

**Annalen
van
de Belgische Vereniging
voor
Stralingsbescherming**

VOL. 10, n° 3

1985

Driemaandelijkse
periodiek

Periodique
trimestriel

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

Hoofdredacteur

Dr M.H. FAES
Fazantendreef, 13
2850 Keerbergen

Rédacteur en chef

Redactiesecretariaat

Mme Cl. STIEVENART

Secrétaire de rédaction

14, rue Juliette Wytmanstraat,
1050 Bruxelles - Brussel.

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

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

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.

- E. COTTENS :
Stralingsbeschermingsaspecten bij de goedkeuring van
types van rontgentoestellen voor medisch gebruik. 463 - 478
- E. DETILLEUX :
La gestion des déchets radioactifs en Belgique et
le rôle d'ONDRAF/NIRAS. 479 - 500
- H. THIERENS, A. POFFIJN, F. DE BISSCHOP, O. SEGAERT :
A comparison of the medium free-air chamber of the
standard dosimetry laboratory of the University of Gent
with the exposure standards of the National Institute of
Public Health and Environmental Hygiene in Bilthoven. 501 - 514

STRALINGSBESCHERMINGSASPEKTEN BIJ DE GOEDKEURING VAN TYPES VAN RONTGENTOE-
STELLEN VOOR MEDISCH GEBRUIK.

Cottens E.

Ministerie van Volksgezondheid en van het Gezin
Dienst voor Bescherming tegen Ioniserende Stralingen
Rijksadministratief Centrum, Vesaliusgebouw
B - 1010 Brussel

9 december 1983.

Samenvatting

Het algemeen reglement op de bescherming van de bevolking en van de werknemers tegen het gevaar van de ioniserende stralingen (koninklijk besluit van 28 februari 1963 en zijn latere wijzigingen) legt de verplichting op dat de toestellen bestemd voor medisch gebruik die radioactieve bronnen bevatten of ioniserende straling kunnen voortbrengen, van een type moeten zijn dat goedgekeurd is door de Minister van Volksgezondheid. Voor wat betreft de röntgentoestellen wordt een overzicht gegeven van de voornaamste technische specificaties die vanuit het oogpunt stralingsbescherming van patiënt en gebruiker vereist worden voor het verkrijgen van deze type goedkeuring. Deze specificaties zijn afgeleid van de normen van de Internationale Elektrotechnische Commissie (I.E.C.) die op hun beurt het resultaat zijn van de uitwerking van de aanbevelingen van de Internationale Commissie voor Stralingsbescherming (I.C.R.P.) op het vlak van de medische röntgentoestellen.

1. Inleiding

De aanwending van ioniserende straling voor medische doeleinden is, naast het algemene vergunningsstelsel met de daarbijhorende vereisten voor fysische en medische controle, dat van toepassing is op alle inrichtingen waar gevaren van ioniserende straling kunnen voorkomen, onderworpen aan een bijkomende reglementering specifiek voor de medische sektor (1). Deze bijkomende reglementering maakt het de overheid mogelijk een nauwgezet toezicht uit te oefenen op deze meestal kleinschalige inrichtingen, waar nochtans een reëel gevaar voor radioactieve besmetting en/of grote stralingsdosissen bestaat. Men beoogt hiermee zowel de bescherming van de werknemers als van de bevolking, in 't bijzonder deze van de patiënten die in deze inrichtingen een onderzoek of behandeling ondergaan.

Dit toezicht omvat de kwalifikaties van de gebruiker naargelang het beoogde activiteitsdomein (persoonsgebonden vergunning voor het gebruik tot medische doeleinden van radioactieve bronnen of toestellen die straling kunnen voortbrengen), de aard van de aangewende produkten (vergunning tot fabriceren en/of verhandeling van niet ingekapselde bronnen voor medisch gebruik) en de aard van de gebruikte toestellen die radioactieve bronnen bevatten of ioniserende straling kunnen voortbrengen (goedkeuringscertificaat voor elk type van toestel gebruikt voor diagnose of therapie). Het is in het kader van laatst vermelde reglementaire bepaling dat voor elk type van toestel een evaluatie moet gemaakt worden van de technische conceptie van het toestel vanuit het oogpunt van de stralingsbescherming van patiënt en het betrokken personeel.

Voor wat betreft de röntgentoestellen, waartoe we ons in dit artikel beperken, zijn er in de reglementering (1) reeds enkele algemene vereisten opgenomen waaraan deze toestellen moeten voldoen :

- het toestel is uitgerust met beschermingsmiddelen voor de onderzoeker tegen rechtstreekse en verstrooide straling ;
- de bundelafmetingen zijn beperkt tot het minimum nodig voor het onderzoek ;
- bij radioscopietoestellen moeten bron en beeldvormend oppervlak vast verbonden zijn en/of behoorlijk gealigneerd zijn ;
- bij radiografietoestellen moet de plaats van de bedienaar tijdens de opname beveiligd zijn en moeten er middelen zijn voor een nauwkeurige lokalisatie van de bundel ;
- tandradiografietoestellen moeten specifiek voor dit doel ontworpen zijn en beperkte bundelafmetingen hebben ;
- bij therapietoestellen moet de duur van de bestraling door een tijdschakelaar gecontroleerd worden en het bedieningsbord buiten de behandelingsruimte opgesteld zijn (uitgezonderd kontakttherapie).

Deze reglementaire bepalingen zijn echter te beperkt en te kwalitatief als basis voor een grondige evaluatie van röntgenapparatuur voor medisch gebruik. De nood aan bijzondere technische specificaties vanuit stralingsbeschermingsoogpunt heeft dan ook vanaf de jaren '60 geleid tot de ontwikkeling van normen voor röntgentoestellen zowel op nationaal als op internationaal vlak. In deze bijdrage wordt een overzicht gegeven van de voornaamste technische vereisten die door de Internationale Electrotechnische Commissie in zijn publikaties IEC 407 en 407A (2) werden vastgelegd.

2. Overzicht en evolutie van de normen voor röntgentoestellen voor medisch gebruik.

De I.C.R.P. (International Commission on Radiological Protection), gegroeid uit het radiologiemilieu, heeft steeds bijzondere aandacht besteed aan de stralingsbescherming in de medische sektor. De eerste I.C.R.P. aanbevelingen waren inderdaad volledig gebaseerd op de ervaring die was opgedaan bij de aanwending van straling voor medische doeleinden. Eén van de vier huidige komitees van deskundigen binnen de I.C.R.P. heeft nog steeds als uitsluitende opdracht aanbevelingen te formuleren op het vlak van de geneeskundige toepassingen van ioniserende straling. Dit comité 3 publiceerde volgende rapporten met basisvereisten betreffende toestellen en werkmethodes voor het gebruik van o.m. röntgentoestellen in de geneeskunde :

1960 publikatie 3 (3)

Protection against X-rays up to energies of 3 MeV and beta- and gamma-rays for sealed sources.

1970 publikatie 15 (4)

Protection against ionizing radiation from external sources.

publikatie 16 (5)

Protection of the patient in X-ray diagnosis

1982 publikatie 33 (6)

Protection against ionizing radiation from external sources used in medicine.

publikatie 34 (7)

Protection of the patient in diagnostic radiology.

De I.C.R.P. publikaties 33 en 34 zijn het resultaat van de aanpassing van de publikaties 15 en 16 aan de stralingsbeschermingsnormen van I.C.R.P. publikatie 26 (8).

De I.C.R.P. beperkt zich tot het formuleren van basisvereisten waarbij de verdere gedetailleerde technische uitwerking wordt overgelaten aan de nationale bevoegde instanties. Op Belgisch vlak leidde dit in 1969 tot een invoering door het Belgisch Instituut voor Normalisatie van een Belgische norm (9), NBN 400-4 : Röntgenstralen, medische röntgenbuizen en onderdelen. Bijzondere konstruktiekarakteristieken die de bescherming tegen röntgenstralen verzekeren. Deze werd tot op heden gebruikt als basis voor de goedkeuring van medische röntgentoestellen.

Gezien het internationaal karakter van de bedrijven die gespecialiseerde röntgentoestellen op de markt brengen was er nood aan éénvormige, algemeen aanvaarde, technische specificaties. De I.E.C. (International Electrotechnical Commission) is dan ook in dit domein actief geweest en publiceerde volgende normen :

1973 : norm 407 (2)

Radiation protection in medical X-ray equipment
10 kV to 400 kV.

1975 : norm 407A (2)

Equipment for dental radiology

In voorbereiding : norm 601

Safety of medical electrical equipment ; Diagnostic X-ray equipment : - General requirements for protection against ionizing radiation - Particular requirements for X-ray generators.

De normen 407 en 407A zijn in vrij goede overeenstemming met de Belgische norm NBN 400-4, maar zijn reeds beter uitgewerkt op het vlak van de tandradiografietoestellen.

De toenemende diversifikatie van röntgentoestellen die speciaal ontworpen zijn voor specifieke onderzoeken vereist een aangepaste diversifikatie van de normspecificaties. Een grondige herziening van de I.E.C.-normen is momenteel in voorbereiding en uit de voorbereidende documenten komt een verdoorgedreven differentiëring van de specificaties naar voor, naargelang het onderzoekstype waarvoor het toestel ontworpen werd. Tevens worden zoveel mogelijk kwalitatief gebleven specificaties gekwantificeerd o.m. door het aangeven van toleranties en worden testmethodes geformuleerd om de overeenstemming met de gevraagde specificaties éénduidig te kunnen nagaan.

3. I.E.C. normen 407 en 407A.

De technische specificaties van de I.E.C. norm kunnen naargelang het betreffende toestelonderdeel als volgt worden ingedeeld :

- de röntgenbuis en haar omhulsel, ook röntgengeheel genoemd ;
- de filtering van de bundel ;
- de begrenzing en lokalisatie van de nuttige bundel t.o.v. het beeldvormend oppervlak (diafragma) ;
- de afstand van de focus tot de patiënt of het beeldvormend oppervlak ;
- de bedienings- en werkingsvoorwaarden verbonden met de conceptie van de hoogspanningsgenerator en het bedieningsbord ;
- de afscherming, hetzij bij het bedieningsbord, hetzij bij de onderzoekstafel zelf.

3.1. Röntgengeheel

De röntgenbuis moet uitgerust zijn met een afschermend omhulsel. Dit omhulsel zorgt voor de primaire beperking van de nuttige bundel tot de maximaal benodigde afmetingen afhankelijk van de gebruiksdoeleinden van het toestel. Buiten de nuttige bundel zorgt het omhulsel voor een voldoende afscherming zodat de lekstralingsintensiteit van het röntgengeheel in alle richtingen kleiner blijft dan volgende limietwaarden (uitgedrukt in exposie of in luchtkerma) :

diagnosetoestellen : 100 mR in één uur (0,87 mGy in één uur) op 1 m afstand van de focus. (voor tandradiografietoestellen voorziet de ontwerp I.E.C. norm een reductie van deze limietwaarde).

therapietoestellen : max. spanning \leq 100 kV

100 mR/uur (0,87 mGy/uur) op 1 m afstand van de focus

max. spanning $>$ 100 kV

1000 mR/uur (8,7 mGy/uur) op 1 m afstand van de focus
en 30 R/uur (0,26 Gy/uur) op 5 cm afstand van het
omhulsel.

kontakt- en binnenholtetherapie (\leq 50 kV)

100 mR/uur (0,87 mGy/uur) op 5 cm afstand van het
omhulsel.

Hieraan moet voldaan worden onder volgende meetvoorwaarden :

- interceptie voor de nuttige bundel met minstens 20 halveringsdikten lood (eliminatie van verstorende strooistraling) ;
- voor diagnosetoestellen wordt geëxtrapoleerd naar de maximale buisbelasting (geïntegreerde stroomwaarde) in één uur vertrekkend uit koude toestand en bij de nominale hoogspanning van het toestel.
- voor terapietoestellen wordt de maximale exposiesnelheid (kermadebiet) bedoeld binnen de door de constructeur gespecificeerde maximale waarden van hoogspanning en continue buisbelasting.
- deze limietwaarden refereren naar gemiddelden over een oppervlakte van 100 cm² en 10 cm² voor de respectievelijke afstanden van 1 m en 5 cm.

3.2. Filtering

De stralingskwaliteit of het penetratievermogen van een X-stralenbundel wordt bepaald door de hoogspanning over de buis en door de hoeveelheid filtermateriaal in de bundel.

Door het gebruik van een filter wordt het laag energetisch gedeelte van het spectrum dat niet bijdraagt tot de beeldvorming bij diagnose of tot de tumordosis bij therapie gevoelig afgezwakt, waardoor vooral de huiddosis langs de invalszijde van de bundel gevoelig gereduceerd wordt. Een gelijk-aardig effect wordt bekomen door de hoogspanning te laten toenemen waardoor het relatief aandeel van de laag energetische fotonen in de bundel afneemt. Bij diagnose moet de benodigde uitgangsdosis (radiografie) of dosissnelheid (radioscopie) op de plaats van het beeldvormend oppervlak gerealiseerd worden met een minimale invalsdosis of dosissnelheid door een gepaste keuze van hoogspanning en filtering rekening houdend met de kwaliteit van de beeldweergave. Inderdaad bij toenemende hoogspanning vermindert het contrast tussen beenderweefsel en zacht weefsel, terwijl een toenemende filterdikte uiteindelijk het penetratievermogen nog nauwelijks beïnvloedt en alleen voor gevolg heeft dat de stroom of gefintegreerde stroom in de buis drastisch moet verhoogd worden teneinde de beeldvorming mogelijk te maken. De optimale combinaties voor hoogspanning en filtering zijn dus sterk afhankelijk van het onderzoekstype waarvoor als extreme gevallen kunnen vermeld worden : de mammografie en de lucht of gas contrast studies in longradiografie waar respectievelijk een lage spanning - lage filter techniek en een hoge spanning - hoge filter techniek aangewezen zijn. De minimale totale filtering die permanent aanwezig is in de diagnosebundel in functie van de nominale hoogspanning (HS) van het toestel bedraagt (in Al equivalent) :

$HS \leq 70 \text{ kV} : 1,5 \text{ mm}$
 $70 \text{ kV} < HS \leq 110 \text{ kV} : 2 \text{ mm}$
 $HS > 110 \text{ kV} : 2,5 \text{ mm}$

Volgende toestellen voor specifiek gebruik vormen hierop een uitzondering
 mammografietoestellen : 0,5 mm
 tandradiografietoestellen met intra-orale buis : 2,5 mm
 toestellen voor gebruik in chirurgie : 3 mm

In de ontwerp IEC norm wordt bovendien een maximum waarde ingevoerd voor het ingangskermdebiët bij radioscopietoestellen.

Bij therapietoestellen is een filterhouder met een stel verwisselbare filters voorzien met een duidelijk zichtbare aanduiding van de totale filtering in de bundel en die bij voorkeur uitgerust is met een elektrisch vergrendelingsstelsel op de effectieve afwezigheid van de gekozen filter uit de filterhouder. In elk geval moet het onmogelijk zijn het toestel in te schakelen zonder plaatsing van een bijkomende filter. De plaatsing van een zogenaamde nulfilter is echter wel toegelaten.

3.3. Begrenzing en lokalisatie van de nuttige bundel

Eén van de belangrijkste maatregelen om de stralingsdosis voor de patiënt te beperken is het gebruik van minimale bundelafmetingen naargelang de gezochte informatie samen met een nauwkeurige lokalisatie van het stralingsveld t.o.v. de patiënt. De primaire vereiste hierbij is dat de bundelafmetingen kunnen beperkt worden tot de afmetingen van het beeldvormend oppervlak en dat in het belang van de bescherming van het personeel de bundel niet buiten de tegen residuele straling beschermde zone rond het beeldvormend oppervlak kan vallen.

Voor radioscopietoestellen en gekombineerde radioscopie-radiografietoestellen moet er een regelbaar diafragma aanwezig zijn dat instelbaar is vanop de werkpositie van de radioloog. De residuële opening van het volledig gesloten diafragma mag niet groter zijn dan 5 mm x 5 mm. Verder mag de buis niet onder spanning te brengen zijn indien het beeldvormend oppervlak niet korrekt gealigneerd is t.o.v. de bundel. Bij toestellen voor gebruik in de chirurgie is geen regelbaar diafragma vereist op voorwaarde dat het beeldvormend oppervlak van de beeldversterker een oppervlakte heeft die kleiner is dan 300 cm² en de afstand tussen focus en beeldversterker vast is.

Bij radiografietoestellen heeft men de keuze tussen een instelbaar diafragma of verwisselbare konussen om de bundelafmetingen aan te passen aan de noden van het onderzoek.

Aangezien de radioscopische controlemogelijkheid op plaats en uitgestrektheid van het stralingsveld hier ontbreekt, moeten er andere middelen zijn om het stralingsveld zichtbaar te maken, bijvoorbeeld door gebruik te maken van een lichtgevend diafragma, de onderste rand van de gebruikte konus of visuele aanduidingen in het vlak van het beeldvormend oppervlak of op de patiëntsteun.

In de ontwerp I.E.C. norm worden toleranties aangegeven voor de coïncidentie tussen het reële en gevisualiseerde veld. Bij toestellen voor systematische radiofotografie voor de borstkas moet het veld aanpasbaar zijn aan de grootte van de patiënt met permanente aanduiding van de onderste rand van het veld teneinde een rechtstreekse gonadendosis te vermijden.

Tandradiografietoestellen moeten uitgerust zijn met positioneringskonussen voorzien van een vast diafragma zodat het veld ter hoogte van het uiteinde van de konus een diameter heeft van maximaal 75 mm (aanbevolen diameter kleiner dan 60 mm). Bij cilindrische en divergerende konussen moeten deze veldafmetingen tevens kleiner blijven dan de afmetingen van de konussen in hun uitgangsvlak.

Therapietoestellen moeten uitgerust zijn met een lichtgevend regelbaar diafragma of met therapielokalisatoren met aanduiding van de veldgrootte en afstand van het uitgangsvlak tot de focus.

De aangewende diafragma's, therapielokalisatoren en diagnosekonussen moeten voor voldoende afscherming zorgen buiten het door hen afgebakende stralingsveld.

3.4. Afstand tussen focus en huid.

Tengevolge van de divergentie van de stralenbundel zal de stralingsdosis op de invalzijde van de patiënt of de ingangskerma sterk toenemen voor konstant gehouden uitgangskerma nodig voor de beeldvorming, wanneer de focus-huid afstand klein wordt. De totale hoeveelheid geabsorbeerde energie echter is slechts weinig afhankelijk van de focus-huid afstand voor konstant gehouden bundelafmetingen in het uitgangsvlak van de patiënt. Gezien de sterke dosistoename op de invalzijde van de patiënt voor focus-huid afstanden kleiner dan 40-50 cm (7), worden er fysische belemmeringen vereist die het behoud van een minimale focus-huid afstand moeten waarborgen.

Deze belemmeringen kunnen gevormd worden door de diepteafmeting van het diafragma, de lengte van de konus, een patiëntssteun tussen focus en patiënt op voldoende afstand van de focus, of een verzekerde minimum afstand tussen de röntgenbuis en een horizontale onderzoekstafel. De focus-huid afstand moet minstens 45 cm bedragen overal waar dit geen belemmering vormt voor het onderzoek en als absoluut minimum geldt 30 cm, uitgezonderd voor chirurgietoestellen waar de minimum afstand 20 cm bedraagt. Voor tandradiografietoestellen gelden naargelang de maximale hoogspanning volgende minimum afstanden :

HS \leq 60 kV : 10 cm

60 kV < HS \leq 75 kV : 20 cm

HS > 75 kV : 30 cm

3.5. Bedienings- en werkingsvoorwaarden

3.5.1. Aanduidingen vereist op het bedieningsbord

Het onder spanning staan van de röntgenbuis moet permanent gesignaleerd worden door middel van een auditief of visueel signaal op de plaats van de onderzoeker.

Bij radioscopie moeten spanning en stroomsterkte continu worden aangegeven, tenzij het toestel slechts bij vast ingestelde waarden van stroom en spanning kan werken. In dit laatste geval moet er dan een regelsysteem voorzien zijn zodanig dat de stroom niet meer dan 25 % van de vast ingestelde waarde kan afwijken.

Bij radiografie moeten de ingestelde hoogspanning, de stroom in de buis en de bestralingsduur aangegeven worden. De geïntegreerde stroom kan de afzonderlijke aanduiding van stroom en tijdsduur vervangen. Bij automatische regeling van stroom en bestralingsduur volstaat de aanduiding van de ingestelde hoogspanning. Voor toestellen die enkel bij vast bepaalde waarden van stroom en spanning kunnen werken zijn deze aanduidingen niet verplicht, maar er moet wel een methode worden aangegeven om deze vast ingestelde parameters te kunnen controleren.

Bij radiotherapie moeten hoogspanning en stroom permanent worden aangegeven, uitgezonderd voor toestellen die enkel werken bij vast ingestelde waarden van spanning en stroom en bij vaste filtering.

In dit laatste geval moet er een automatisch regelsysteem zijn voor stroom en hoogspanning. Voor toestellen met nominale spanning hoogstens gelijk aan 100 kV volstaat een netspanningsstabilisator.

Bij toestellen met nominale hoogspanning groter dan 100 kV moet bovendien de dosissnelheid op vaste afstand van de focus continu worden aangegeven.

3.5.2. Werkingsvoorwaarden

Bij radioscopie moet de schakelaar van een type zijn dat voortdurende bediening vereist (type "dode man"). De plaats van de schakelaar moet gekozen worden zodanig dat deze beveiligd is tegen het accidenteel onder spanning brengen van de röntgenbuis en dat hij kan bediend worden door de radioloog zelf die het onderzoek uitvoert. Het toestel moet uitgerust zijn met een instelbare klok die na verloop van de ingestelde tijd (max. 10 min) een verwittigingssignaal voortbrengt. Indien de klok na verloop van de ingestelde tijd de hoogspanning automatisch onderbreekt moet het verwittigingssignaal vóór de onderbreking gegeven worden teneinde een verlenging van de onderzoeksduur mogelijk te maken. In die gevallen waar de bewegingsvrijheid van de radioloog het vereist, mag de mogelijkheid voorzien worden om de schakelaar vast te zetten, zodat hij niet continue hoeft ingedrukt te worden. In dat geval moet de hoogspanning na verloop van de ingestelde tijd automatisch onderbroken worden.

Bij radiografie moet de bestraling op elk ogenblik kunnen onderbroken worden en de schakelaar is bij voorkeur van het type "dode man". Tevens moet er een automatische onderbreking van de hoogspanning optreden bij overschrijding van een ingestelde tijdslimiet of limietwaarde voor de gefintegreerde stroom voor het geval het normale onderbrekingsmechanisme (ingestelde tijd of gefintegreerde stroomwaarde of volledig automatische regeling van de film-blootstelling) zou falen. Bij tandradiografie moet er een instelbare klok zijn die een maximum bestralingsduur van 5 s toelaat en de schakelaar moet van het type "dode man" zijn.

Bij therapietoestellen moet de bestraling automatisch beëindigd worden na verloop van de vooraf ingestelde tijd of stralingsdosis.

Bij toestellen met maximale hoogspanning van 100 kV moet de buisspanning bij de start van de bestraling onmiddellijk de ingestelde spanningswaarde bereiken. Een trapsgewijze opvoering van de hoogspanning is dus uitgesloten.

Bij toestellen geschikt voor gebruik bij hogere spanningen moet de ingestelde spanningswaarde voldoende vlug bereikt worden zodanig dat de afwijking tussen de theoretische exposie (ingestelde bestralingsduur x exposiesnelheid) en reële exposie in elk geval kleiner blijft dan 5 % voor een totale exposie van 100 R (0,87 Gy luchtkerma) op normale behandelingsafstand. Indien hieraan niet kan voldaan worden, moet het toestel uitgerust worden met een sluiters. De sluiterspositie kan enkel vanaf het bedieningsbord gewijzigd worden en deze positie moet duidelijk aangegeven zijn zowel op het bedieningsbord als in de omgeving van het toestel. Toestellen voor spanningen groter dan 100 kV moeten bovendien uitgerust zijn met een automatisch vergrendelingssysteem dat op de toegangsdeur van de behandelingsruimte kan worden aangesloten, waardoor bestraling enkel mogelijk is bij gesloten toegangsdeur. In het geval dat deze beveiliging steunt op het dichtgaan van de sluiters, moet eveneens de hoogspanning vlug gereduceerd worden zodat de lekstralingsintensiteit op 1 m afstand van de focus kleiner wordt dan 2 mR/uur (0,018 mGy/uur luchtkerma) en kleiner dan 20 mR/uur (0,18 mGy/uur luchtkerma) op 5 cm afstand van het röntgengeheel en sluiters.

3.6. Afscherming

Toestellen voor radioscopie en gekombineerde radioscopie-radiografie moeten, in het vlak van het beeldvormend oppervlak, uitgerust zijn met een afscherming tegen penetrerende primaire straling. De afmetingen van deze afscherming overschrijden de maximale afmetingen van het beeldvormend oppervlak met minstens 3 cm. De voorgeschreven dikte van deze afscherming bedraagt 2 mm lood equivalent tot 100 kV en neemt toe met 0,1 mm per bijkomende 10 kV.

Voor onderzoekstafels waar de normale plaats van de radioloog bij de tafel gesitueerd is, moet er tevens bescherming tegen de door de patiënt verstrooide straling aangebracht zijn met een dikte van 0,5 mm lood equivalent tot 110 kV, toenemend met 0,05 mm per bijkomende 10 kV. Bedieningsknoppen en handvatten zijn zo geplaatst dat handen en voorarmen van de radioloog zich steeds in de afgeschermd zone bevinden. De omstandigheden waarin moet gebruik gemaakt worden van supplementaire beschermende kledij worden beschreven in de handleiding bij het toestel. De vereiste minimum afscherming leidt op de plaats van de onderzoeker tot een maximale exposiesnelheid van 10 mR/uur (0,087 mGy/uur luchtkerma) en 35 mR/uur (0,30 mGy/uur luchtkerma) voor respectievelijk de standen vertikaal en horizontaal van de onderzoekstafel. Op de plaats van handen, voorarmen, voeten en enkels bedragen de maximale exposiesnelheden respectievelijk 120 mR/uur (1 mGy/uur luchtkerma) en 420 mR/uur (3,6 mGy/uur luchtkerma). Deze waarden zijn gebaseerd op een effectieve bestralingsduur van respectievelijk 25 uur/maand en 5 uur/maand gekumuleerd door éénzelfde operator. De metingen gebeuren voor een afstand focus- beeldvormend oppervlak van 1 m met een 15 cm dik waterfantoom in de bundel en bij veldafmetingen van 18 cm x 18 cm in het vlak van het beeldvormend oppervlak, bij nominale hoogspanning en typische stroomwaarden gebruikt bij radioscopie.

Radiografietoestellen moeten kunnen bediend worden vanop een afstand van minstens 2 m t.o.v. de buis en de patiënt, ofwel vanaf een afgeschermd positie. De maximale exposie geëxtrapolleerd naar de maximale geïntegreerde stroomwaarde die per week bij intensief gebruik kan geakkumuleerd worden blijft kleiner dan 100 mR (.87 mGy luchtkerma) op de plaats van de gebruiker.

De bediening van radiotherapietoestellen met hoogspanning groter dan 100 kV gebeurt vanop een plaats buiten de behandelingsruimte. Toestellen met hoogspanning hoogstens gelijk aan 100 kV mogen eventueel vanop een doeltreffend afgeschermd positie in de behandelingsruimte bediend worden. Bij toestellen bestemd om in de hand te worden gehouden is de hoogspanning beperkt tot 50 kV.

4. Besluit

Als besluit van dit overzicht van de voornaamste vereisten voor goedkeuring van röntgentoestellen voor medisch gebruik, kan nog worden opgemerkt dat deze toestel gebonden specificaties slechts een onderdeel zijn van het geheel van stralingsbeschermingsmaatregelen die ten behoeve van patiënt en personeel moeten in acht genomen worden. Toestellen die aan deze specificaties voldoen stellen de radioloog in staat de bescherming van patiënt en personeel doeltreffend te organiseren, maar zijn op zichzelf niet voldoende om deze bescherming te waarborgen. Deze moeten verder aangevuld worden met maatregelen op het vlak van de inrichting van de radiologielokalen, waarbij wordt rekening gehouden met de specifieke gebruiksomstandigheden en de effectieve werklast, de toegepaste werkprocedures waarbij de stralingsbescherming een konstante bekommernis moet uitmaken, de keuze van aangepaste technieken met een minimale stralingsbelasting voor de patiënt en een regelmatige kwaliteitskontrolle van de gehele procesketen die leidt tot de radiologische beeldvorming bij diagnosetoestellen en van de bundelkarakteristieken bij therapietoestellen.

Referenties

1. Koninklijk besluit van 28 februari 1963 houdende algemeen reglement op de bescherming van de bevolking en van de werknemers tegen het gevaar van de ioniserende stralingen (Belgisch Staatsblad van 16 mei 1963) ; Hoofdstuk VI, zoals gewijzigd bij het koninklijk besluit van 23 december 1970 (Belgisch Staatsblad van 17 februari 1977) en bij het koninklijk besluit van 24 mei 1977 (Belgisch Staatsblad van 7 juli 1977).
2. IEC Standard 407 (1973)
IEC Standard 407 A (1975)
Centraal Bureau van de Internationale Elektrotechnische Commissie (Genève).
3. ICRP Publication 3, Pergamon Press, Oxford (1960).
4. ICRP Publication 15, Pergamon Press, Oxford (1970)
5. ICRP Publication 16, Pergamon Press, Oxford (1970)
6. ICRP Publication 33, Annals of the ICRP, 9 (1) 1982
7. ICRP Publication 34, Annals of the ICRP, 9 (2/3) 1982
8. ICRP Publication 26, Annals of the ICRP, 1 (3) 1977.
9. Belgische Norm : NBN 400-4, Belgisch Instituut voor Normalisatie (1969).

RESUME.

Le règlement général pour la protection de la population et des travailleurs contre le danger des radiations ionisantes (Arrêté Royal du 28 février 1963 et ses modifications ultérieures) impose que les appareils à usage médical qui contiennent des substances radioactives ou qui peuvent produire des radiations ionisantes doivent être d'un type agréé par le Ministre de la Santé Publique. Les spécifications techniques principales exigées pour les appareils de radiologie, basées sur la protection du patient et de l'utilisateur, en vue de l'obtention de cette agrément sont données. Ces spécifications sont dérivées des normes de la Commission Technique Internationale (I.E.C.), lesquelles résultent de l'application des Recommandations de la Commission internationale pour la Protection contre les Radiations (I.C.R.P.) en matière d'appareils de radiologie.

ABSTRACT.

The general regulation for the protection of population and workers against the danger of ionizing radiations (Royal Decree of 28 february 1963 and subsequent modifications) requires that equipment for medical use containing radioactive sources or able to produce ionizing radiations have to conform to a type accepted by the Minister of Health. The principal technical specifications for radiological equipment, based on the protection of patient and user, as required for the obtention of this assent are given. These specifications are derived from the norms of the International Electrotechnical Commission (I.E.C.) which result from the application of the Recommendations of the International Commission for Radioprotection (I.C.R.P.) in the field of radiological equipment.

ZUSAMMENFASSUNG.

Die Allgemeine Verordnung zum Schutze der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlen (Königliche Verordnung vom 28.2.1963 nebst Aenderungen) schreibt vor, daß medizinische Geräte, die radioaktive Stoffe enthalten oder ionisierende Strahlen erzeugen können, einem vom Gesundheitsminister genehmigten Typ entsprechen (Bauartzulassung). Erläutert werden die zur Zulassung erforderlichen wesentlichen technischen Merkmale radiologischer Geräte, die dem Schutz der Patienten und des medizinischen Personals dienen. Diese Merkmale werden abgeleitet aus den Normen der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (I.E.C.), die wiederum auf den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (I.C.R.P.) auf dem Gebiet radiologischer Geräte beruhen.

ANNALES DE L'ASSOCIATION BELGE DE RADIOPROTECTION, vol. 10, n° 3 (1985).

LA GESTION DES DECHETS RADIOACTIFS EN BELGIQUE
ET LE ROLE D'ONDRAF/NIRAS.

E. DETILLEUX,
Directeur Général a.i.
ONDRAF/NIRAS, Bruxelles.

14 décembre 1984.

RESUME.

Après avoir montré que la gestion des déchets radioactifs englobe l'ensemble des actions nécessaires pour assurer la protection des personnes, et de l'environnement ainsi que la limitation des contraintes pour les générations futures, l'exposé présente l'importance du problème en Belgique.

L'exposé détaille en outre les responsabilités et les activités de l'Organisme National des Déchets Radioactifs et des Matières Fissiles, ONDRAF, et présente la situation actuelle de la gestion des déchets et l'évolution prévue.

1. INTRODUCTION

Je suis non seulement flatté de l'invitation à prendre la parole qui m'a été adressée par votre Association, mais je suis aussi particulièrement heureux de disposer de votre tribune pour faire avec vous le point de la gestion en Belgique des déchets radioactifs et vous présenter ONDRAF/NIRAS, organisme encore relativement neuf et peu connu que le législateur a chargé de gérer cette gestion.

Mon exposé sera subdivisé en 4 parties principales :

- que faut-il entendre par gestion des déchets ?
- quelle est l'importance du problème en Belgique ?
- qu'est ce que l'ONDRAF ?
- quelle est la situation présente et l'évolution envisagée ?

2. LA GESTION DES DECHETS RADIOACTIFS

2.1 Considérations générales

La gestion des déchets radioactifs englobe l'ensemble des opérations destinées à assurer, pendant toute la durée nécessaire et en toutes circonstances raisonnablement prévisibles, la protection des personnes contre des risques radiologiques inacceptables. Elle doit aussi viser à la préservation de l'environnement et la limitation des contraintes à liguer aux générations futures.

La gestion commence dès le stade de la conception et de l'exploitation des installations nucléaires dans le but de limiter le volume des déchets produits et la quantité de matières radioactives qu'ils contiennent pour se terminer au stade ultime de l'évacuation finale en passant par les stades intermédiaires; identification, triage, traitement, conditionnement, transport et entreposage dans l'attente de l'évacuation.

Les diverses étapes de la gestion constituent un système complexe dont l'ensemble des paramètres est à prendre en compte pour optimiser la gestion sur les plans technique, économique et de la sûreté. En particulier, la connaissance des conditions d'évacuation finale est nécessaire pour optimiser voire pour définir les procédés de traitement et de conditionnement, même si les opérations d'évacuation n'interviennent qu'à plus ou moins long terme. Le destin final des déchets est donc un des éléments dominant de toute politique de gestion.

Il est évident que ces considérations générales s'imposent avec une acuité particulière dans un pays comme le nôtre qui exploite un important programme nucléaire sur un territoire exigu où la densité de population est l'une des plus élevée du monde et dont les caractéristiques naturelles limitent le choix des possibilités d'évacuation pour les déchets conditionnés.

2.2 Appréciation globale des aspects techniques de la gestion

Du point de vue de la gestion, on peut ranger les déchets en trois catégories :

- 2.2.1 Groupe "A" Déchets " $\beta \gamma$ " sont les déchets contenant des radioéléments à période courte ou moyenne ne dépassant généralement pas 30 ans et dont la teneur en éléments à période longue, c'est-à-dire essentiellement des émetteurs alpha est nulle ou très faible. Ces déchets, communément appelés déchets de faible et moyenne activité (FA, MA), proviennent pour l'essentiel de l'industrie électronucléaire, des laboratoires de recherche et des producteurs et utilisateurs de radioéléments.

- 2.2.2 Groupe "B" Déchets " α " sont les déchets contenant des quantités significatives de radionuclides à période supérieure à 30 ans; il s'agit généralement d'émetteurs α . Ces déchets proviennent essentiellement des usines de cycle du combustible.
- 2.2.3 Groupe "C" "Déchets de haute activité" (HA) sont les déchets qui contiennent des produits de fission émetteurs $\beta \gamma$ et des éléments lourds, émetteurs α à vie longue issus des opérations de retraitement. Ces déchets sont généralement solidifiés par vitrification et entreposés sur leur lieu de production dans l'attente de leur évacuation.
- 2.2.4 Pour les déchets de la catégorie "A" toutes les étapes du cycle de gestion disposent de solutions démontrées au stade industrielle depuis le traitement au niveau de la production jusqu'à l'évacuation en mer ou à terre. Pour les deux autres catégories de déchets, toutes les étapes du cycle de gestion qui précèdent l'évacuation disposent de techniques soit éprouvées, soit dans un stade avancé de développement, ce qui permet d'attendre la mise en oeuvre du dernier aspect : l'évacuation.

2.3 Objectifs en matière d'évacuation

- 2.3.1 Les objectifs à atteindre pour ce dernier, notamment sur le plan de la sûreté, sont bien définis et leur faisabilité est considérée par l'ensemble des spécialistes comme accessible avec les connaissances et les moyens dont on dispose actuellement.

Les solutions pratiques à mettre en oeuvre doivent viser à :

- isoler dans une première phase, les déchets par un conditionnement approprié (béton, bitume, vitrification, etc...) et par des barrières artificielles de confinement interposées entre les déchets conditionnés et le milieu où s'effectue l'évacuation.

Pendant cette phase, dont la durée peut varier de quelques centaines d'années (300 ans dans la pratique française) à quelques milliers d'années suivant la catégorie de déchets, la nature des barrières et celle du milieu choisi

pour l'évacuation, l'ensemble de la radioactivité qui décroît de façon notable doit néanmoins rester piégé à l'intérieur des limites de la zone d'évacuation;

- maîtriser, dans une seconde phase où les barrières artificielles pourraient avoir perdu leur efficacité, la dispersion éventuelle dans l'environnement de la radioactivité résiduelle. Cet objectif peut être atteint par un choix judicieux du milieu d'accueil et une conception appropriée de l'installation d'évacuation.

2.3.2 Ceci peut être assuré par l'implantation des sites d'évacuation notamment dans des formations géologiques assurant cette maîtrise pendant des périodes de temps suffisantes. C'est pour cette raison que les formations géologiques comme le granite, le schiste, l'argile et le sel ont été identifiées comme favorables pour recevoir les déchets des catégories "B" et "C".

2.4 Conclusion

L'analyse succincte qui précède montre que du point de vue technique l'effort principal qu'il reste à accomplir en priorité est le développement des moyens d'évacuation et plus spécialement ceux destinés aux déchets des catégories "B" et "C".

Cet effort ne dispense néanmoins nullement de poursuivre le développement et la mise en oeuvre, à toutes les étapes du cycle de la gestion, de procédés et d'équipements de plus en plus performants tant du point de vue technique qu'économique qu'au niveau de la sûreté. Cet effort doit essentiellement tendre vers une réduction des volumes et une amélioration de la qualité des confinements.

3. IMPORTANCE DU PROBLEME EN BELGIQUE

3.1 Principales sources de déchets

3.1.1 Le tableau 1 met en évidence l'origine des déchets radioactifs produits en Belgique et précise la nature de cette production en fonction des trois catégories définies plus haut.

3.1.2 Sous la rubrique "Industrie nucléaire" on trouve les centrales de Doel et Tihange, les usines de fabrication de combustibles FBFC (uranium) et BN (uranium + plutonium) à Dessel ainsi que le retraitement des combustibles déchargés des centrales belges, que celui-ci soit effectué à l'étranger (Cogéma à La Hague) ou en Belgique (Belgoprocess, Dessel). En effet, les déchets retraités à La Hague seront repatriés à partir de 1990, en application des contrats signés avec la Cogéma.

3.1.3 Les rubriques "Recherche" et "Production - Utilisation de Radioéléments" concernent essentiellement les activités du CEN/SCK et de l'IRE ainsi que celles de l'ensemble des utilisateurs de radioéléments à des fins de recherche ou d'applications industrielles.

3.1.4 La rubrique "Déchets Eurochemic" comme les déchets conditionnés de moyenne et de haute activité produits par les activités de retraitement et de décontamination effectués par cette société. La gestion de ces déchets, entreposés sur le site de Dessel, est à assurer par la Belgique aux termes de la Convention passée en 1978 entre l'Etat et Eurochemic.

3.2 Estimation de la production de déchets

3.2.1 Le tableau 2 présente une estimation de la production annuelle de déchets conditionnés, toutes catégories réunies, prévisible dans les années 1990.

Ces données, basées sur une enquête récente d'ONDRAF, montre, que si l'industrie nucléaire est logiquement la source la plus importante ($\sim 80\%$), la production et l'utilisation des radioéléments contribuent pour plus de 50 % au solde. Cette fraction, non négligeable, pose un problème de gestion particulier en raison du nombre élevé et de la dispersion géographique des divers points de production de ces déchets. En fait, la majorité de ces producteurs considérés individuellement sont des "petits producteurs" disposant de moyens limités pour gérer leurs déchets.

3.2.2 Le tableau 3 donne un essai d'estimation de la production cumulée de déchets radioactifs conditionnés entre 1985 et 2050. Cette estimation, tirée d'une étude en cours à ONDRAF, repose sur un scénario dont les hypothèses principales sont :

- 1985 - 2015 - Exploitation des centrales nucléaires
(5450 MW(e), facteur d'utilisation 70 %).
- Retraitement 150 t/an.

- 2015 - 2025 - Mise à l'arrêt des centrales.
- Poursuite du retraitement jusqu'à épuisement du solde de combustible.

- 2025 - 2050 - Démantèlement.
- Poursuite de l'entreposage des déchets.

- 2070 - Début de l'évacuation géologique.

L'examen de ce tableau permet de ventiler entre les principales sources de déchets et pour les trois catégories "A", "B" et "C" définies plus haut les volumes et les activités. Le tableau 4 présente une synthèse de cette répartition.

4. ONDRAF/NIRAS

4.1 Situation légale et réglementaire

4.1.1 L'"organisme national pour la gestion des déchets radioactifs et des matières fissiles" (ONDRAF/NIRAS) a été créé par la loi du 8 août 1980 relative aux propositions budgétaires 1979-1980. Les missions et modalités de fonctionnement de l'organisme ont été précisées par un Arrêté Royal daté du 30 mars 1981. L'organisme est devenu opérationnel début 1982.

4.1.2 Le but poursuivi par le législateur est de doter le pays d'un organisme public responsable de la définition et de l'application d'une politique destinée d'une part, à assurer la protection de la population et la préservation de l'environnement par une gestion coordonnée des déchets radioactifs et d'autre part de donner à l'Etat

des possibilités de surveillance sur la gestion des matières fissiles. Cet aspect n'est pas considéré ici.

4.1.3 Le caractère public conféré à l'ONDRAF répond au souci légitime de voir celui-ci exercer ses activités et ses responsabilités à l'abri des aléas de la vie économique et en dehors de tout esprit de lucre.

4.2 Compétences

4.2.1 Les compétences de l'ONDRAF en matière de déchets radioactifs s'exercent dans les domaines ci-après :

- (a) le conditionnement pour les producteurs ne disposant pas des installations adéquates;
- (b) l'entreposage des déchets conditionnés ou non lorsque celui-ci est effectué en dehors des sites des producteurs;
- (c) stockage des combustibles irradiés, en dehors des installations des centrales et usines de retraitement;
- (d) les transports des déchets et combustibles irradiés;
- (e) l'évacuation des déchets conditionnés.

4.3 Missions

4.3.1 Les principales missions confiées à ONDRAF consistent à :

- (a) assurer l'exécution des opérations techniques qu'implique l'exercice de ses compétences;
- (b) proposer en concertation avec les producteurs les méthodes de conditionnement et de confinement à appliquer;
- (c) recommander aux autorités compétentes, des normes, spécifications et prescriptions à appliquer aux diverses étapes de la gestion;
- (d) définir les thèmes de R+D à développer pour assurer l'optimisation de la gestion;
- (e) établir et gérer un inventaire permanent des déchets, des sources de production et des évolutions en la matière.

4.3.2 ONDRAF assure ses missions, par ses moyens propres, en les sous-traitant à des tiers, en prenant des intérêts dans des associations, sociétés ou syndicats. La prise en charge des déchets radioactifs par ONDRAF se fait dans le cadre de conventions qu'il passe avec les producteurs; celles-ci doivent obligatoirement définir les modalités du transfert de responsabilité et les conditions financières et techniques de la prise en charge.

4.4 Financement des activités courantes

4.4.1 La loi créant ONDRAF stipule que l'ensemble des coûts de l'organisme est à charge des sociétés et organismes au bénéfice desquels les prestations sont effectuées. Ces coûts, évalués à prix de revient sont à répartir entre les utilisateurs des services sur la base de critères objectifs à déterminer, si possible de commun accord, si nécessaire par arrêtés ministériels.

4.4.2 ONDRAF est astreint à l'équilibre financier, c'est-à-dire que ses recettes doivent équilibrer ses coûts qui comprennent, outre les frais de fonctionnements, les charges financières, les amortissements fiscaux et une provision pour le renouvellement des installations. L'organisme est autorisé à souscrire des emprunts pour financer ses investissements.

4.5 Financement des missions à long terme

4.5.1 L'Arrêté Royal qui fixe les modalités de fonctionnement de l'ONDRAF prévoit que les missions à long terme qui sont essentiellement liées à l'entreposage prolongé et à l'évacuation des déchets pourront être financées par un Fonds spécial qui serait alimenté par des contributions versées par les producteurs et calculées en fonction des charges qui sont imputables à leur propres déchets.

4.5.2 Ce fonds, devrait également servir à couvrir les frais additionnels qui résulteraient de défauts imputables au producteur et qui seraient reconnus comme n'ayant pas été indétectables au moment de la prise en charge. Cette indemnisation serait due pendant une période de 50 ans à partir de la prise en charge par l'ONDRAF. Les disposi-

tions et mécanismes nécessaires à la mise en place de ce fonds font actuellement l'objet d'études au sein de l'ONDRAF et de discussions avec les principaux producteurs concernés.

4.6 Relations avec les producteurs et prestataires de services

4.6.1 Les relations entre l'ONDRAF et les producteurs de déchets font l'objet de conventions bilatérales qui couvrent les modalités techniques et financières ainsi que les responsabilités respectives. Il existe à ce jour deux types de conventions, l'un pour couvrir les services, essentiellement, les conditionnements, transports et entreposages, l'autre pour couvrir les activités de R+D et diverses études.

4.6.2 Parallèlement, il existe deux types de conventions entre l'ONDRAF et des prestataires de services, essentiellement jusqu'ici le CEN/SCK; ces conventions couvrent des activités de service d'une part, des activités de R+D et d'études d'autre part, certaines étant naturellement assurées par les moyens propres à l'ONDRAF.

4.7 Répartition des fonctions principales au sein de l'ONDRAF

Le tableau 5 présente de façon schématique la façon dont les principales fonctions sont actuellement réparties au sein de l'ONDRAF, dont l'effectif actuel est de 21 agents dont 10 de niveau universitaire ou équivalent.

5. SITUATION PRESENTE ET EVOLUTION PREVISIBLE

5.1 Schéma global de la gestion

5.1.1 L'enchaînement des opérations techniques de la gestion tel qu'il est envisagé par l'ONDRAF est schématisé à la fig.(1). Ce schéma, qui reflète d'ailleurs largement une situation de fait établie depuis de nombreuses années, repose sur les considérations fondamentales suivantes :

- les principaux producteurs conditionnent sur place une partie importante de leurs déchets; elle représente 70 à 75 % du volume annuel total produit dans le pays et contient 98 à 99 % de la radioactivité contenue dans celui-ci;

- les déchets non conditionnés sur le lieu de production sont transportés vers des installations centrales de traitement et de conditionnement, en l'occurrence les installations du CEN/SCK à Mol;
- l'ensemble des déchets conditionnés est entreposé dans une infrastructure centrale, jusqu'à présent également des installations gérées par le CEN/SCK;
- les modes d'évacuation considérés ou utilisés sont soit l'immersion ou l'évacuation terrestre à faible profondeur pour les déchets de la catégorie "A" définie plus haut, soit l'enfouissement en couches géologiques, voire sur les fonds marins, pour les déchets des catégories "B" et "C".

5.1.2 La centralisation de certaines opérations de traitement, conditionnement et celle de l'entreposage est praticable en Belgique du fait des courtes distances entre ce site central et les centres de production. En outre, la centralisation d'infrastructures coûteuses permet de répartir entre l'ensemble des producteurs des charges qui, sur une base individuelle seraient difficilement supportables. L'évolution prévisible de diverses étapes du schéma global est brièvement analysée ci-dessous.

5.2 Traitement et conditionnement centralisés

5.2.1 Les installations du CEN/SCK, utilisées depuis plus de 20 ans pour le traitement et le conditionnement des déchets de faible et de moyenne activité (catégorie "A") permettent essentiellement le découpage, la compaction, l'incinération ainsi que la décontamination de certains effluents liquides. Elles permettent en outre l'enrobage dans le bitume et le béton des produits provenant de ces divers traitements.

5.2.2 A partir de 1985 ces services, dont l'exploitation restera assurée par le CEN/SCK, seront prestés dans le cadre d'un contrat de service liant ce dernier à ONDRAF. Pour sa part, ONDRAF assurera l'enlèvement des déchets sur le site des producteurs aux termes de conventions d'enlèvement passées avec ces derniers. Celles-ci ont été, au cours de 1984, mises au point avec les producteurs principaux, c'est-

à-dire les exploitants des centrales. Au cours des prochains mois des conventions similaires seront négociées avec les autres producteurs, elles seront, bien entendu, adaptées pour tenir compte de leurs besoins et conditions spécifiques.

5.2.3 Les installations actuelles du CEN/SCK devront, à brève échéance, faire l'objet d'un programme de modernisation important, dont les grandes lignes sont actuellement en cours d'examen dans le cadre du coopération entre l'ONDRAF et le CEN. Les études d'avant-projet seront entamées au cours de l'année 1985.

5.3 Entreposage centralisé des déchets conditionnés

5.3.1 Jusqu'à l'interruption en 1983 des opérations annuelles d'immersion les déchets conditionnés destinés à celles-ci étaient, au fur et à mesure de leur production, transportés et entreposés au CEN dans l'attente de leur évacuation. Depuis lors, dans le but de ne pas interrompre les enlèvements chez les producteurs, les déchets concernés sont toujours transportés et entreposés dans les installations du CEN.

5.3.2 Devant les incertitudes qui pèsent sur la reprise des immersions dans un délai raisonnable, ONDRAF a entrepris une étude visant d'une part à assurer l'entreposage prolongé de ces déchets et d'autre part à rechercher une alternative à l'immersion. L'étude conceptuelle de l'infrastructure d'entreposage actuellement confiée à Belgatom permettra de lancer les études au début de 1985 et d'ouvrir le chantier avant la fin de la même année. La mise en service actif de la première tranche d'entreposage est prévue pour 1987; cette tranche devrait permettre de couvrir les besoins pendant 10 ans.

5.3.3 L'exploitation de l'usine d'Eurochemie a conduit à la construction sur le site de Dessel d'installations d'entreposage pour abriter les déchets α de moyenne et haute activité (catégories "B" et "C" définies antérieurement) produits par le retraitement et les opérations de décontamination exécutés depuis la mise à l'arrêt de l'usine en 1974. A ces déchets viendront s'ajouter, après 1990, les déchets conditionnés provenant du retraitement de combustibles belges à

La Hague ainsi que, ceux qui proviendraient de l'usine de Dessel éventuellement remise en service.

5.3.4 Le plan global de gestion d'ONDRAF considère qu'il y a lieu de poursuivre la centralisation de l'ensemble des capacités d'entreposage prolongé nécessaire au programme belge; cette centralisation devrait dans toute la mesure du possible, s'effectuer, non seulement sur le site de Mol-Dessel, mais aussi à proximité des installations existantes. Celles-ci, réalisées par Eurochemic, comprennent des casemattes blindées pouvant recevoir des déchets conditionnés en fûts de 220 et 400 litres dont la dose au contact peut atteindre jusqu'à 200 Remh^{-1} ainsi qu'une unité pour l'entreposage de déchets de haute activité vitrifiés. Ce projet d'ensemble fera l'objet en 1985 d'une négociation entre l'ONDRAF et Belgoprocess, la société filiale de Synatom qui vient d'être créée et qui assurera l'exploitation du site ex-Eurochemic à partir du 1er janvier prochain.

5.4 Evacuation des déchets de catégorie "A"

5.4.1 La Belgique a participé régulièrement aux opérations d'immersion dans l'Atlantique Nord, organisées jusqu'en 1982, dans le cadre du mécanisme de consultation et de surveillance multilatéral mis sur pied par l'Agence de l'Energie Nucléaire de l'OCDE.

5.4.2 Les Autorités belges et l'ONDRAF restent favorables à ce mode d'évacuation aussi longtemps qu'aucune preuves scientifiques sérieuses et objectives ne viennent démontrer que l'immersion ne constitue pas une solution fiable et sûre. La Belgique ne conteste néanmoins nullement que ces opérations doivent être effectuées suivant des conditions rigoureuses et sous un strict contrôle international.

5.4.3 Toutefois, les incertitudes liées à cette reprise, dues au climat politique international défavorable qui regne autour de ce problème, ont conduit ONDRAF à mettre sur pied un programme d'étude pour la recherche de solutions alternatives qui font nécessairement appel à un stockage en surface ou à proximité de la surface. La première phase de ce programme, assurée par ONDRAF avec l'assistance du CEN/SCK pour certains domaines particuliers concerne :

- un inventaire des systèmes d'évacuation envisageables;
- l'élaboration d'une méthodologie pour l'évaluation de ces systèmes, y compris les aspects de sûreté après la période d'exploitation du site d'évacuation;
- l'application, à titre de référence, de cette méthodologie au site de Mol-Dessel;
- un inventaire qualitatif des autres zones envisageables, sur la base des informations existantes.

Cette phase préliminaire se poursuivra jusqu'à la mi-1986, c'est-à-dire pendant environ 2 ans.

5.5 Evacuation des déchets de catégories "B" et "C"

5.5.1 Depuis 1974, le CEN a entrepris un important programme destiné à étudier la possibilité d'évacuer dans une couche profonde d'argile les déchets conditionnés appartenant aux catégories "B" et "C". La formation choisie pour cette étude est la couche d'argile de Boom située sous le site nucléaire de Mol-Dessel (projet HADES). Le déroulement excessivement satisfaisant de ce programme, conduit dans le cadre des actions à frais partagés de la CEE, a conduit au creusement d'un laboratoire souterrain situé à 225 m de profondeur et qui a été mis en exploitation dans le courant de 1984.

5.5.2 Les objectifs principaux de la phase d'étude "in situ" qui commence sont la qualification détaillée du site et la confirmation de son acceptabilité. Les résultats escomptés doivent permettre de serrer la réalité de plus près qu'en laboratoires de surface et de fournir des éléments permettant une optimisation du projet tant du point de vue technique que du point de vue de la sûreté. D'une façon générale, l'ensemble des activités en cours est destiné à rassembler et compléter les informations nécessaires à la préparation d'un rapport préliminaire de sûreté et de faisabilité (RPSF). ONDRAF assure, en relation étroite avec le CEN/SCK, la mise au point de ce rapport ainsi que sa discussion avec les autorités. Le but poursuivi est de permettre à ces dernières de se prononcer sur la proposition en 1987 et de donner, en 1988, les autorisations nécessaires pour entamer la réalisation éventuelle d'une démonstration.

5.5.3 Une phase de démonstration effectuée à échelle réelle avec des déchets vitrifiés réels a pour objectif, d'une part de démontrer la fiabilité technique du système et d'autre part d'apporter des compléments d'information permettant de confirmer, et si nécessaire d'adapter les modèles mathématiques développés pour évaluer la sûreté à long terme. La CEE a inscrit à son programme quinquennal qui commence les études préliminaires nécessaires pour lancer des opérations de démonstration dans diverses formations géologiques, dont l'argile. Est-il nécessaire d'indiquer qu'un tel projet intéresse au plus haut point les responsables du projet HADES ?

5.5.4 Conscient de l'importance que peut avoir pour les autorités et le public une phase de démonstration, l'ONDRAF estime que les travaux préparatoires à la démonstration doivent être menés en parallèle et en relation avec la préparation et la discussion du RPSF; ce qui permettrait d'entamer la phase de réalisation en pleine connaissance non seulement des besoins techniques et scientifiques à démontrer mais aussi du point de vue des autorités sur les chances de pouvoir, en temps opportun, utiliser la formation argileuse pour évacuer les déchets des catégories "B" et "C" étant entendu que cette évacuation n'interviendrait qu'après une période de refroidissement en surface des déchets de catégorie "C" d'au moins 50 ans.

Le diagramme de la fig.(2) montre l'enchaînement des actions qui doivent conduire à une décision sur la réalisation éventuelle d'un projet de démonstration.

6. CONCLUSION

6.1 J'espère que cet exposé a répondu au moins partiellement aux quatre questions posées au début et qu'il aura contribué à faire mieux apprécier la situation en général et en particulier le rôle d'ONDRAF, organisme encore neuf mais néanmoins déjà fortement engagé dans l'accomplissement de ses missions.

6.2 Les aspects décrits ne touchent que les activités essentielles exercées actuellement par l'organisme. Le programme de l'année 1985

a pour objectif, outre la poursuite de l'implantation des activités techniques relevant du schéma global de gestion, de définir et mettre en place les instruments institutionnels nécessaires au développement de ce schéma, de rencontrer les préoccupations des petits producteurs de déchets et de développer l'information en faveur des autorités, des producteurs de déchets et du grand public.

Tableau 1

PRINCIPALES SOURCES DE DECHETS EN BELGIQUE

| Producteurs | Catégories de déchets | | |
|---|-----------------------|------|------|
| | "A., | "B., | "C., |
| I Industrie nucléaire | | | |
| Centrales | x | p.m. | p.m. |
| Fabrication de combustible | x | x | - |
| Retraitement (La Hague, Dessel) | x | x | x |
| II Recherche | x | p.m. | p.m. |
| III Production - Utilisation radioéléments | x | - | - |
| IV Déchets ~ Eurochemic., | | x | x |

Catégorie "A., $\beta \gamma$ $t_{1/2} \leq 30$ ans - α nul ou faible (FA, MA)

Catégorie "B., $\beta \gamma$ faible ou nul α longue période (α)

Catégorie "C., $\beta \gamma$ important α important (H.A.)

Tableau 2

PRODUCTION ANNUELLE DE DECHETS RADIOACTIFS
CONDITIONNES EN BELGIQUE
 (Année de référence : 1990)

| Origine | m ³ | % |
|--|----------------|------------|
| I <u>Industrie Nucléaire.</u> | | |
| Centrales | 865 | 42,5 |
| Fabrication combustibles | 25 | 1,2 |
| Retraitement * | 760 | 37,3 |
| | | } 81,0 |
| II <u>Recherche</u> (ppl CEN/SCK) | 165 | 8,1 |
| III <u>Radioéléments</u> | | |
| Production (ppl IRE) | 95 | 4,7 |
| Utilisation | 125 | 6,2 |
| | | } 10,9 |
| Total | 2.035 | 100 |

* Totalité des déchargements annuels

Tableau 3 ESTIMATION DE LA PRODUCTION CUMULEE DE DECHETS CONDITIONNES

Période : 1985-2050

Hypothèses - 5450 MW(e) exploités pendant 30 ans
 - tous les combustibles irradiés retraités (~4700 T)
 - démantèlement à partir de 2025

| | Catégorie "A., | | Catégorie "B., et "C., | | |
|--------------------------------------|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| | m ³ | 10 ⁶ Ci β γ | m ³ | 10 ⁶ Ci β γ | 10 ⁶ Ci α |
| I Industrie Nucléaire | | | | | |
| Centrales | 50.000 | 0,18 | 300 | p.m. | p.m. |
| Cycle du combustible | 18.500 | 0,05 | 12.300 | 2.800 | 13 |
| Démantèlement | 42.000 | 1,0 | 400 | 30 | p.m. |
| Total | 110.500 | 1,23 | 13.000 | ≥ 2.830 | ≥ 13 |
| II Recherche et Radioéléments | | | | | |
| Exploitation | 23.000 | } 0,02 | } 1.100 | p.m. | p.m. |
| Démantèlement | 17.000 | | | | |
| Total | 40.000 | 0,02 | 1.100 | | |
| III Déchets "Eurochemic., | — | — | 3200 | 20 | 0,1 |
| | 150.500 | 1,25 | 17.300 | 2850 | 13,1 |

Note: Les activités prises en compte sont celles estimées au moment du conditionnement des déchets considérés.

Tableau 4

REPARTITION RELATIVE ENTRE LES
MODES D'EVACUATION CONSIDERES
(EN %)

"A,, Evacuation à faible profondeur et/ou immersion.

"B,,et"C,, Evacuation à grande profondeur (couche géologique)

| Origine | "A,, | | "B,, + "C,, | | |
|-------------------------------|--------|----------------|-------------|----------------|----------|
| | Volume | Activité | Volume | Activité | |
| | | $\beta \gamma$ | | $\beta \gamma$ | α |
| I Industrie Nucléaire | 73,5 | 98,4 | 75,0 | 99,3 | 99,2 |
| II Recherche et Radioéléments | 26,5 | 1,6 | 6,5 | p.m | p.m |
| IIIDéchets "Eurochemic,, | — | — | 18,5 | 0,7 | 0,8 |
| | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Fig. (1)

GESTION DES DECHETS
RADIOACTIFS EN
BELGIQUE

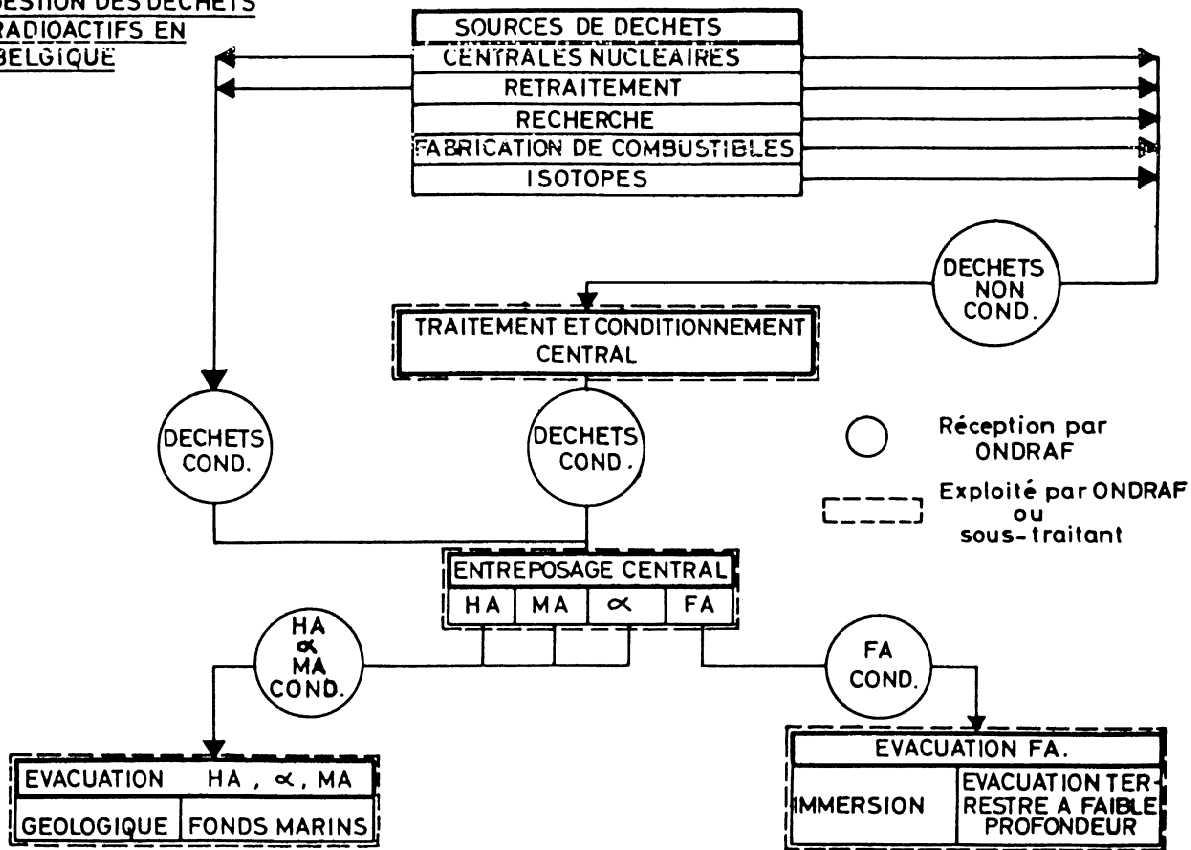
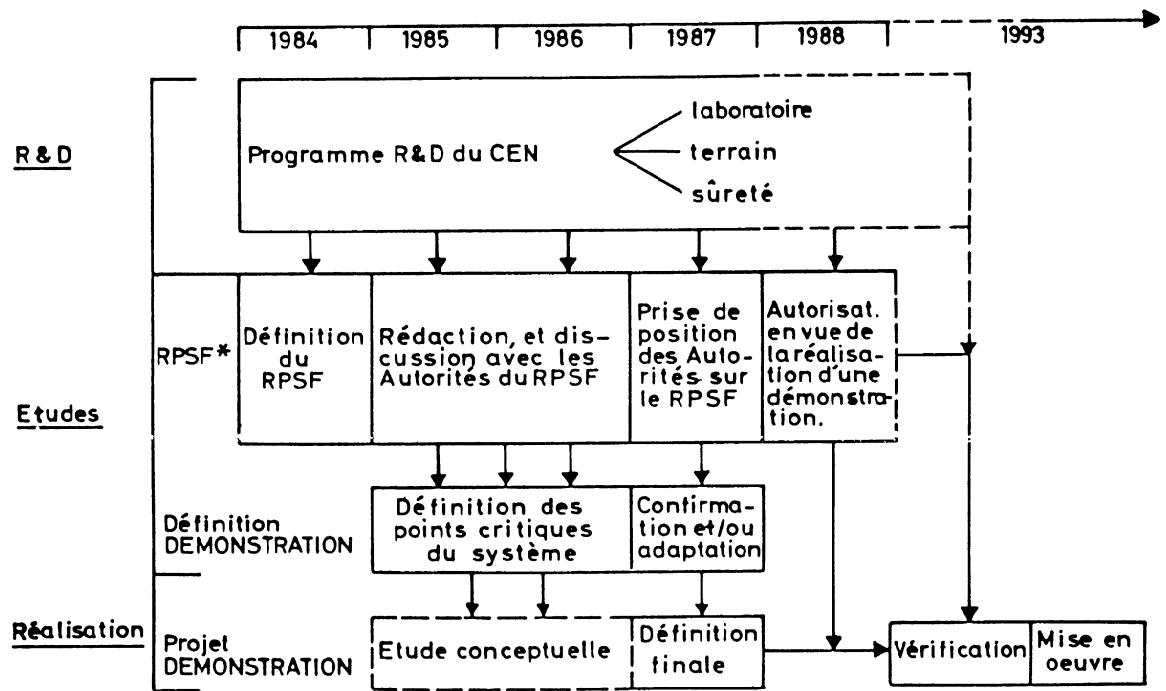


Fig. (2)

L'EVACUATION DES DECHETS RADIOACTIFS EN FORMATION ARGILEUSE
SCHEMA PREVISIONNEL DU DEVELOPPEMENT



* RPSF : Rapport Préliminaire de Sûreté et Faisabilité

SAMENVATTING.

Na te hebben aangetoond dat het beheer van de radioactieve afval het geheel omvat van de akties nodig voor het verzekeren van de bescherming van de bevolking en van het leefmilieu, alsook voor de beperking van de gevaren voor de toekomstige generaties, wordt in de uiteenzetting gewezen op het belang van het probleem in België.

In de uiteenzetting wordt bovendien een gedetailleerd overzicht gegeven van de verantwoordelijkheden en de activiteiten van de Nationale Instelling voor Radioactieve Afval en Spleijtstoffen, NIRAS, alsook van de huidige toestand op het vlak van het afvalbeheer en de te verwachten evolutie.

ABSTRACT.

After having outlined that waste management involves all the actions required to secure the protection of the people and the environment, as well as the limitation of the constraints for the future generations, the paper discusses the magnitude of the problem in Belgium.

Moreover, it describes, the responsibilities and tasks the National Agency for Radioactive Waste and Fissile Materials, ONDRAF, has been entrusted with and outlines the present-day situation in the field of radioactive waste management and its evolution.

ZUSAMMENFASSUNG.

Nachdem bewiesen wurde, dass die Politik bezüglich des radioaktiven Abfalls die Gesamtaktion zur Sicherung des Schutzes der Bevölkerung und der Umwelt und zur Beschränkung der Gefahren die zukünftigen Generationen umfasst, behandelt dieser Bericht den Umfang des Problemes in Belgien.

Ausserdem gibt dieser Bericht eine detaillierte Übersicht der Verantwortung, der Aktivitäten des NIRAS sowie des heutigen Zustandes auf dem Gebiet der Politik bezüglich des radioaktiven Abfalls und der wahrscheinlichen Entwicklung.

ANNALEN VAN DE BELGISCHE VERENIGING VOOR STRALINGSBESCHERMING, vol.10, n°3 (1985).

A COMPARISON OF THE MEDIUM FREE-AIR CHAMBER OF THE STANDARD DOSIMETRY LABORATORY OF THE UNIVERSITY OF GENT WITH THE EXPOSURE STANDARDS OF THE NATIONAL INSTITUTE OF PUBLIC HEALTH AND ENVIRONMENTAL HYGIENE IN BILTHOVEN.

THIERENS H., POFFIJN A., DE BISSCHOP F., SEGAERT O.

Laboratorium voor Standaarddosimetrie - Laboratorium voor Natuurkunde
Faculteit Geneeskunde, Rijksuniversiteit Gent
Ledeganckstraat 35, 9000 GENT, België.

AALBERS A., SWART A., VAN DIJK E.

Rijks Instituut voor de Volksgezondheid en Milieuhygiëne
Ant. van Leeuwenhoeklaan 9, Postbus 1,
BILTHOVEN, Nederland.

14 december 1984.

ABSTRACT

The free-air ionization chamber for absolute exposure measurements in the soft X-ray region, built in the Standard Dosimetry Laboratory of the Rijksuniversiteit Gent, is described. A direct comparison between this chamber and the primary exposure standards of the Rijks Instituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM), Bilthoven, the Netherlands, was made in this institute for the 50-120 kV X-ray region. The necessary correction factors were determined by experiment or by calculation. For all the used qualities the differences between the exposures measured with the standards of the RIVM and Gent are 5 % or less.

1. INTRODUCTION

As outlined in a previous paper (ref.1) a primary standard dosimetry laboratory is of great importance in the calibration of dose meters and for the accurate determination of the quantity absorbed dose. For the setup of such a primary calibration centre in Gent a number of standards are constructed in the laboratory. For the absolute measurement of the exposure in the X-ray region free-air ionization chambers are used. To cover the energy range from 5 kV to 500 kV X-rays three free-air parallel plate chambers with different dimensions are built : a small one for 5-30 kV X-rays, a medium free-air chamber for the 20-80 kV region and a

large exposure standard for 50-500 kV X-rays. The design of these chambers was copied from the Institute for Radiation Protection, Seibersdorf, Austria (ref. 2).

The medium chamber can be transported easily and is suitable for a comparison with other analogous national standards in other European laboratories. In this way a first comparison between this chamber under investigation, built in Gent, and the exposure standards of the Rijks Instituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM), Bilthoven, the Netherlands, was performed.

2. DESCRIPTION OF THE CHAMBER OF THE STANDARD DOSIMETRY LABORATORY OF GENT

A schematic cross section of the medium chamber in a horizontal plane through the apertures together with some important dimensions is given in fig. 1. The distance between the electrodes is 120.7 mm. The collection electrode consists of two parts, both 131.1 mm high and respectively 30.0 and 25.5 mm wide. Care was taken of the coplanarity of the collector electrodes and the grounded guard electrodes. In the performed experiments the two parts of the collector are connected electrically so we can consider them as one electrode. The effective width of this collector is 56.25 mm (distance between the midpoints of the slits between the collector and the guard electrodes).

The beam defining diaphragm made of tungsten has a cylindrical aperture with a diameter of 5.010 mm. The distance between the beam defining plane and the middle of the collector electrode, necessary to know for the calculation of the air absorption correction, amounts to 134.89 mm. The standard is normally operated at a tension of 1200 V between the plates, resulting in an electric field strength of 100 V/cm. To eliminate field distortions forty guard strips are equally spaced between the ground and high voltage plates and are mounted parallel to them. A resistorbank of $1.6 \text{ M}\Omega$, mounted outside the chamber, is used to obtain a constant potential difference between two successive strips.

3. EXPERIMENTAL SETUP FOR THE COMPARISON AT THE RIVM

Two parallel plate free-air exposure standards of the RIVM, Bilthoven, were used for the comparison with the chamber, just described and constructed in Gent : a large chamber with a distance of 30 cm between the plates,

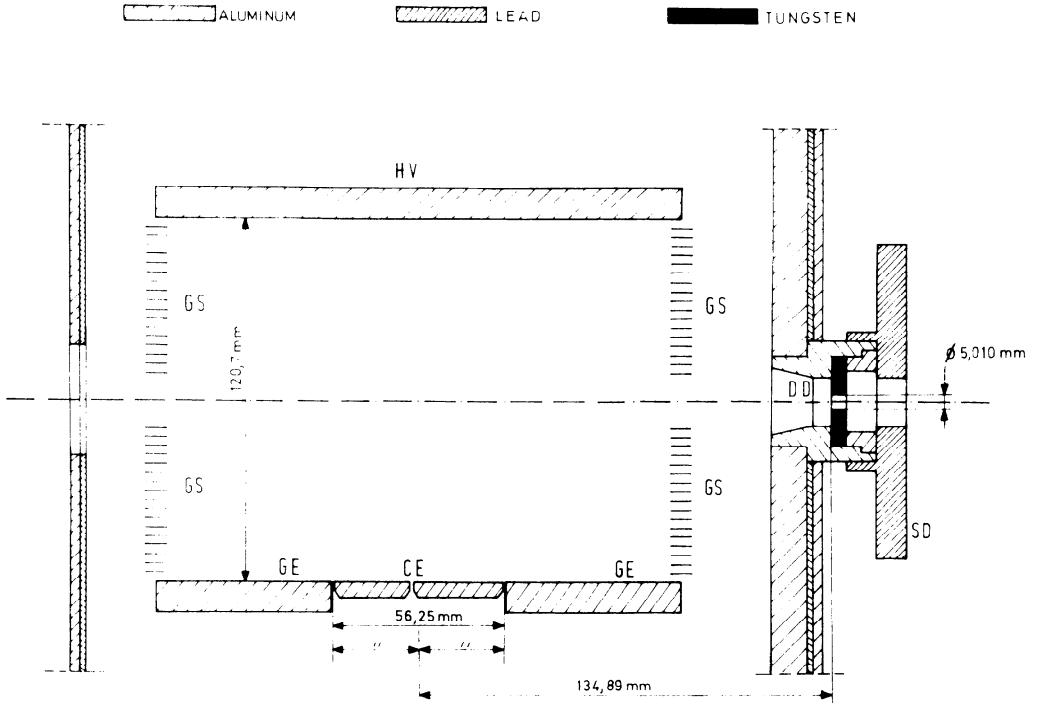


Fig. 1. Schematic cross section of the standard of Gent in a horizontal plane through the apertures. The most important dimensions are indicated.

Meaning of the symbols :

HV : high voltage plate

CE : collector electrode

GE : guard electrode

GS : guard strip system

DD : beam defining diaphragm

SD : shielding diaphragm

designed for the 50-250 kV X-ray region and a small one with a plate separation of 4 cm, appropriate for 10-50 kV X-rays. These RIVM standards together with the working conditions are described in ref. 3.

At the RIVM, Bilthoven, the X-ray equipment, used in the comparison with the large ionization chamber consists of a Philips MG 320 generator connected to a Philips MCN 421 metal ceramic X-ray tube. The inherent filtration of this tube amounts to 2.2 mm Be, corresponding to 1.5 mm Al. The X-ray tube used in connection with the small ionization chamber is a Machlett type AEG-50 with 1.0 mm Be inherent filtration.

The ionization current of the RIVM exposure standard is measured with a Townsend balance circuit using a capacitor, a potentiometer as a precision potential source and a vibrating reed electrometer as a null instrument. For each comparison of the Gent and RIVM standards about 10 ionization measurements were made with the RIVM chamber, between which two without beam for the determination of the leakage current of the chamber. The same procedure was followed with the standard of Gent at the same distance between the beam spot and the reference plane. Finally the 10 measurements with the first chamber in the beam were repeated.

For the comparison the output of every standard chamber was normalized to the reading of the monitor chamber placed between the standard and the focal spot of the X-ray tube. For the X-ray qualities used in the performed comparisons the radiation field was not disturbed by the presence of this transmission chamber as the beam has to go only through five mylar foils with a total thickness of 40 μm . The measuring time for each exposure was chosen between 30 and 300 s depending on the ionization current. Before and after each set of measurements the temperature of the monitor and the standard as well as the air pressure were recorded to perform the necessary corrections. The whole calibration procedure was computer controlled. The uncertainty on the exposure time was 0.01 s.

A schematic diagram of the used calibration setup is given in fig. 2. An appropriate set of filters (F) is mounted in a holder after a first initial diaphragm (D_1), which is fixed to the X-ray tube housing as a first limitation of the X-ray beam. After filtration the beam passes through a monitor chamber (M), sandwiched between a beam limiting (D_2) and a shielding (D_3) diaphragm. A fast acting shutter (S), mounted between the filters and the beam limiting diaphragm starts and terminates each irradiation.

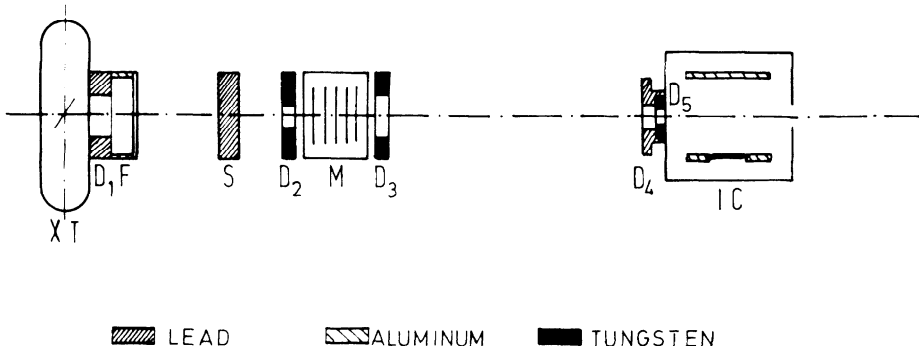


Fig. 2. Schematic diagram of the calibration setup.

Meaning of the symbols :

XT : X-ray tube

F : set of filters

S : shutter

M : monitor chamber

IC : free-air ionization chamber

D₁ : initial diaphragm

D₂ : beam limiting diaphragm

D_{3,4} : shielding diaphragm

D₅ : beam defining diaphragm of the standard

In the experimental setup with the Philips tube and the large RIVM standard the beam limiting diaphragm was located at 56 cm of the focal spot of the X-ray tube, while the distance between this point and the reference plane of the standards was 140 cm. In most measurements the diameter of the diaphragm D₃ was adjusted so that the beam diameter at the defining plane of the standards was about 5 cm. Diaphragm D₂ was omitted in the calibration setup with the Machlett tube and the small RIVM standard. In this case the beam was determined by diaphragm D₃ at a distance of 25 cm from the focal spot. A beam diameter of about 2.6 cm at the reference plane of the standards, located at 60 cm from the X-ray source, was obtained by using a diaphragm with a diameter of 1.1 cm.

For the comparison of the standards from the RIVM and the university of Gent at one of both calibration setups, the chambers were mounted on a trolley, which allowed a reproducible positioning in the beam. They were carefully aligned using a laser. This first alignment was adjusted ionometrically and the alignment was finally checked radiographically.

4. X-RAY QUALITIES USED IN THE COMPARISON

An indirect comparison between the large RIVM chamber and the standard of the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), Sèvres, France, was made earlier at the BIPM for a set of X-ray qualities ranging from 100 to 250 kV. Taking this into account and considering the dimensions of the medium chamber under investigation of Gent, a first comparison between this standard and the large RIVM standard in Bilthoven was performed for a 100 kV quality with 3.54 mm Al as filter in addition to the inherent filtration equivalent to 1.5 mm Al in order to simulate the 100 kV quality used by BIPM (BIPM-quality, ref. 4). Measurements were also performed at this tube tension with an additional filtration of 2.00 mm Al because this quality is very often used in routine calibrations at the RIVM.

To observe a possible deficiency of the medium standard of Gent for strongly filtered X-ray qualities, a comparison with the large RIVM standard was also performed at 120 kV with 4.00 mm Al as additional filter, a X-ray quality also frequently used in Bilthoven. In the framework of the comparative measurements of the large RIVM standard with the standard of Gent finally tests were performed with a highly filtered quality following the ISO X-ray wide spectrum series : the broad 60 kV spectrum with additional filtration of 0.30 mm Cu (ISO-quality, ref. 5).

The comparison of the standard of Gent with the small RIVM chamber in Bilthoven was made with a 50 kV X-ray quality with a 4.00 mm Al filter in addition to the inherent filtration to simulate the 50 kV quality used by BIPM (BIPM-quality, ref. 4). In the direct comparison of the small RIVM chamber with the BIPM standard it turned out that the difference between the exposures, measured with these standards was only 5 ‰ for this quality.

Some important measurement conditions are summarized in table 1. The values of the first half-value layer, HVL, and the linear air attenuation coefficient, μ , were determined with the standard of Gent. The HVL values, quoted by the BIPM for their 50 kV and 100 kV X-ray qualities, are 2.257 and 4.027 mm Al respectively. The HVL values for the X-ray qualities listed in table 1, used by the RIVM in their calibrations are 2.24, 2.87, 4.00 and 5.20 mm Al respectively. In view of the small discrepancies between these values and the present results especially for the two latter qualities,

the HVL values were remeasured using the RIVM standards : we obtained the values 2.241, 2.925, 4.111 and 5.171 mm Al respectively. The very good agreement between these results and the values summarized in table 1 proves the reliability of the standards of the RIVM and Gent. The difference of about 2 % for the 100 kV quality with 3.54 mm Al additional filtration between the recent results and the earlier BIPM and RIVM reference values is probably due to differences in the photon fluence spectra.

Table 1 : Experimental conditions and used X-ray qualities

| | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Tube tension (kV) | 50 | 100 | 100 | 120 |
| Filtration | | | | |
| inherent (mm Be) | 1.0 | 2.2 | 2.2 | 2.2 |
| addit. (mm Al) | 4.00 | 2.00 | 3.54 | 4.00 |
| Diameter beam (cm) | 2.6 | 5 | 5 | 5 |
| HVL (mm Al) | 2.266 | 2.886 | 4.103 | 5.154 |
| Air att. coeff. μ (m^{-1}) | 0.0433 | 0.0440 | 0.0375 | 0.0305 |
| 10^5 Pa, 293.15 K | \pm 0.0052 | \pm 0.0022 | \pm 0.0030 | \pm 0.0009 |
| Expos. rate (R/min) | 1.761 | 1.793 | 1.778 | 1.482 |

The values for the air attenuation coefficient μ measured by the BIPM for their 50 and 100 kV qualities, 0.046 and 0.0355 m^{-1} are in agreement with the values of table 1, obtained in the performed experiments with the standard of Gent. The air attenuation coefficient for the 100 and 120 kV qualities was deduced from the measured increase in the exposure rate when an evacuated tube, 60 cm long and with Be windows 1 mm thick, was placed between the monitor chamber and the free-air standard. The air attenuation coefficient at 50 kV was determined by changing the distance between the reference plane of the standard and the X-ray tube focus.

5. RESULTS AND DISCUSSION

The exposure X can be deduced from the charge Q measured at the electrodes of a free-air ionization chamber using the well known expression :

$$X = 2.9976 \cdot 10^9 \frac{Q}{A \cdot L} \frac{T}{273.15} \frac{1013.25}{P} \prod_i K_i$$

with $\prod_i K_i$ product of correction factors :

$$\prod_i K_i = K_a \cdot K_r \cdot K_s \cdot K_e \cdot K_l \cdot K_p \cdot K_h \cdot K_d \cdot K_{sc}$$

In this expression T and P are the actual temperature and pressure during the measurement, while A represents the area of the diaphragm aperture and L the effective length of the collecting region.

The correction factors are defined as follows :

K_a : correction for the air attenuation between the defining plane of the diaphragm and the middle of the collecting plate.

K_r : correction for the polarity effect, possibly due to a contact potential difference between the collector and guard plates. K_r is measured by reversing the potential on the HV plate.

K_s : correction for recombination losses of ionization.

K_e : correction for the loss of ionization due to primary electrons striking the collector and HV plates.

K_l : correction for the transmission of the X-ray beam through the diaphragm.

K_p : correction for the transmission of the X-ray beam through the chamber walls.

K_h : correction for the humidity of air as the electron densities of air and water vapor are different.

K_d : correction for electric field distortions between the collector and HV plates.

K_{sc} : correction for primary electrons produced by secondary photons scattered in air.

The values of the important correction factors for the medium chamber of Gent for the used X-ray qualities are summarized in table 2.

The air attenuation correction, K_a , by far the largest correction, was calculated using the measured values for the attenuation coefficient, μ , summarized in table 1.

The correction for the polarity effect, K_r , for the standard of Gent was determined for the 100 kV quality with additional filtration of 3.54 mm Al and with the electric field strength in the chamber of 100 V/cm,

Table 2 : Correction factors for the medium chamber of Gent.

| Tube tension (kV) | 50 | 100 | 100 | 120 |
|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Filtration | | | | |
| inherent (mm Be) | 1.0 | 2.2 | 2.2 | 2.2 |
| addit. (mm Al) | 4.00 | 2.00 | 3.54 | 4.00 |
| K_a | 1.0059 ± 0.0007 | 1.0060 ± 0.0003 | 1.0051 ± 0.0004 | 1.0042 ± 0.0001 |
| K_r | - | - | 1.0006 ± 0.0010 | - |
| K_s | - | 1.0017 ± 0.0008 | - | - |
| K_e (calc) | 1.0000 | 1.0009 | 1.0009 | 1.0033 |
| K_{sc} (calc) | - | 0.9981 | 0.9981 | - |

normally used. It turned out that K_r , generally very low, could be neglected as the uncertainty (1 ‰) on the correction was larger than the correction itself (0,6 ‰). The K_r values for the RIVM standards published earlier (ref. 3) show that also in this case K_r can be neglected.

Ion losses in free-air ionization chambers can be due to volume recombination (recombination between ions produced by different ionizing particles) and initial recombination (recombination between ions produced by the same ionizing particle in close proximity to one another). It has been shown previously (ref. 6) that for sufficiently high collecting field strength E and not too large ionization currents initial recombination is dominant and that the ion losses are proportional to $1/E$. In our experiments the ionization current for 1 cm of collecting plate width was 1.8 pA/cm. Niatel (ref. 6) showed that for this current the initial recombination term is already six times larger than the volume recombination term for a relatively low field of 38.9 V/cm. In view of our working conditions, 100 V/cm, K_s was determined by measuring the ionization current I as a function of the collecting field in the range 67-250 V/cm. Plotting I versus $1/E$ the intersection of the least squares fit to the data with the I -axis yields the saturation current I_s and allows the calculation of K_s . We

obtained for the standard of Gent using a collecting field of 100 V/cm a value of 1.0017 ± 0.0008 for K_s . As the ion losses due to initial recombination are independent of the ionization current we have assumed that this value for K_s holds for all the used X-ray qualities. The values for the small and large RIVM standards were reported earlier (ref. 3) and amount to 1.000 ± 0.0001 and 1.0010 ± 0.001 respectively.

The correction for the primary electron dissipation in the collector and HV plates, K_e , for the standard of Gent was calculated based on the early work of Wyckoff and Attix (ref. 7). They presented the loss of ionization beyond different radii for a number of X-ray qualities. In the work of these authors a 100 kV beam with a total filtration of 4 mm Al was used. In view of the 100 kV X-ray qualities, used in our calibration experiments, with total filtration of 3.5 and 5 mm Al an adoption of the data of Wyckoff and Attix for the calculation of K_e for these qualities is very reasonable. This calculation was done by numerical integration taking into account the beam-collector plates geometry. A value of 1.0009 for K_e was obtained. For the 120 kV quality an interpolation between the 100 and 150 kV curves of the ionization loss published in ref. 7 was used. In this way we obtained for the 120 kV quality for the standard of Gent $K_e = 1.0033$. For the large RIVM standard, used in the experiments with a tube tension of 100 and 120 kV, a correction for electron dissipation K_e was not necessary. On the contrary K_e is 1.005 for the used 50 kV quality for the small RIVM standard while this correction can be neglected in this case for the free-air chamber of Gent.

Taking into account the thickness of the tungsten beam defining diaphragm, 4.98 mm, and the 10 mm thick shielding diaphragm made of lead and mounted at the front of the chamber, the aperture and wall transmission corrections K_1 and K_p are negligible for the standard of Gent. For this calculation the mass attenuation coefficients were taken from the tables of Storm and Israel (ref. 8). For the RIVM standards K_1 and K_p are also 1.0000.

The correction for the contribution of the secondary photons scattered in air, K_{sc} , was also deduced from the work of Wyckoff and Attix (ref. 7), as outlined by these authors. The value of K_{sc} , 0.9981, derived for the 100 kV qualities, can also be adopted for the other used qualities as the secondary photon contribution is only slightly energy dependent. The values of K_{sc} for the RIVM standards were determined experimentally earlier and are listed in ref. 3.

Finally the corrections for humidity K_h and for field distortions K_d were taken to be unity.

The final results of the comparison between the standards of the RIVM and the free-air chamber of the standard dosimetry laboratory of Gent for the soft X-ray region, performed in Bilthoven, are summarized in table 3.

Table 3 : Results of the RIVM-Gent comparison

| Tube tension (kV) | HVL (mm Al) | $\frac{X_{RIVM}}{X_{GENT}}$ | $\sigma_{lin.}$ | $\sigma_{quad.}$ |
|-------------------|----------------|-----------------------------|-----------------|------------------|
| 50 | 2.266 | 1.003 | 0.005 | 0.003 |
| 100 | 2.886 | 1.005 | 0.005 | 0.003 |
| 100 | 4.103 | 1.005 | 0.006 | 0.003 |
| 120 | 5.154 | 1.004 | 0.006 | 0.003 |

This table shows very good agreement between the exposures measured with the free-air ionization chambers of both institutes. As in this first comparison the important correction factors were not determined for every used X-ray quality, a very complete error analysis was not performed. The uncertainties quoted in the table can be considered as upper limits. The overall uncertainties obtained by linear and quadratic summation of the different contributions, respectively σ_{lin} and σ_{quad} , are given separately. Beside the statistical errors on the measured exposures, a contribution of 1 ‰ on the ratio of the volumes of the standards and the uncertainties on the correction factors were taken into account. For the total contribution introduced by the correction factors K_e and K_{sc} for the primary electron loss and the scattered photons an upper limit of 1 ‰ was adopted in view of the size of these correction factors and the data of ref.7, used for the calculation of K_e and K_{sc} .

Although the differences between the exposures measured with both standards have the size of the given uncertainties, the values for the exposure obtained with the RIVM standard are systematically higher. It is interesting to mention that in the comparison between the BIPM and RIVM

standards at the BIPM the following values for the ratio of the exposures $X_{\text{BIPM}}/X_{\text{RIVM}}$ were obtained : 1.0052 for 50 kV, 0.9929 for 100 kV and 0.9980 for 135 kV.

As already mentioned tests were also performed with a 60 kV ISO wide spectrum with a filtration of 0.3 mm Cu in addition to 4 mm Al. For a beam defining diaphragm with diameter of 5 mm only the small focus of the X-ray tube can be used, causing a limitation of the current to 4.5 mA. For this strongly filtered 60 kV quality the leakage current of the chamber of Gent under the measuring conditions is of the order of 1 % of the ionization current, which is too high to allow accurate measurements. However the first results indicate also a good agreement between the large RIVM standard and the standard of Gent : $X_{\text{RIVM}}/X_{\text{GENT}} = 0.988 \pm 0.013$. This value is very preliminary as the corrections for the recombination loss and the scattered photon contributions are not taken into account. The comparison for the strongly filtered 60 kV quality will be repeated using a larger beam defining diaphragm with a diameter of 9.995 mm, allowing the use of the large focus of the X-ray tube. For these measurements the guard strip system of the standard of Gent has to be rebuilt as a larger aperture for the beam is necessary.

6. CONCLUSION

The results presented here show that the medium free-air chamber for the soft X-ray region of the standard dosimetry laboratory of Gent is suitable for accurate exposure measurements of X-ray qualities in the 50-120 kV region. The differences between the exposures measured with this standard and the primary RIVM standards are of the order of the uncertainties on the measured exposure ratios : 5 ‰. For strongly filtered spectra small modifications of the chamber will be carried out to increase the accuracy of the exposure measurements.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the National Fund for Medical Research. Thanks are expressed to Dr. K.E. Duftschmid, Institute for Radiation Protection, Seibersdorf, Austria, for providing the detailed plans of the free-air ionization chambers. The authors wish to thank Mr. J. Huyghe for constructing the standard. Finally thanks are also due to Mr. S. Andela and Mr. C.J. Hogenbirk for their technical assistance during the measurements at the RIVM in Bilthoven.

REFERENCES

1. O. Segaert, *Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming*, vol. 8, nr. 4 (1983) 275.
2. K.E. Duftschmid, Institute for Radiation Protection, Seibersdorf, Austria (private communication).
3. G.H. Hofmeester and A. Somerwil, *Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming*, Vol. 1, nr. 4 (1976) 317.
4. Report CCEMRI (I)/79-2, Bureau International des Poids et Mesures.
5. Norme Internationale ISO 4037-1979 (F), 5.
6. M.T. Niatel, *Phys. Med. Biol.*, vol. 12, nr. 4 (1967) 555.
7. H.O. Wyckoff and F.H. Attix, *National Bureau of Standards (US) Handbook 64* (1957).
8. E. Storm and H. Israel, report LA-3753, Los Alamos Scientific Laboratory.

SAMENVATTING

Er wordt een beschrijving gegeven van de vrije-lucht ionisatiekamer, gebouwd in het Laboratorium voor Standaarddosimetrie van Rijksuniversiteit Gent, voor absolute metingen van de exposie in het gebied van zachte X-stralen. Een directe vergelijking tussen deze kamer en de primaire exposiestandaarden van het RIVM in Bilthoven, Nederland, voor 50-120 kV X-stralen werd uitgevoerd in dit laatste instituut. De noodzakelijke correctiefactoren werden experimenteel bepaald of berekend. De verschillen tussen de exposiewaarden gemeten met de standaarden van het RIVM en Gent zijn 5 % of kleiner voor al de gebruikte X-stralen kwaliteiten.

RESUME

Les auteurs décrivent une chambre à ionisation à plaques parallèles construite au laboratoire de dosimétrie d'étalonnage de l' Université de l'Etat de Gand pour des mesures absolues de l'exposition dans la région des rayons X mous. Une comparaison directe entre cette chambre et les étalons d'exposition du RIVM à Bilthoven, Pays-Bas, a été faite à cet institut pour les rayons X de 50-120 kV. Les corrections nécessaires ont été déterminées expérimentalement ou ont été calculées. La différence entre les étalons d'exposition du RIVM et de Gand est inférieure à 5 % pour toutes les qualités de rayons X considérées.

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird ein Beschreibung gegeben von eine Freiluft-Parallelplatten-Ionisationskammer, gebaut in das Standard-Dosimetric Laboratorium der Universität Gent, für die Absolutmessung von Ionendosisleistung von Röntgenstrahlung. Diese Kammer wird direkt verglichen mit die Standard-messkammern des RIVM in Bilthoven für Röntgenstrahlung im Energiebereich von 50-120 kV. Die benötigten Korrektionsfaktoren werden gemessen oder berechnet. Die differenz zwischen die Standards für Ionendosisleistung des RIVM und von Gent lag immer 0,5% im gansem Energiebereich.