven de activiteit niet mag uitkomen. Ze worden in tabel 8 aangeduid met de term bovenste grenswaarde.

Tabel 8. Grenswaarden voor de som van de specifieke ^{226}Ra en ^{232}Th activiteiten in veelgebruikte bouwmaterialen.

Bouwmateriaal	Activiteit	Activiteit
	Bq/kg	Bq/kg
	Onderste grenswaarde	Bovenste grenswaarde
Beton	100	150
Kalkzandsteen	100	250
Gipsblokken	150	600
Gipskarton	200	600

Voor het afleiden van de grenswaarden, is uitgegaan van een verhoging van het effectief dosisequivalent van 0.1 mSv respectievelijk 0.5 mSv per jaar, betrokken op een referentiepersoon in referentieomstandigheden.

De activiteit van een bouwmateriaal is gemakkelijk te meten en werd daarom verkozen boven de werkelijk belanghebbende parameter namelijk de exhalatie. Naar onze mening is dit voor discussie vatbaar, gezien het verband tussen de beide parameters voor vele materialen eerder zwak is. Ook het optellen van de activiteiten van de beide vervalreeksen vinden wij minder geslaagd, gezien bij een gelijke activiteit het gezondheidsnadeel te wijten aan de uraniumreeks, veel groter is dan dat te wijten aan de thoriumreeks.

In België bestaan terzake nog geen richtlijnen. Men wacht hier de resultaten af van een werkgroep die is opgericht op het vlak van de Europese Gemeenschap.

De auteurs danken de Commissie van de Europese Gemeenschap, het Interuniversitair Instituut voor Kernwetenschappen, het Instituut tot aanmoediging van het Wetenschappelijk Onderzoek in Nijverheid en Landbouw en het Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf voor de steun die zij aan dit werk hebben verleend.

REFERENTIES

- Aoyama T., Yonehara H., Sakanoue M., Kobayashi S., Iwasaki T., Mifune M., Radford E.P. en Kato H. ACS Symposium Series 331 : 124-136 (1987)
- Bourgoignie R.R., Lejeune P., Poffijn A., Segaert O. en Uyttenhove J. An. Belg. Stral. 7 : 5-16 (1982)
- Bouville A., Snihs J.O. en O'Riordan M.C. The Science of the Tot. Env. 45 : 565-577 (1985)
- Burkart W. Rapport Eidg. Institut für Reaktorforschung Würenlingen 512 (1984)
- Castren O., Winqvist K., Mäkeläinen I. en Voutilainen A. Rad. Prot. Dos. 7 : 333-336 (1984)
- Castren O., Voutilainen A., Winqvist K. en Mäkeläinen I. The Science of the Tot. Env. 45 : 311-318 (1985)
- Charlet J.-M., Dejonghe L., De Witte S.M., Drumel B., Henry J., Herbosch J., Lefin J.-P. en Martin H., Geologische dienst van België, Prof. Paper 196 (1983)
- Charlet J.-M., Ndziba M. en Quinif Y. An. Soc. Géol. Belg. 108 : 387-399 (1985)
- Cothern C.R., Lappenbusch W.L. en Michel J. Health Phys. 50 : 33-47 (1986)
- Engeland New Scientist 5 februari 33-35 (1987)
- EPA EPA Journal Volume 12, Nummer 6 : 3-15 (1986a)
- EPA EPA/625/5-86/019 (1986b)
- Ericson S.-O., Schmied H. en Clavensjo B. Rad. Prot. Dos. 7 : 223-226 (1984)
- Ericson S.-O., Lindvall T. en Månsson L.-G. Swedish Council for Building Research ISBN 91-540-4554-1 (1986)
- Finland Final Report of the Finnish Radon Commission, Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety, Helsinki (1982)
- Gesell T.F. Health Phys. 45 : 289-302 (1983)
- Green B.M.R., Brown L., Cliff K.D., Driscoll C.M.H., Miles J.C.H. en Wrixon A.D. The Science of the Tot. Env. 45 : 459-466 (1985)
- Hess C.T., Weiffenbach C.V. en Norton S.A. Health Phys. 45 : 339-348 (1983)
- ICRP Publicatie 26 Annals of the ICRP 1 (1977)
- ICRP Publicatie 32 Annals of the ICRP 6 (1981)
- ICRP Publicatie 39 Annals of the ICRP 14 (1984)
- Jacobi W. Health Phys. 22 : 441-450 (1972)
- James A.C. Rad. Prot. Dos. 7 : 353-366 (1984)
- James A.C. ACS Symposium Series 331 : 400-418 (1987)

- Janssens A., Bourgoignie R., De Pauw C. en De Clercq-Verzele H. The Science of the Tot. Env. 45 : 603-612 (1985)
- Kritidis P. Rapport CEG bijeenkomst Gent, 29-30 mei (1986)
- Létourneau E.G., McGregor R.G. en Walker W.B. Rad. Prot. Dos. 7 : 303-308 (1984)
- Létourneau E.G. The Science of the Tot. Env. 45 : 647-656 (1985)
- McLaughlin J.P. ACS Symposium Series 331 : 113-123 (1987)
- Miles J.C.H. en Sinnaeve J. Nucl. Tracks 12 : 735-738 (1986)
- Morinaga H., Mifune M. en Furuno K. Rad. Prot. Dos. 7 : 295-297 (1984)
- NEA experts report "Dosimetry aspects of exposure to radon and thoron daughter products" OECD Nuclear Energy Agency (1983)
- Nederland Interim advies uitgebracht door de Gezondheidsraad aan de Minister van Volksgezondheid (1985)
- Nero A.V., Sextro R.G., Doyle S.M., Moed B.A., Nazaroff W.W., Revzan K.L. en Schwehr M.B. The Science of the Tot. Env. 45 : 233-244 (1985)
- Poffijn A., Marijns R., Vanmarcke H. en Uyttenhove J. The Science of the Tot. Env. 45 : 335-342 (1985)
- Polen "Richtlinien für die Untersuchung der natürlichen Radioaktivität von Roh- und Baustoffen" Ministerium für Banwesen und Baustoffindustrie, Institut für Bautechnik, Warschau (1980)
- Put L.W., Veldhuizen A. en de Meijer R.J. Verslag van SAWORA, Kernfysisch Versneller Instituut, Groningen 1111 (1985)
- Raabe O.G Health Phys. 17 : 177-185 (1969)
- Rannou A., Madelmont C. en Renouard H. The Science of the Tot. Env. 45 : 467-474 (1985)
- Schmier H. en Wicke A. The Science of the Tot. Env. 45 : 307-310 (1985)
- Sciocchetti G., Scacco F., Baldassini P.G., Batella C., Bovi M. en Monte L. The Science of the Tot. Env. 45 : 327-333 (1985)
- Slegers W. en Ghooos L. An. Belg. Stral. 8 : 59-79 (1983)
- Sørensen A., Bøtter-Jensen L., Majborn B. en Nielsen S.P. The Science of the Tot. Env. 45 : 351-356 (1985)
- Stein L. ACS Symposium Series 331 : 240-251 (1987)
- Stranden E. ACS Symposium Series 331 : 70-83 (1987)
- Swedjemark G.A. en Mjönes L. Rad. Prot. Dos. 7 : 341-345 (1984)
- Ulbak K. en Klinder O. Rad. Prot. Dos. 7 : 87-89 (1984)
- UNSCEAR Rapport aan de Algemene Vergadering E.82.IX.8 (1982)
- Urban M. en Piesch E. Rad. Prot. Dos. 1 : 97-109 (1981)
- Urban M., Wicke A. en Kiefer H. Rapport Kernforschungszentrum Karlsruhe 3805 (1985)

- USSR "Radiohygienique judgment of the building materials" The Ministry of Health, RSFCR, Leningrad (1976)
- Uyttenhove J., Marijns R., Janssens A., Vanmarcke H. en Jacobs R. Rad. Prot. Dos. 7 : 275-278 (1984)
- Vanmarcke H., Janssens A. en Raes F. The Science of the Tot. Env. 45 : 251-260 (1985)
- Vanmarcke H. en Janssens A. Nucl. Tracks 12 : 689-692 (1986)
- Vanmarcke H., Janssens A., Raes F., Poffijn A., Berkvens P. en Van Dingenen R. ACS Symposium Series 331 : 301-323 (1987a)
- Vanmarcke H. en Eggermont G. opgestuurd naar IRPA, 7^{de} Internationaal Kongres, april 1988 (1987b)
- Vanmarcke H. Doctoraatsverhandeling (1987c)
- Wrixon A.D. en O'Riordan M.C. The Science of the Tot. Env. 45 : 657-676 (1985)
- Zweden "Development lines for the public health and medical care" Swedish governmental proposition 1984/85 :181, Stockholm (1985)

RESUME.

La concentration moyenne annuelle de radon dans les habitations belges est de 53 Bq/m^3 . Ceci est comparable avec les résultats d'études similaires dans d'autres pays. Notre étude prouve que la plus importante source de radon dans les maisons à haute concentration est l'infiltration par le sol.

L'analyse du comportement des produits de filiation mène à un facteur de conversion qui est proportionnel avec la concentration de radon ($50 (\mu\text{Sv/a})/(\text{Bq/m}^3)$). Il en résulte un équivalent de dose de 2.10 mSv/a , ce qui signifie qu'approximativement la moitié de la dose engagée en Belgique est due à l'inhalation des produits de filiation de radon.

ABSTRACT.

The annual average radon concentration in belgian dwellings is 53 Bq/m^3 , which is comparable to the results of similar studies in other countries. Our study indicates that the infiltration of radon from the ground is the most important source of radon in houses with a high radon concentration. The analysis of the behaviour of the decay products of radon in the indoor environment resulted in a dose conversion factor proportional to the radon concentration of $50 (\mu\text{Sv/y})/(\text{Bq/m}^3)$. The average dose equivalent to the population is 2.10 mSv/y , so that about half of the exposure in Belgium is due to the inhalation of the decay products of radon.

Annales de l'Association Belge de Radioprotection, vol. 13, n° 1 (1988)

EFFETS BIOLOGIQUES DES FAIBLES DOSES DE RAYONNEMENTS IONISANTS.

A. Léonard

Laboratoire de Génétique des Mammifères, Département de Biologie, CEN,
B-2400 Mol
et
Unité de Tératogenèse et Mutagenèse, UCL 7237, B-1200 Bruxelles

Résumé

Les doses de rayonnements ionisants qui ne dépassent pas 50 mSV peuvent, théoriquement, produire des effets stochastiques, c'est-à-dire augmenter la fréquence de certains types de cancers et de déficiences génétiques. En réalité l'augmentation attendue est tellement faible qu'elle doit être considérée comme nulle. La majorité des effets non-stochastiques requièrent, pour être produits, des doses atteignant ou même dépassant largement 1 gray.

Summary

Stochastic effects such as cancer and transmissible damage can be caused by small doses but the increase expected after doses up to 50 mSV is so low that it can be considered as negligible. The great majority of non-stochastic effects arises only if a minimum threshold dose, usually more than 1 Gy, is exceeded.

Samenvatting

Ioniserende stralingsdosissen die de 50 mSV niet overschrijden kunnen, theoretisch althans, stochastische effecten veroorzaken t.t.z. ze kunnen een toename van bepaalde kankers en genetische deficiëncies tot gevolg hebben. Deze toename is zodanig klein dat ze in werkelijkheid kan verwaarloosd worden. De grote meerderheid van niet-stochastische effecten komt slechts tot uiting wanneer een minimale limietdosis, in het algemeen meer dan 1 Gy, wordt overschreden.

1. INTRODUCTION

On considère comme faibles, les doses annuelles de rayonnements ionisants ne dépassant pas 50 mSV. Les doses que les populations humaines sont susceptibles de recevoir dans des circonstances normales sont loin d'atteindre ce niveau. On estime, en effet, que chacun d'entre nous reçoit environ 2 mSV des sources naturelles de rayonnement (Tableau 1) et 1 mSV du aux activités humaines (Tableau 2).

Tableau 1

Doses annuelles moyennes (mSV) d'origine naturelle reçues par l'homme (UNSCEAR, 1982).

Irradiation externe	
Rayonnement cosmique	0,30
Radionuclides	
Potassium 40	0,12
Série de l'uranium 238	0,09
Série du thorium 232	0,14
Irradiation interne	
Radionuclides cosmiques	0,015
Radionuclides terrestres	
Potassium 40	0,18
Rubidium 87	0,006
Uranium 238	0,95
Thorium 232	0,19
<hr/>	
Total	2 mSV

Tableau 2

Doses annuelles moyennes (mSV) reçues par l'homme par suite des activités humaines (UNSCEAR, 1982).

Irradiation médicale	0,80
Retombées des explosions atomiques	0,02
Transports aériens	0,001
Fonctionnement et rejets des centrales	0,0015
Biens de consommation	0,008
<hr/>	
Total	1 mSV

A l'échelle d'une vie humaine, les doses dues aux sources naturelles sont relativement stables. Elles proviennent essentiellement du rayonnement cosmique et des radionuclides présents dans la croûte terrestre. Il convient de préciser, cependant, que certains individus peuvent recevoir des doses de rayonnements dépassant largement cette moyenne de 2 mSV. C'est notamment le cas pour les personnes vivant dans des régions dont le sol et le sous-sol sont riches en éléments radioactifs ou qui habitent dans des demeures dont les matériaux dégagent des taux importants de radon. Les affleurements à radioactivité très élevée (parfois supérieure à 1 Gy) que l'on peut rencontrer localement dans certains pays ne jouent qu'un rôle négligeable parce que leur

superficie n'atteint jamais que quelques mètres carrés au maximum. Ajoutons encore que l'importance du rayonnement cosmique varie avec l'altitude et, dans une mesure moindre, avec la latitude.

La majeure partie des doses que nous recevons par suite des activités humaines est due aux pratiques médicales (Tableau 2). Les essais atomiques et les centrales nucléaires ne contribuent que pour une fraction très faible à ces doses. On peut d'ailleurs considérer que l'accident de Tchernobyl n'a augmenté que de façon négligeable les doses reçues par nos populations.

2. EFFETS STOCHASTIQUES ET NON-STOCHASTIQUES

Il est d'usage de classer les effets biologiques, que peuvent avoir les agents physiques et chimiques présents dans notre environnement, en effets stochastiques et en effets non-stochastiques.

Les effets stochastiques sont la conséquence de dommages produits au matériel génétique (ADN) cellulaire. Ils peuvent résulter de dommages produits dans une seule cellule et peuvent apparaître après de très faibles doses. Leur fréquence est fonction de la dose administrée. Les cancers et les dommages génétiques transmissibles à la descendance appartiennent à cette catégorie.

La plupart des effets non-stochastiques n'apparaissent qu'après l'administration de doses élevées telles que celles qu'on est susceptible de recevoir à l'occasion de traitements radiothérapeutiques. A partir de cette dose seuil, la gravité de ces effets dépendra de l'importance de la dose administrée. Ils ne seront pas envisagés ici puisqu'ils requièrent, pour leur production, des doses dépassant le plus souvent largement l'ordre du Gray.

Les effets tératogènes constituent un cas particulier. Le zygote provenant de la fécondation d'un ovocyte par un spermatozoïde donne naissance lors des premières divisions, à des blastomères qui, du moins dans les premiers stades de développement, sont "totipotents" : si l'un d'entre eux est endommagé et meurt, les blastomères survivants et intacts sont à même d'assurer un développement ultérieur normal. Cette faculté disparaîtra cependant dans les stades plus avancés. La radiosensibilité de l'embryon et du fœtus dépendra donc étroitement du stade de développement auquel ils se trouvent au moment de l'irradiation. Si on peut considérer que les effets tératogènes sont du type non-stochastique les niveaux de dose à partir desquels ils pourront apparaître varieront selon le stade de développement, de quelques mSV à plusieurs SV.

3. EFFETS NOCIFS DE L'EXPOSITION A DE FAIBLES DOSES

L'estimation des effets biologiques de l'exposition à de faibles doses de rayonnements ionisants est extrêmement délicate. La plupart des recherches expérimentales ont, en effet, été réalisées en exposant les animaux de laboratoire, dans le cas de recherches in vivo, ou les cultures de cellules, dans le cas d'expériences in vitro, à doses aiguës atteignant ou dépassant le plus souvent un gray.

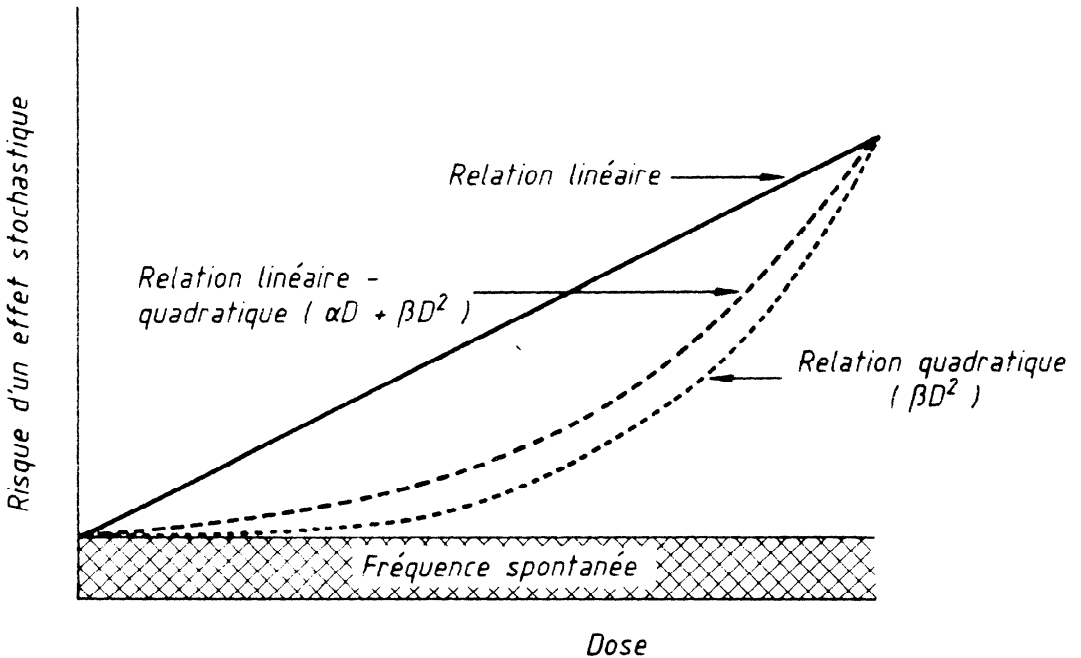
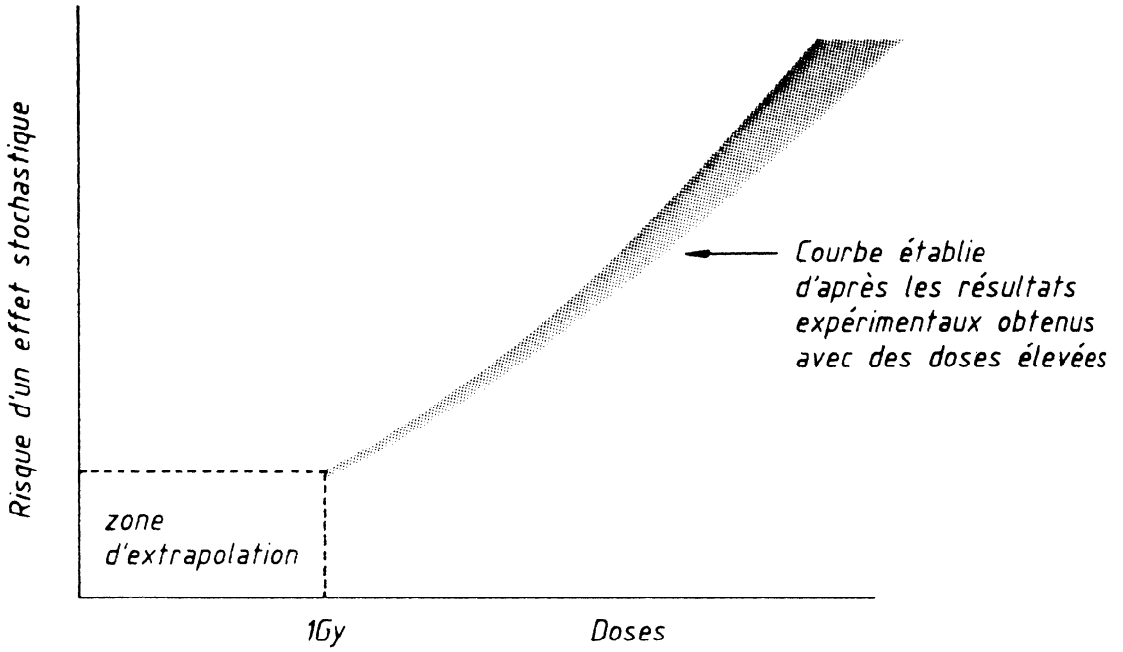


Figure 1.

Extrapolation des doses élevées aux doses faibles (figure adaptée de Tubiana et al., 1986).

Si, au delà de cette valeur, la forme de la relation dose-effet est relativement bien connue, nous possédons par contre très peu de données sur la question pour les faibles doses. L'évaluation du risque sera évidemment extrêmement différente selon que l'extrapolation des doses élevées aux faibles doses a lieu sur la base d'une relation linéaire, d'une relation linéaire-quadratique, ou quadratique. La relation linéaire correspond bien à la réalité pour des rayonnements tels que les particules alpha ou les neutrons mais donne certainement une surestimation du risque que représente l'exposition à de faibles doses de rayons X ou de rayons gamma. Dans un but de sécurité, c'est néanmoins sur la base d'une relation linéaire que sont estimés les risques de l'exposition à de faibles doses quel que soit le type de rayonnements impliqués (Figure 1).

a. Production de cancers

Les études épidémiologiques effectuées sur les survivants de Nagasaki et d'Hiroshima, sur des groupes de personnes irradiées pour des raisons médicales ou professionnelles, c'est-à-dire dans la plupart des cas sur des personnes exposées à des doses supérieures à 500 mSV, ont démontré que divers types de cancers pouvaient être provoqués par une exposition aux radiations ionisantes. C'est le cas pour la leucémie, les cancers de la thyroïde, du sein, des poumons, du système gastro-intestinal, de la peau et des os. Selon le BEIR (1980) et l'UNSCEAR (1982) l'accroissement de la probabilité de développer un cancer entraînant la mort de la personne atteinte n'est que de 1% pour une exposition à une dose de 1 SV ! En Belgique, 30.000 personnes environ meurent de cancer chaque année. L'exposition de toute la population belge à une dose de 50 mSV pourrait, théoriquement, produire 15 cas supplémentaires ce qui est de loin inférieur à la norme de variation possible de la fréquence spontanée et serait par conséquent indécélable. Signalons à ce propos que les doses de rayonnements reçues par nos populations à la suite de l'accident de Tchernobyl n'ont pas atteint 1 mSV.

b. Effets transmissibles à la descendance

Les études épidémiologiques réalisées sur les descendants des personnes irradiées à Nagasaki ou à Hiroshima n'ont jamais pu permettre de mettre en évidence une augmentation de la fréquence des déficiences génétiques due aux doses reçues. Ceci est dû avant tout aux difficultés que présente la réalisation d'études de ce genre : dans une population normale quelque 10% des gens (Tableau 3) révèlent des déficiences génétiques (la plupart heureusement peu importantes) avant l'âge de 20 ans. Si on tient compte des maladies qui apparaissent plus tard on peut dire, qu'au total, près de 70% des personnes manifestent l'un ou l'autre symptôme révélant qu'elles présentent une déficience génétique.

Tableau 3.

Effets transmissibles à la descendance résultant de l'administration d'une dose de 50 mSV de radiations de faible énergie linéaire de transfert délivrée à de faibles débits à une population de 1 million de personnes (adapté de l'UNSCEAR, 1982).

Type de maladie génétique	Incidence spontanée	Augmentation résultant de l'exposition à 50 mSV	
		Première génération	Equilibre *
Maladies autosomiques dominantes			
ou liées au sexe	10.000	75	500
Maladies récessives	2.500	0	0
Maladies chromosomiques			
Structurelles	400	12	20
Numériques	3.000	0	0
Maladies multifactorielles	90.000	22	225
Total	105.900	109	745

* Par équilibre on désigne la situation qui prévaudrait si cette exposition se répétait à chaque génération.

Si on ajoute qu'il est extrêmement difficile de trouver des populations témoins de référence on comprendra qu'il est pratiquement impossible de mettre en évidence de faibles augmentations de la fréquence des maladies génétiques dues à une exposition à des agents génotoxiques, qu'ils soient physiques ou chimiques.

L'estimation des dangers que présentent les faibles doses de produire des dommages transmissibles à la descendance repose donc entièrement sur les résultats des études expérimentales sur animaux de laboratoire. Ces travaux ont démontré que la dose nécessaire pour doubler le taux spontané de mutations était au moins de 1 Gy. Si on tient compte du fait que les faibles doses que nous sommes susceptibles de recevoir ont, en général, une faible énergie linéaire de transfert et sont administrées à de faibles débits, on se rend compte que leurs effets éventuels sont tout à fait négligeables en ce qui concerne la production de dommages transmissibles à la descendance (Tableau 3). Pour comprendre la signification exacte des valeurs reprises dans ce tableau 3 il convient de rappeler que dans nos pays la dose maximale autorisée pour les personnes non exposées professionnellement est de 5 mSV par an, c'est-à-dire 10 fois moins que celle qui a servi pour le calcul des valeurs de ce tableau 3.

c. Effets tératogènes

Ainsi que nous l'avons expliqué plus haut, les effets tératogènes sont du type non-stochastique mais les niveaux de dose à partir desquels ils apparaissent sont liés directement au stade de développement atteint par l'organisme au moment de l'irradiation. A titre d'indication nous avons repris dans le tableau 4 adapté de Brent (1980) les niveaux de doses à partir desquels ces effets se manifestent pour l'embryon humain exposé à des doses aiguës.

Tableau 4

Estimations de la DL50 et des doses capables d'affecter l'embryon humain en fonction de son stade de développement (adapté de Brent, 1980).

Age (jours)	Dose létale minimale (Gy)	DL50 approximative (Gy)	Doses minimales à partir desquelles les retards de croissance produits par l'irradiation sont récupérables (Gy)	Doses minimales produisant des malformations importantes (Gy)
1	0,10	0,7 - 1,0	pas d'effet	pas d'effet
14	0,25	1,4	0,25	
18	0,50	1,5	0,25 - 0,50	0,25
28	> 0,50	2,2	0,50	0,25
50	> 100	2,6	0,50	0,50
foetus développé		3,0 - 4,0	0,50	> 0,50

4. EFFETS BENEFIQUES EVENTUELS DES FAIBLES DOSES

La vie est apparue sur la terre un milliard d'année environ après sa formation et il a fallu quelque deux milliards d'années supplémentaires pour passer des formes vivantes simples (procaryotes) aux formes mieux organisées et plus compliquées que sont les eucaryotes. L'Homme, qui représente l'aboutissement de cette évolution, n'est apparu qu'il y a 1,8 million d'années (Tableau 5).

Tableau 5

Principales étapes de l'évolution.

Formation de la terre	4.500 millions d'années
Apparition des procaryotes	3.500 millions d'années
Eucaryotes	1.500 millions d'années
Organismes pluricellulaires	570 millions d'années
Mammifères	225 millions d'années
Primates	65 millions d'années
Homme (Homo erectus)	1,8 millions d'années

Cette évolution, quelqu'en soient les mécanismes exacts, s'est faite sous l'influence des agents physiques et chimiques présents dans notre environnement et qui sont susceptibles d'affecter le matériel génétique des êtres vivants. Il est dès lors logique de penser que la radioactivité naturelle, qui, était certainement beaucoup plus importante jadis qu'elle ne l'est à l'heure actuelle, a pu contribuer à cette évolution.

Différentes recherches et observations effectuées ces dernières années suggèrent que, de fait, de faibles doses d'irradiation peuvent influencer de manière positive certains systèmes biologiques (Hickey et al., 1983 ; Dalebroux et al., 1987). On a pu démontrer, en effet, que des doses ne dépassant pas les niveaux de rayonnements d'origine naturelle favorisent la division cellulaire des organismes inférieurs tels que les procaryotes, le paramécium, les algues, etc...), mais également selon certains auteurs, des

insectes et de certaines espèces de crabes et de mammifères. L'irradiation des graines avec de faibles doses peut, dans certains cas, favoriser leur croissance. La végétation de certains terrains uranifères peut ainsi montrer des plantes appartenant à d'espèces connues et se caractérisant par une taille anormalement grande ou par l'apparition de mutations affectant la couleur. De faibles doses de rayonnement pourraient également accroître la fertilité des mammifères, accélérer la réparation des blessures, accroître la résistance aux infections ou allonger la survie. Si même des études complémentaires doivent être réalisées pour comprendre le mécanisme exact de ces effets, il est difficile de nier leur existence. Un congrès rassemblant des scientifiques de valeur reconnue internationalement dans le domaine de la radiobiologie a d'ailleurs été organisé en 1985 à Oakland (USA) et les participants ont été unanimes à reconnaître la réalité de ces effets.

5. CONCLUSIONS

Les doses de rayonnements ionisants que l'on considère comme faibles, c'est-à-dire celles qui ne dépassent pas 50 mSV par an, peuvent, en théorie, avoir des effets stochastiques c'est-à-dire produire des cancers et augmenter l'incidence des déficiences génétiques. Sur la base des études épidémiologiques et expérimentales on peut cependant affirmer que, quantitativement parlant, l'importance de ces effets résultant de l'exposition à de faibles doses de rayonnements ionisants doit être considérée comme négligeable.

Dans leur grande majorité les effets non-stochastiques requièrent l'administration de doses élevées. Seuls les effets tératogènes peuvent, selon le type et le stade de développement, être produits par des doses relativement basses.

Certaines recherches expérimentales suggèrent que les faibles doses de rayonnements ionisants pourraient, dans certains cas, avoir des effets bénéfiques.

REFERENCES

- BEIR Report (1980)
The effects on populations of exposure to low levels of ionizing radiations.
Report of the Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations.
- Brent, R.L. (1980)
Radiation teratogenesis.
Teratology 21, 281-298.
- Conference on Radiation Hormesis (1985)
Abstracts of a meeting held in Oakland, Ca., August 14-16, 1985.
- Dalebroux, M.A., M. Delpoux, H. Dulieu et A. Léonard (1987)
L'irradiation naturelle tellurique et les êtres vivants.
(en préparation).
- Hickey, R.J., E.J. Bowers and R.C. Clelland (1983)
Radiation hormesis, public health, and public policy : a commentary.
Health Physics 40, 625-641.
- Léonard, A. (1984)
Environnement et Génétique.
Cabay, Louvain-la-Neuve, 253 p.
- Tubiana, M., J. Dutreix et A. Wambersie (1986)
Radiobiologie.
Hermann, Editeur des Sciences et des Arts, 291 p.
- UNSCEAR (1982, 1985)
Ionizing radiation : sources and biological effects.
Report of the General Assembly.

Association belge de Radioprotection

S T A T U T S

(approuvés en séance constitutive le 9 avril 1963, modifiés en assemblées générales, les 8 février 1975, 5 décembre 1981 et 5 décembre 1986).

ARTICLE PREMIER

L'ASSOCIATION BELGE DE RADIOPROTECTION a pour but :

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

ARTICLE 2

L'Association se compose de membres effectifs et de membres associés. Les membres effectifs sont soit détenteurs d'un diplôme universitaire, soit ingénieurs industriels occupés dans le domaine de la radioprotection. Les membres associés sont toutes autres personnes intéressées par les problèmes de radioprotection.

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

ARTICLE 3

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

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

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

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

ARTICLE 4

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

ARTICLE 5

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

ARTICLE 6

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

Le Bureau compte en outre 12 membres au maximum. De plus, il pourra s'adjoindre divers conseillers pour étudier des problèmes particuliers.

ARTICLE 7

Le Bureau composé de membres effectifs est nommé pour deux ans, sauf le Secrétaire général qui est nommé pour 4 ans par l'Assemblée générale statutaire qui a lieu dans la première quinzaine de décembre, les comptes de l'Association étant clôturés au 30 novembre.

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

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

En cas de vacance de l'une des fonctions de membre du Bureau, il est procédé lors de la plus prochaine assemblée, à l'élection d'un remplaçant. Le nouveau membre élu achève le mandat de son prédécesseur. L'élection est annoncée par la voie ordinaire des convocations.

ARTICLE 8

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

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

ARTICLE 9

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

ARTICLE 10

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

La convocation devra être accompagnée du texte des modifications proposées.

Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming

S T A T U T E N

(Goedgekeurd in de samenstellende zitting van 9 april 1963, gewijzigd in algemene vergadering op 8 februari 1975, 5 december 1981 en 5 december 1986)

ARTIKEL EEN

De Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming heeft tot doel :

- 1.- al de vraagstukken met uitsluitend wetenschappelijk karakter betreffende de bescherming van de individuen en de gemeenschappen, tegen de gevaren die kunnen voortspruiten uit ioniserende en niet ioniserende stralingen, te bestuderen. Zij zal namelijk navorsingswerk van alle aard, evenals onderzoek daar toe ondernomen, bevorderen in alle belanghebbende universitaire disciplines ;
- 2.- met alle middelen bij te dragen tot de studie van de wetenschappelijke aspecten van de stralingsbescherming, namelijk door een nauwe samenwerking te verwezenlijken tussen alle belanghebbende wetenschappelijke disciplines ;
- 3.- de deelname van België te vergemakkelijken aan internationale organismen of congressen die de bescherming tegen ioniserende en niet ioniserende stralingen tot oogmerk hebben.

ARTIKEL TWEE

De Vereniging bestaat uit effectieve leden en geassocieerde leden. De effectieve leden zijn, of houder van een universitair diploma, of industriële ingenieurs werkzaam in het domein van de stralingsbescherming. De geassocieerde leden zijn alle ander personen die belang stellen in de stralingsbescherming.

De algemene vergadering kan, op voorstel van het bureau, de titel van Erevoorzitter en Erelid toekennen.

ARTIKEL DRIE

De effectieve leden en de geassocieerde leden worden door de algemene vergadering aangenomen bij volstreekte meerderheid van de aanwezige effectieve leden.

De geheime stemming zal verplicht zijn telkens ze door een aanwezig effectief lid zal worden gevraagd.

De kandidatuur van ieder lid moet voorgedragen worden door twee effectieve leden, en aangekondigd op de agenda van de volgende algemene vergadering. Vooraleer aan de stemming van de vergadering onderworpen te worden moet de kandidatuur van geassocieerde leden vooraf en bij eenparigheid aanvaard zijn geworden door de leden van het bureau.

ARTIKEL VIER

De jaarlijkse bijdrage wordt ieder jaar tijdens de algemene vergadering vastgelegd.

ARTIKEL VIJF

De Vereniging mag in een orgaan, dat zij als gepast beschouwt, het verslag van de vergaderingen, de werken, en mededelingen publiceren die in de vergadering werden voorgedragen, na toestemming van het bureau van de Vereniging.

ARTIKEL ZES

De Vereniging wordt geleid door een bureau samengesteld uit de volgende personen : een voorzitter, een eerste ondervoorzitter (toekomstig voorzitter) een tweede ondervoorzitter (uittredende voorzitter), een secretaris generaal, een adjunct secretaris generaal (toekomstige secretaris generaal), een penningmeester, een bestendige secretaris.

Het bureau omvat bovendien ten hoogste 12 leden. Daarenboven zullen verschillende raadgevers kunnen toegevoegd worden om speciale problemen te bestuderen.

ARTIKEL ZEVEN

Het bureau, samengesteld uit effectieve leden wordt benoemd voor twee jaar, behalve de secretaris generaal die benoemd wordt voor vier jaar, door de algemene statutaire vergadering die zal gehouden worden tijdens de eerste veertien dagen van december. De rekeningen van de vereniging worden afgesloten op 30 november.

De voorzitter uitgezonderd, zijn de uittredende leden, onmiddellijk herkiesbaar in dezelfde functie. De verkiezingen hebben plaats met absolute meerderheid van stemmen van de aanwezige effectieve leden. Zij zullen bij geheime stemming plaats grijpen zo de wens hiertoe wordt uitgesproken door tenminste twee leden. In geval één der functies bij het bureau vakant is, wordt tijdens de eerst volgende vergadering een vervanger gekozen ter beëindiging van het mandaat van zijn voorganger. De verkiezing wordt aangekondigd langs de gewone weg van oproeping.

ARTIKEL ACHT

Het bureau heeft de volmacht om de vergaderingen samen te roepen.

Het aantal vergaderingen mag niet kleiner zijn dan 3 per jaar.

Een buitengewone algemene vergadering moet bijeen geroepen worden binnen de dertig dagen, op schriftelijke aanvraag ondertekend door tien effectieve leden.

De voorzitter en de penningmeester zullen hun verslag over het afgelopen dienstjaar voorleggen op de algemene statutaire vergadering van december.

ARTIKEL NEGEN

Al de aangelegenheden die in de onderhavige statuten niet voorzien zijn, worden door het bureau afgehandeld, dat zijn beslissing zal onderwerpen aan de goedkeuring van de algemene vergadering.

ARTIKEL TIEN

Over de wijzigingen van de huidige statuten kan slechts worden beslist door de algemene statutaire vergadering van december met een twee-derde meerderheid van de aanwezige effectieve leden.

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

Annales de l'Association belge de Radioprotection.

CONSEILS AUX AUTEURS.

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

IMPRESSION

Le texte remis par l'auteur étant reproduit tel quel (après réduction à 8/10), il est nécessaire de respecter les règles reprises ci-après pour que l'impression soit bien lisible.

- Dactylographier le texte en noir sur blanc et employer de l'encre noire pour les formules écrites à la main et les dessins ;
- Fixer à la colle blanche les figures insérées dans le texte (pas de papier adhésif) ;
- Remettre l'exemplaire original ; pas de copie au carbone ni de photocopie.

PRESENTATION

- Utiliser exclusivement du papier blanc au format Din A4 ;
- Maintenir le texte, dessins et figures dans le cadre de 160 x 240 mm au milieu de la feuille ;
- Dactylographier sur une seule face ;
- Dactylographier l'article en interligne 1 1/2 et les résumés en interligne simple ;
- Prévoir la place nécessaire dans le texte pour insérer les photos éventuelles ;
- Joindre les photos en y mentionnant au verso, le nom de l'auteur, le titre de l'article, le numéro de la figure, l'indication du haut et du bas (ne pas les coller aux places réservées) ;
- L'impression se faisant uniquement en noir et blanc, ne nous soumettez pas de photos, dessins ou graphiques en couleurs ;
- Veiller à ce que :
 - les légendes des figures, photos et tableaux soient explicites indépendamment du texte mais que d'autre part les références se retrouvent néanmoins dans le texte ;
 - les indications sur les figures, photos, tableaux et graphiques soient de dimension suffisante pour rester lisibles après réduction de 20 %, tout en restant dans le cadre de 160 x 240 mm ;
 - les formules mathématiques apparaissent sur des lignes séparées et soient numérotées ;
 - les fractions soient dactylographiées avec une barre de fraction oblique ;
- Numérotter les pages au crayon au verso.

SUBDIVISIONS

1) TITRE (en majuscules)

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

Sous le titre viennent dans l'ordre :

- le(s) auteur(s) (nom et initiales des prénoms) ;
- nom et adresse du laboratoire ou de l'institut.

Garder 5 lignes en blanc afin de pouvoir y insérer la date de réception.

2) Résumé en interligne simple.

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

3) Article en interligne 1 1/2.

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

4) Références.

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

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

5) Traduction du résumé en néerlandais et en anglais.

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

REMARQUES

- Chaque auteur reçoit gratuitement 25 exemplaires de son article.

Il peut, sur demande, en recevoir plus au prix coûtant, à condition d'en préciser le nombre à la remise du manuscrit.

- Le nombre de photos (uniquement en noir et blanc) est limité à 4 par article : les photos supplémentaires sont à charge de l'auteur.
- Le nombre total de pages devrait être de préférence un multiple de 4.
- Les textes non conformes aux directives ci-dessus sont retournés aux auteurs pour une nouvelle mise en page, ce qui allonge forcément le délai de parution.
- Les auteurs sont priés de vérifier si les citations ou les reproductions figurant dans leur texte, répondent aux conventions internationales en matière de droits d'auteur.

Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming.

RICHTLIJNEN VOOR AUTEURS

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

DE GETYPTE TEKST

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

- De tekst zwart op wit typen en zwarte inkt gebruiken voor handgeschreven formules en tekeningen ;
- Tekeningen op ware grootte in de tekst op de juiste plaats met witte lijm kleven (geen kleefband) ;
- Het origineel exemplaar indienen, geen doorslag of fotokopie.

PRESENTATIE

- Uitsluitend wit papier gebruiken van DIN A4 formaat ;
- Tekst, tekeningen en figuren binnen een kader van 160 x 240 mm in het midden van het blad houden ;
- Enkel op een zijde typen ;
- De tekst met anderhalve tussenregels, de abstracts met enkelen tussenregels typen ;
- Ruimte voorzien in de tekst voor het eventueel inlassen van foto's ;
- De foto's afzonderlijk bezorgen met melding op de keerzijde van naam van de auteur, titel van de publikatie, nummer van de figuur, melding van boven- en onderzijde (niet op de voorziene plaats kleven) ;
Het drukwerk gebeurt enkel in zwart wit. Gelieve dus geen kleurenfoto's, -tekeningen of -grafieken voor te leggen.
- Zorgen dat - de bijschriften van figuren en tabellen zo duidelijk zijn dat zij kunnen begrepen worden zonder het artikel te lezen. Nochtans moet in de tekst de referentie naar deze figuren en tabellen terug te vinden zijn ;
 - meldingen op foto's, tabellen, figuren en grafieken groot genoeg zijn om leesbaar te blijven na reductie met 20 % maar steeds binnen de kader 160 x 240 mm blijven ;
 - de wiskundige formules op afzonderlijke lijnen voorkomen en genummerd zijn ;
 - de in de tekst voorkomende breuken met een schuine deelstreep geschreven worden ;

- Zorgen dat de bladzijden op de keerzijde met potlood genummerd worden.

INDELING

1) TITEL (in hoofdletters).

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

Onder de titel, komen achtereenvolgens :

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

2) Samenvatting met enkele tussenregels getypt.

Rekening houden dat deze samenvatting afzonderlijk in abstracts tijdschriften kan verschijnen. Ze moet een korte beschrijving van de inhoud van het artikel en de uitslagen of de conclusies weergeven (max. 10 lijnen).

3) Artikel met anderhalve tussenregels getypt.

Het artikel wordt ingedeeld in paragrafen genummerd met arabische cijfers.

4) Referenties.

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

Vermelding van de titel van het artikel enkel indien noodwendig voor identifikatie.

5) Vertalingen van de samenvatting in Frans en Engels.

De vertalingen van de samenvatting komen na de tekst van het artikel en worden op een afzonderlijk blad met enkele tussenregels getypt. De samenvatting in de taal van de publikatie (die op het eerste blad voorkomt) wordt niet hernomen. Vertalingen van de samenvatting kunnen op uitdrukkelijk verzoek van de auteur, door de redactie gedaan worden.

OPMERKINGEN

- Elke auteur ontvangt gratis 25 uittreksels van zijn artikel.

Een hogere oplage is verkrijgbaar aan uitgifteprijs mits voorafgaande melding van het gewenst aantal bij binneleveren van het manuscript.

- Het aantal foto's (enkel zwart wit) is beperkt tot 4 per artikel.

Bijkomende foto's vallen finantiëel ten laste van de auteur.

- Het totaal aantal bladzijden zal bij voorkeur een veelvoud van 4 zijn.

- De teksten die aan de hoger gegeven richtlijnen niet voldoen, worden naar de auteurs teruggezonden voor een nieuwe opstelling, hetgeen uiteraard de publikatie termijn verlengt.

- De auteurs worden verzocht zelf na te gaan of de citaten en de reproducties die in hun tekst voorkomen, voldoen aan de international overeenkomsten inzake auteursrechten.

Annales de l'Association Belge de Radioprotection

Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming

INSTRUCTIONS TO AUTHORS

Authors of contributions or communications which have been accepted for publication are invited to read following instructions.

PRINTING

The submitted text being reproduced as it is (after reduction to 8/10) it is necessary in order to obtain a clear readable text to comply with following instructions.

- Type black on white paper and use black ink for handwritten mathematical notations and drawings ;
- Fix the figures which appear in the text with white paper glue (no adhesive tape) ;
- Submit the original (not a carbon copy nor a photocopy).

PRESENTATION

- Use exclusively white DIN A4 paper ;
- Keep the text, drawings and figures in a frame of 160 x 240 mm ;
- Type on one side only ;
- Type the article with 1 1/2 spacing and the abstract with single spacing ;
- Provide the photographs with mention on the reverse of name of the author, title of the article, number, indication of up and down (do not fix them in the provided space) ;
- Since the printing is only black and white, please do not submit photographs, drawings or figures in colors ;
- Be careful that - captions under figures, photographs, tables and graphs are understandable without reference to the text although their references should be found in the text ;
 - size of lettering is such that letters and symbols remain legible after reduction to 8/10 ;
 - mathematical notations appear on separate lines and are numbered ;
 - fractions are typed with oblique fraction bar ;
- Number the pages with a pencil on reverse.

SUBDIVISIONS

- 1) TITLE (in caps) should contain some keywords for later bibliographical research.

Under the title, following this order :

- the author(s), surname and initials ;
- the name and address of laboratory or institution.

- 2) Abstract (single space).

Begin the abstract 5 lines below the last by-line to allow for the date of receipt to be added.

The isolated abstract may be separately published in an Abstract Journal. It should contain a brief description of the content of the article, the final results or the conclusion (max. 10 lines).

- 3) Article (1 1/2 space).

The article is divided in paragraphs numbered with Arabic numerals.

- 4) References.

The reference list should be compiled in the following manner :

author(s), name of Journal, volume, number or reference of document, (year of publication), page number. If there are excerpts from books, these are mentioned with title, author, year and editor. Title of the article is only mentioned when necessary for identification.

- 5) Abstracts in French and Dutch.

The translations of the abstract appear after the text of the article and are typed on a separate sheet with single space. The abstract in the language of the publication (which appears on first page) is not reproduced there. Translations of the abstracts can be done by the editors on special request of the author.

REMARKS

- Twenty five reprints are provided free of charge to each author. Additional reprints can be obtained at reasonable cost if ordered when the proof is submitted.
- Photographs (black and white) are limited to 4 per article. Cost for supplementary photographs are charged to the author.
- Total number of pages should preferentially be a multiple of 4.
- The authors will verify if citations and reproductions appearing in their text comply with international copyright conventions.

ASSOCIATION BELGE DE RADIOPROTECTION

BELGISCHE VERENIGING VOOR STRALINGSBESCHERMING

LISTE DES MEMBRES - LEDENLIJST

1 9 8 8

ABSIL.P	Semihoc Av. Jouret 12 B-7800 ATH	Dr
ALDERHOUT.J	Wageningen,NL Luxemburglaan 5 B-2440 GEEL	Chim
ANDRE.B	GECHEM Av.de Broqueville 12 B-1150 BRUXELLES	Chim
APERS.D	UCL Naamsesteenweg 507 B-3030 HEVERLEE	Chim
BAEKELANDT.L	MSP Condédreef 1 B-8500 KORTRIJK	Phys
BAEYENS.L	Verenigde Industrieen Nieuwewandeling 83 B-9000 GENT	Dr
BAILLOT.P	ULg Rue Lavaniste 176 B-4410 HERSTAL	
BALLE-HELAERS.E	Rue A.Renard 55 B-1060 BRUXELLES	Dr
BALLIAUW.A	Ass.Vinçotte Patrijzenlaan 15 B-1510 BUIZINGEN	Ir
BARBE.M	Bisschoppenhoflaan 284,bus 8 B-2100 DEURNE	Dr
BARE.H	Sorbenlaan 57 B-2610 WILRIJK	Dr
BAUDELET.C	Ass.Vinçotte Rue d'Acoz 97 B-6071 CHATELET	Ir
BAUGNET.J.M	CEN/SCK Europawijk 5 B-2440 GEEL	Ir
BEUMIER.A	UCL PI E.Keym 43,Bte 17 B-1170 BRUXELLES	Math
BODART.F	UCL Rue Deprez 5 B-5004 BOUGE	Math
BOLLEN.R	Agfa-Gevaert Septestraat 27 B-2510 MORTSEL	Dr
BONNET.M.P	Nucleobel Boulevard Lambermont 418 B-1030 BRUXELLES	Ir
BOSSUT.M	Engelselaan 6 B-1990 HOEILAART	Dr
BORTELS.G	CBNM CBNM,steenweg naar Retie B-2440 GEEL	
BOUCKAERT.G	Bareellaan 25 B-2080 KAPELLEN	Dr
BOUDENGEN.B	RUG Keusekouter 57 B-9810 DRONGEN	Chim
BOUILLON.G	MSP Rue Albert 1er, 30R B-7250 FRAMERIES	Ing
BOULENGER.R.R.R	Rue de Bossière 5 B-5830 MAZY	Phys

BOURDA.Z	RUG Gordunakaai 18 B-9000 GENT	Dr
BOURGOIGNIE.R	RUG Ed de Cuyperstraat 1 B-8400 OOSTENDE	Dr.Sc
BROUWERS.J.F	Rue Hanson 17 B-4050 ESNEUX	Dr
BRUYNS.A	Hôpital St Gilles Av. du Parc 39 B-1060 BRUXELLES	Dr
CANTILLON.G.E	Bd. Brand Whitlock 142 B-1200 BRUXELLES	Pharm
CARLIER.P	SME MSR-IGD MSR Drève de Nivelles 61 B-1150 BRUXELLES	Dr
CAROYER.J.M	Fonds Mal Prof Rue Odon Warlant 144 B-1090 BRUXELLES	Dr
CAUSSIN.J	UCL Rue Vanden Bossche 27 B-1140 BRUXELLES	Ing
CENTNER.B	Tractebel Rue de la Faucille 76 B-1970 WEZEMBEEK-OPPEM	Ir
CHAVEE.B	Kraeyelevelaan 32 B-2860 BORNEM	Dr
COLARD.J	CEN/SCK Strasbourglaan 12 B-2400 MOL	Phys
COMPTDAER.Y	Westinghouse.Nucl.Int. Lange Violettestraat 112 B-9000 GENT	Ir
CONSTANT.R	IRE Av. du Nord de Gilly 220 B-6220 FLEURUS	Dr.Sc
COOMANS.J	Controlatom Jos Ratinckxstraat 5, bus 2 B-2600 BERCHEM	
COOSEMANS.R	UM Av. Z. Gramme 1 B-1810 WEMMEL	Dr
CORDIER.J.M	6e Avenue 76 B-6001 MARCINELLE	Dr
CORNELIS.G	K Leopold II laan 72 B-9000 GENT	Dr
COTTENS.J	MSP Lindetuin 58 B-8798 ST-ELOOIS-VIJVE	Dr.Sc
CULOT.J.P	CoRaPro Rijtenhof 17 B-2400 MOL	Dr.Sc
CUVELIER	ACEC ACEC Division nucléaire B-6000 CHARLEROI	
CZERWIEC.W	EBES Wilgengarde 8 B-1720 GROOT-BIJGAARDEN	Ir
CZERWIEC-POTE.J	IHR Wilgengarde 8 B-1720 GROOT-BIJGAARDEN	Ir
DANCOT.H	Rue Meyerbeer 24 B-1180 BRUXELLES	Dr

DEAN.A	Philips-MBLE Philips,rue des Deux Gares 80 B-1070 BRUXELLES	
DEBACKER.J	RUG Coupure 267 B-9000 GENT	Dr
DEBACKER M.	Tervuursestraat 99 bus 25 B-3000 LEUVEN	Chim
DEBAUCHE.A	IRE Rue Saint-Lambert 17A B-5880 TOURINNES-ST-LAMB	Ir
DE BROUWER.Ch	SPMT-Namur Rue Chat des Balances 70/31 B-5000 NAMUR	Dr
DEBRY.A	MDN Waalsebaan 57 B-1980 TERVUREN	Dr
DECKERS.C	St.Jansbergsteenweg 303 B-3030 HEVERLEE	Dr
DECLERCQ-VERSELE.H	MSP Bloemhof 68 B-1630 LINKEBEEK	Chim
DECLERK.A	KUL Sneppedreef 12 B-8200 BRUGGE	Dr
DECORT.M	Controlatom Schoenstraat 31 B-2200 BORGERHOUT	Ir
DEFAYS.F	Rue de Lustin 1b B-5330 ASSESSE	Dr
DEJONGHE.C	Santé & Travail Rue des Croix de Feu 1/29 B-7100 LA LOUVIERE	Dr
DEJONGHE.P	CEN/SCK Boeretang 262 B-2400 MOL	Agr
DELABARRE.P	Shell De Bethunelaan 20 B-9852 DEINZE	Dr
DELCASSO	Centr.Nucl. Tihange Rue de l'Industrie 1 B-5201 TIHANGE	Ir
DELHOVE.J	Controlatom Bd. Général Jacques 198 B-1050 BRUXELLES	Ir
DEL RUE.R	Belgonucléaire BN Rue du Champ de Mars 25 B-1050 BRUXELLES	Ir
DELWAIDE.P	ULg Rue des Bonnes Villes 1 B-4000 LIEGE	Dr
DEMUYNCK.G	Raamstraat 1 B-8000 BRUGGE	Dr
DEMUYNCK.H	RUG Lakenmeerstraat 46 B-9730 NAZARETH	Ing
DENAYER.F	Jachtlaan 37 B-1040 BRUSSEL	Dr
DENEFF.J	MSP Kalkestraat 116 B-9360 BUGGENHOUT	Dr.Sc
DEPLAEN.P	Rue Elie Bero 11 B-5980 GREZ DOICEAU	Dr

DEROO.M	Herendreef 26 B-3030 HEVERLEE	Dr
DESAEDELEER.G	Westinghouse.Nucl.Int. Rue du Champion 21 B-1070 BRUXELLES	Dr.Sc
DESCHRIJVER.A	RUG Casselrijlaan 2 B-9800 DEURNE	Dr
DESLOOVERE.J	Kerncentr.Doel W. Van Laarstraat 27 B-2600 BERCHEM	Dr
deTHIBAULTdeBOESINGHE.L	RUG St. Martensstraat 10 B-9000 GENT	Dr
DETILLEUX.E	ONDRAF/NIRAS Straatsburglaan 32 B-2400 MOL	Dr.Sc
DETROUX.L	UCL Langeveld 101 B-1180 BRUXELLES	Dr
DETROYER.A	Union.Minière U.M. Avenue Louise 54 B-1050 BRUXELLES	Dr.Sc
DEVEIRMAN.M	APRIM Solvynstraat 48 B-2000 ANTWERPEN	Dr
DEVLESAVER.C	Rue de Turenne 44 B-6000 CHARLEROI	Dr
DEWEZ.D	ULg Rue du Repos 77 B-1180 BRUXELLES	Ir
DEWILDE.P	Intermédicale Le Corbusierlaan 1 B-2050 ANTWERPEN	Dr
DISCRY.J.P	Cockerill-Sambre Rue Charles Magnette 10c,Bte 031 B-4000 LIEGE	Dr
DOPCHIE.H	Ass.Vinçotte Ass.Vinçotte Av.du Roi 157 B-1060 BRUXELLES	Ir
DOR.L	Route de Philippeville 11 B-6270 LOVERVAL	Dr
DOUMONT.P	Centr.Nucl. Tihange Les Golettes 104 B-5201 TIHANGE	Ir
DOUWEN.M	Metallurgie.Hoboken Sint Theresiastraat 72 B-2400 MOL	Ir
DOZINEL.P	Electronucléaire Rue de la Pépinière 41 B-1000 BRUXELLES	Ir
DRESSE.H	Intercom Warandeberg 41 B-1970 WEZEMBEEK-OPPEM	Ir
DREZE.P	CAMIRA Rue J. Delhaye 11 B-5001 BELGRADE	Chim
DRYMAEL.H	Ass.Vinçotte Rue du Repos 11 B-1180 BRUXELLES	Ir
DUFOUR.J.M	Rue de la Venne 5 B-6800 BERTRIX	Chim
DULCINO.J	CEN/SCK Beemdestraat 4 B-2300 TURNHOUT	Chim

DUSONG.M	Tractebel Roeselarestraat 4 B-9562 ST.ANTELINKS	Ir
EGGERMONT.G	IRTE Rid.Soenenspark 33 B-9820 ST.DENIJS-WESTREM	Dr.Sc
ENGLEBERT.B	Centr.Nucl. Tihange Rue de Leumont 31 B-5240 WANZE	Ir
FAES.M	Fazantendreef 13 B-2850 KEERBERGEN	Dr
FEREMANS.W	ULB Av.Château de Walzin 9, Bte 1 B-1180 BRUXELLES	Dr
FIEUW.G	CEN/SCK Boeretang 233 B-2400 MOL	Ir
FILOT.C	SMIDEB Rue de l'Yser 42 B-4840 WELKENRAEDT	Dr
FOSSOULE	Belgonucleaire Av. d'Huart 221 B-1991 KRAAINEM	Ir
FRANCHOIS.H	Kerncentr. Doel Dennenlaan 48 B-2758 HAASDONK	Ir
FRANCIS.C	SMIDEB Solwaster 45 B-4882 JALHAY	Dr
FUGER.J.M	ULg Chim Anal.Radio B6.ULg B-4000 SART-TILMAN LIEGE	Dr.Sc
GARSOU.J	ULg Rue Ed. Jacquemotte 53 B-4500 JUPILLE/MEUSE	Dr.Sc
GEBRUERS.B	IDEWE Alfons Dewitstraat 69 B-3079 MEERBEEK	Ing
GENET.P	Av. Vénus 14 B-1410 WATERLOO	Dr
GEVA.G	CPAS-Charleroi Av. des Eglantines 19 B-6110 MONTIGNY-LE-TILLEUL	Dr
GILLARD.J	MSP Av. du Feuillage 7 B-1180 BRUXELLES	Chim
GIOT.J.L	SEMILUX Rue de Focagne 8 B-5450 HOTTON	Dr
GODECHAL.D	Controlatom Rue de Crenwick 56 B-4250 GEER	Ing
GODFROI.E.E	Rue de l'Europe 12 B-4100 SERAING	Dr
GOENS.J	CEN/SCK Av. des Petits Bois 16 B-1640 RHODE-ST-GENESE	Ir
GOOSSENS.H	FBFC Leopoldlaan 16 B-2400 MOL	Ir
GOUTIER.R	ULg Lab.Biochim-Radiobiol.-ULg B-4000 SART-TILMAN LIE	Dr
GOUVERNEUR.J.C	IMETRA-Charleroi Rue des Noisetiers 3 B-6290 NALINNES	Dr

GOVAERTS.P	CEN/SCK Stijn Streuvelsstraat 26 B-2150 MALLE	Ir
GREER.J.L	Tractebel Rue des Viaducs 101 B-7450 NIMY	
GUEBEN.M	Centr.Nucl.Tihange Av. de l'Europe 2 B-5200 HUY	Ir
GUILLAUME.J	ULg Rue de la Vieille Tour 2 B-4030 LIEGE	
HAGELEN.J	Beringstraat 81, bus 4 B-2980 BOORTMEERBEEK	Ing
HALLOT.R	Santé & Travail Av. H. Jaspas 128 B-1060 BRUXELLES	Dr
HAUSTERMANS.R	APRIM Paviljoendreef 37 B-2232 SCHILDE	Dr
HAVARD.P	Centr.Nucl.Tihange Rue de l'Industrie 1 B-5201 TIHANGE	Ir
HAVAUX.A	Controlatom Av. des Avocettes 15 B-1420 BRAINE-L'ALLEUD	Ir
HELGESON.G.L	Helgeson Scientific Serv 5587 Sunol Blvd USA-PLEASANTON, Cal.94566	Ir
HENKINBRANT.J.M	SMIDEB Rue Tribomont 18 B-4852 VERVIERS	Dr
HENRIST.M	ULg Rue Prof. Mahaim 3 B-4200 OUGREE	Dr.Sc
HENRY.F	Av. Père Damien 88 B-1150 BRUXELLES	Dr
HENRY.J	ULB Av. Defré 267 B-1180 BRUXELLES	Dr
HERBILLON.G	MET Chemin de Clairefontaine 93 B-6700 ARLON	Ir
HERMANS.J	St.Jan-Brugge Malehoeklaan 136 B-8310 BRUGGE	Ing
HERTSENS.P	SMI MSR-IGD MSR W. Geetsstraat 51 B-2800 MECHELEN	Dr
HEUSE.A	ULB Rue Ten Bosch 85, Bte 78 B-1050 BRUXELLES	Dr
HIEMELEERS.J	Metallurgie-Hoboken Leemanslaan 35 B-2430 OLEN	Chim
HOLMSTOCK.L	CEN/SCK Vredelaan 6 B-2400 MOL	Dr
HOLVOET.A	Groeningebaun 44 B-8500 KORTRIJK	Dr
HUBERT.E.H	UEEB Drève de Soetkin 58A B-1070 BRUXELLES	Ir
HUBLET.P	MET Rue Kindermans 14 B-1050 BRUXELLES	Dr

HUYSKENS.C	T.H.Eindhoven Stralingsbesch.Dienst,Pb513 NL-5600 EINDHOVEN	Ir
JACOBS.R	RUG Grotenbroek 40 B-9745 GAVERE	Dr.Sc
JACQUEMIN.R	IRE Av. de la Pairelle 39 B-6269 AISEAU-PRESLES	Ing
JACQUERYE.R	UCL Venelle des Mérisiers 22 B-1301 BIERGES	Dr.Sc
JACQUES.P	IDEWE Wetstraat 103 B-1040 BRUSSEL	Dr
JANSSENS.A	RUG 8 rue du Ruisseau L-7592 BERINGEN-MERSCH	Dr.Sc
JOLIVET.A	CEE 230 Rue de la Mairie F-50380 SAINT PAIR/MER	Dr
JONCKHEER.M	VUB A.Z. VUB- Laarbeeklaan 101 B-1090 BRUSSEL	Dr
JOSKI.E.L	Stad Gent Gezondheidsdienst-Baudelohof B-9000 GENT	Dr
KETS.E	MDN Schoonaerde 108 B-3295 DIEST-SCHAFFEN	Dr
KEYEUX.A	UCL Rue Jules Larivière 127 B-5218 LANDENNE/MEUSE	Dr
KIRCHMANN.R	CEN/SCK Rue Cardinal Cardijn 5 B-4480 OUPEYE	Agr
KOCH.G	CEN/SCK Rue du Tige 64D B-4154 SCRY-TINLOT	Chim
LADRIELLE.T	Controlatom Av. Charles de Lorraine 20 B-1420 BRAINE-L'ALLEUD	Dr.Sc
LAFONTAINE.A	MSP Bd Brand Whitlock 95 B-1040 BRUXELLES	Dr
LAFONTAINE.I	Transnubel Chemin du Tilleul 17 B-1328 OHAIN	Chim
LAFONTAINE.M	Hôpital St.Pierre Av. de la Cloisière 56 B-1410 WATERLOO	Dr
LAMBOTTE.J.M	MSP Tienne du Try 13 B-1300 WAVRE	Ing
LANDGRAF.A	GMBT Rue Armand Borif 6 B-4342 HOGNOUL	Dr
LARDINOIS.A	CPAS-Bruxelles Av. des Glycines 10 B-1030 BRUXELLES	Dr
LECOMTE.P	ULB Bloemendal 7 B-1650 BEERSEL	Dr
LEJEUNE.P	MSP Av. Commandant Lothaire 50 B-1040 BRUXELLES	Dr
LEJEUNE.S	ULB Av. Provinciale 7 B-1341 CEROUX-MOUSTY	Ir

LEMAIRE.M	Rue Colson 31 B-4431 LONCIN	Dr
LEONARD.R	Santé & Travail Lammekenslaan 14 B-8300 KNOCKE-HEIST	Dr
LEPOUTRE.M	Bisschoppenhoflei 2 B-2130 BRASSCHAAT	Dr
LEROY.R	CEN/SCK Domaine du Bois du Roi 7 B-7141 EPINOIS	
LESCOT.J.P	SABENA Service Méd-Aérodrome National B-1930 ZAVENTEM	Dr
LINCHET.G	Av. Napoléon 3 B-1420 BRAINE-L'ALLEUD	Dr
LION.G	Av. des Chataigniers 10 B-1150 BRUXELLES	Dr
LIPPENS.V	Kerncentr.Doel R. Orientstraat 2 B-2730 ZWIJNDRECHT.	Ing
LORIDAN.W	Forum.Nucléaire Place du Champ de Mars 5, Bte 9 B-1050 BRUXELLES	Ing.Com.
LUJA.M	H. Consciencelaan 3 B-8401 BREDENE	Dr
LUYKX.F	CEE C.E.E. Blg. Jean Monnet. Kirschberg L- LUXEMBOURG	Ir
LUYTENS.J	Tramstraat 30 B-2431 OEVEL	Dr
MAES.D	MDN Av. des Pinsons 6 B-1420 BRAINE-L'ALLEUD	Ir
MAES.G	CEN/SCK Collegestraat 60 B-2300 TURNHOUT	Dr
MAESEN.L	Centr.Nucl. Tihange Centrale Nucléaire de Tihange B-5201 TIHANGE	Ir
MAISIN.H	UCL Rue de Grez B-5989 BOSSUT-GOTTECHAIN	Dr
MAISIN.J	CEN/SCK Radiobiologie CEN/SCK B-2400 MOL	Dr
MALENGREAUX.J	UNERG Rue au Long Pré 17 B-4920 EMBOURG	Ir
MAMBOUR.C	Controlatom Rue Sainte-Anne 34 B-6238 LUTTRE	Ing
MANCHE.P	Technitest Technitest,Brusselsesteenweg 70 B-1800 VILVOORDE	Ir
MARCHAL.A	Centr.Nucl.Tihange Rue de l'Industrie 1 B-5201 TIHANGE	Ir
MARTENS.G	CPAS-Bruxelles Rue Duysburg 29 B-1090 BRUXELLES	Dr
MASSCHELEIN.W	CIBE Av. des Tourterelles 32 B-1150 BRUXELLES	Dr.Sc

MEERT.D	Canberra-Positronika Aalstersesteenweg 99 B-9400 NINOVE	Ing
MEERT.L	KUL Verbindingslaan 86, bus 52 B-3030 LEUVEN	Ing
MERCHIE.G	ULg Av. A. Mahiels 7/051 B-4020 LIEGE	Dr
MERGAN.Y	Av. Beau Séjour 62 B-1180 BRUXELLES	Dr
MICHA.E	Ferblatil Av. des Tilleuls 44 B-4000 LIEGE	
MICHAUX.J	Chaussée de Châtelet 59, bte 2 B-6060 GILLY	Dr
MINET.P	Rue Louvetain 22 B-4040 TILFF	Dr
MINON.J.P	Ass. Vincotte Av. des Combattants 7 B-1410 WATERLOO	Ir
MOERMAN.J	RUG Holeinde B-9288 KALKEN	Dr
MOLITOR.F	MET Rue Paquay 14 B-4950 BEAUFAYS	Ir
MONARD.E	MSP Kastanjelaan 3 B-3030 HEVERLEE	Ir
MOTTE.F	CEN/SCK Boeretang 284 B-2400 MOL	Ir
MOUREAU.J.C	MSP Rue de Crayer 7 B-1050 BRUXELLES	Ir
NORDVIK.N	SNCB Av. de Tervueren 116 B-1040 BRUXELLES	Dr
NUYTS.R	MET A. Drouartlaan 32 B-1160 BRUSSEL	Ir
OSIPENCO.A	Belgoprocess Boeretang 263 B-2400 MOL	Ir
PAHAUT.J	Clinique St.Joseph Route de Hesbaye 75 B-4000 LIEGE	Dr
PEELMAN.J	Kleine Reinaertdreef 18 B-9831 St MARTENS-LATEM	Dr
PENELLE.G	CoRaPro Kievitstraat 150 B-2400 MOL	Ir
PEPERSACK.J.P	SABCA Av. de la Floride 100 B-1180 BRUXELLES	Dr
PIRET.P	ULg Av. Clemodeau 195C B-4155 VILLERS-LE-TEMPLE	Ir
PIRON.A	Bordet Av. des Ménéstrels 100 B- 1080 BRUXELLES	Phys
POELAERT.M	UCL Chemin des Collets 80 B-5150 WEPION	Phys

POFFYN.A	RUG Wielewaalstraat 18 B-9229 MERELBEKE	Dr.Sc
POLAK.A	Landré-Intechmij Zandstraat 34 B-3560 BERINGEN	Ing
POMA.K	Kerkelei 40 B-2610 WILRIJK	Chim
POTEMANS.M	UEEB Dijlestraat 35 B-2850 KEERBERGEN	Ir
QUAEGHEBEUR.L	Dr Vande Perrelei 37 B-2200 BORGERHOUT	Dr
QUOIDBACH.A	Tractebel Rue de la Science 31 B-1040 BRUXELLES	Ir
RECHT.P	Av. Winston Churchill 163,Bte 23 B-1180 BRUXELLES	Dr
REGIBEAU.A	UCL Rue de l'Ornoy 22 B-5870 MONT-St-GUIBERT	
ROGGEN.G	ULB Av. Jupiter 87 B-1190 BRUXELLES	Dr
ROMBOUTS.J	KUL E. Kufferathlaan 47 B-1020 BRUSSEL	Dr
ROOSEMONT.G	MSP Coosemansstraat 99/6 B-3200 LEUVEN	Chim
ROOSEN.J	ULg Rue de Soie 107/001 B-4000 LIEGE	Tech.
RUBENS.J	St.Vincentiuskliniek Van Schoonbekestraat 66 B-2018 ANTWERPEN	Dr
SABLON.H	Kerncentr. Doel Kastanjelaan 3 B-2790 KIELDRECHT	Ir
SAMAIN.J.P	MSP Rue des Masnuy 77 B-7430 JURBISE	Ir
SCHONKEN.P	KUL Halewijnlaan 12 B-3060 BERTEM	Chim
SCHOULEUR.L	Philips-MBLE MBLE-Rue des Deux Gares 80 B-1070 BRUXELLES	Dr
SEGAERT.O	RUG Ledeganckstraat 35 B-9000 GENT	Dr.Sc
SELLESLAGH.E	Kerncentr. Doel Dennenlaan 42 B-2758 HAASDONK	Ir
SEVRIN.F	Hôpital.Jolimont Pl. de la Résistance 1 B-6588 GRAND-RENG	Dr
SMONS.A	ULg Parc du Bay Bonnet 5/31 B-4620 FLERON	Chim
SMONS-MAUGUIS.M.L	ULg Parc du Bay Bonnet 5/31 B-4620 FLERON	
SPORCQ.A	RTB RTB, Bd. A. Reyers 52 B-1040 BRUXELLES	Dr

STALLAERT.P	MET Molenstraat 38 B-9360 BUGGENHOUT	Ir
STEEN.D	Bellestraat 13 B-8961 HEUVELLAND	Dr
STIEVENART-GODEAU.C	Av. A. Huysmans 206, bte 10 B-1050 BRUXELLES	Dr.Sc
STORMS.H	Glabbeekstraat 5 B-3450 GEETBETS	Dr
SWYSEN.H	SMIB Bd A. Reyers 148 B-1040 BRUXELLES	Dr
TASNIER.A	N.V. UNION Miksebaan 81 B-2130 BRASSCHAAT	Dr
THIELEMANS.Chr	CMBT Clos Sainte-Anne 16 B-1320 GENVAL	Dr
THIELENS.G	RUG Willem Tellstraat 19 B-9000 GENT	Dr.Sc
THIERENS.H	RUG Populierenstraat 8 B-9190 SINAAI	Dr.Sc
THYSSENS.L	Veiligheidskontrole Maarschalk Gerardstraat 27 B-2000 ANTWERPEN	Ir
TONDEUR.F	ISIB Steenweg op Rosières 124 B-1900 OVERIJSE	Dr.Sc.
TOUSSAINT.J	Berkenlaan 7B B-2610 WILRIJK	Dr
UYTTENHOVE.J	RUG Soenenspark 32 B-9820 GENT	Dr.Sc
VANCAUWENBERGHE.J.P	Ass. Vinçotte Chemin du Grand Bois 20 B-1328 OHAIN	Ir
VANCRAENENBROECK.W	AWW Varenstraat 18 B-2560 RUMST	Dr.Sc
VANDAM.J	AZ St.Rafael Radiotherapie B, St.Rafael B-3000 LEUVEN	Dr
VAN DEN DAMME.R	Intercom-Tractebel Place du Trône 1 B-1000 BRUXELLES	Ir
VANDENEDEE.R	APRIM Hiedestraat 8 B-2710 HOBOKEN	Dr
VANDERBECKEN.F	SME MSR-IGD MSR Av. Winston Churchill 195 B-1180 BRUXELLES	Dr
VANDENWINKEL.P	VUB Fonteinbos 2B B-9440 EREMBODEGEM	Dr.Sc
VANDERSTRICHT.E	C.E.E. C.E.E, Bldg J.Monnet.Kirschberg L- LUXEMBOURG	Dr.Sc
VANGRIEKEN.R	U.I.A. Dept.Scheikunde Universiteitsplein 1 B-2610 WILRIJK	Chim
VANHOECK.G	Rue du Seigneur 25 B-1410 WATERLOO	Ing

VANLABEKE.O	IHR Huismanstraat 21 B- 1550 VOLLEZELE	Chim
VANMALDER.M	Controlatom Brusselsesteenweg 346 B- 1881 BRUSSEGEM	
VANMEIRHAEGHE.A	RUG Hogeheerweg 30 B-9820 ST.DENIJS-WESTREM	Dr
VANMIEGHEM.E	SCK Keizershoevestraat 34 B-2610 WILRIJK	Dr
VANOUYTSEL.J	Metallurgie Hoboken Lichtaartsesteenweg 193 B-2410 HERENTALS	Chim
VANROMPAY.A	EBES Laagland 18 B-2790 KIELDRECHT	Ing
VANVOSEL.A	MET Brusselstraat 337, bus 2 B-1720 GROOT-BIJGAARDEN	Dr
VEREYCKEN.I	Janssen-Pharmaceutica Bloemenlei 60 B-2510 MORTSEL	Dr
VERMEIREN.R	SABENA St. Lenaartsesteenweg 39 B-2310 RIJKEVORSEL	Dr
VIJFEYCKEN.J	Chaussée de Boitsfort 122 B-1170 BRUXELLES	Dr
WALTHERY.R	U.Z.-LEUVEN Generaal de Krahestraat 92 B-3970 LEOPOLDSBURG	Ing
WAMBERSIE.A	UCL Rue A. Matton 30 B-1302 DION-VALMONT	Dr
WESPES.J.P	Tractebel Allée de la Fragne 6 B-1400 NIVELLES	Ir
WILLE.C	Mediprax H. Hartlaan 19 B-8400 OOSTENDE	Dr
WILLEMS.K	MET Baasrodestraat 188 B-9350 DENDERMONDE	Ir
WILLIOT.Chr	Min.Commun.-Française Rue des Renoncules 19 B-1170 BRUXELLES	Dr
WINANT.M	Fabricom Rue Grande 117 B-7170 BOIS-D'HAINÉ	
WOICHE.Chr	Hôpital Erasme Boesmolenstraat 16 B-1540 HERNE	Ir
WULLAERT.L	St.Jan Brugge Duivenplein 6 B-8000 BRUGGE	Ing