

**Annalen
van
de Belgische Vereniging
voor
Stralingsbescherming**

VOL. 8 N° 4

4^e TRIM. 1983

Driemaandelijkse
periodiek

Periodique
trimestriel

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

Hoofdredacteur

Dr M.H. FAES

Rédacteur en chef

S.C.K./C.E.N.
2400 Mol

Redactiesecretariaat

Mme Cl. STIEVENART

Secrétaire de rédaction

14, rue Juliette Wytzmanstraat,
1050 Bruxelles - Brussel.

Publikatie van teksten in de Annalen
gebeurt onder volledige verantwoorde-
lijkheid van de auteurs.

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

INHOUD

Dit nummer bevat :

- teksten van uiteenzettingen gedaan op 22 april 1983 ter gelegenheid van een vergadering van de B.V.S. met als thema :

IJKINGSTECHNIEK IN STRALINGS-
BEVEILIGING.

- J. GARSOU :

Remarques pratiques sur la comparaison des réponses au ^{60}CO de chambres d'ionisation entre elles et avec le dosimètre de Fricke.

255 - 264

- L. GHOOS :

Intervergelijkingen voor personendosimeters georganiseerd door de C.E.G., gebruikte grootheden.

265 - 274

- O. SEGAERT :

Dosimetrie, noodzaak, evolutie en vooruitzichten.

275 - 280

- S. BONOTTO, G. ARAPIS, G.B. GERBER and R. KIRCHMANN :

Biological effects of tritium on the unicellular green algae *Acetabularia*, *Chlamydomonas* and *Dunaliella*.

281 - 292

SOMMAIRE :

Ce numéro contient :

- des textes d'exposés faits le 22 avril 1983 lors d'une réunion de l'A.B.R., ayant pour thème :

TECHNIQUES D'ETALONNAGE EN
RADIOPROTECTION.

Annales de l'Association Belge de Radioprotection, vol. 8, n° 4 (1983).

REMARQUES PRATIQUES SUR LA COMPARAISON DES REPOSES AU ^{60}Co
DE CHAMBRES D'IONISATION ENTRE ELLES ET AVEC LE DOSIMETRE
DE FRICKE

J. GARSOU, Agrégé

Service de Radiothérapie (Professeur J. CLOSON)
Service de Contrôle Physique des Radiations
Université de Liège

22 avril 1983.

RESUME

Les effets des dimensions de champ, de la profondeur dans un milieu diffusant, des conditions de rayonnement diffusé sur la dose absorbée mesurée par dosimètre de Fricke ou par chambres d'ionisation, soit de type dé, soit à parois plans parallèles dans un champ gamma de ^{60}Co ont été approchés avec les instruments disponibles dans un service de radiothérapie.

Il peut s'en déduire que la comparaison chambre d'ionisation - dosimètre de Fricke s'affranchit au mieux des effets de dimensions de champ dans des conditions de milieu offrant l'intensité maximale de rayonnement diffusé.

La chambre d'ionisation reste l'instrument de dosimétrie le plus utilisé : elle est de règle étalonnée dans l'air.

Pour la détermination de la distribution de dose absorbée applicable au calcul d'un traitement de radiothérapie, cette chambre explore la variation de la dose dans un milieu condensé : eau, polystyrène, plexiglas.

La lecture de la chambre doit être convertie en dose absorbée par exemple dans l'eau : cette conversion suppose de connaître le spectre d'énergie du rayonnement aux différents points de mesure ainsi que la réponse de la chambre aux diverses énergies de rayonnements.

Comme le spectre d'énergie n'est pratiquement jamais connu aux divers points de mesure, la conversion de la lecture de la chambre en dose absorbée peut s'effectuer à première vue de façon aisée en comparant la lecture de la chambre à celle d'un dosimètre de dose absorbée, tel le dosimètre de Fricke, placé au même endroit.

Le dosimètre de Fricke sert alors de dosimètre de référence : sa réponse mesurée par le rendement G d'oxydation des ions Fe^{++} augmente de façon monotone de 12,5 à 5 keV à 15 ions par 100 eV absorbés à 1,25 MeV (1,2).

Par ailleurs des comparaisons de réponses peuvent être réalisées entre chambres d'ionisation données.

Dans l'un et l'autre cas, les comparaisons dosimétriques intéressent des systèmes caractérisés par des réponses propres, en fonction de l'énergie du rayonnement. Notre propos est de montrer que l'influence de paramètres pratiques d'irradiation (telle que la surface du champ et l'environnement diffusant du point de mesure) peut être mise en évidence, ne serait-ce même qu'avec les moyens dosimétriques disponibles dans un service de radiothérapie et le temps restreint d'accessibilité des

sources de radiation :

- sur la comparaison de la dose absorbée dérivée d'une mesure d'ionisation par chambre et de la dose absorbée du dosimètre de Fricke
- sur la comparaison de lectures de chambres données.

Pour la conversion de la lecture d'une chambre d'ionisation donnée en dose absorbée, nous sommes forcément obligés, faute de mieux, de nous limiter à ne faire intervenir que le facteur d'étalonnage dans l'air relatif à la chambre en question pour les photons γ du ^{60}Co , et de façon constante un facteur de déplacement de 0,985 pour les chambres Baldwin et NPL, une valeur de 0,965 pour le rapport des coefficients massiques d'absorption en énergie dans l'eau et l'air.

Nous nous intéressons également dans notre étude à une chambre pour rayons X mous de structure à plans parallèles reposant sur base plastique au contraire des chambres-dés Baldwin ou NPL de façon à faire éventuellement apparaître une particularité de comportement due à sa structure.

MATERIEL EXPERIMENTAL

Le faisceau gamma de la bombe à ^{60}Co Picker C8M/80 du service de Radiothérapie est intercepté à 48 cm de la source par un fantôme d'eau du NPL ou de plexiglas.

Comme dosimètres nous utilisons :

1. une chambre étalon-secondaire du NPL NE-2501
2. deux chambres Baldwin de $0,6 \text{ cm}^3$ NE-2505/3 numérotées 454 et 1112
3. une chambre pour rayons X mous de $0,3 \text{ cm}^3$ NE 2536/3
4. des ampoules de dosimètre de Fricke préparées et lues par nos soins.

Les doses absorbées dérivées des mesures faites à l'aide de ces instruments sont renseignées par les abréviations respectives suivantes : D ch NPL, D ch 454, D ch 1112, DXm, D Fricke.

PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Les doses absorbées dérivées des mesures d'ionisation ont été comparées aux doses absorbées

1. mesurées par dosimètre de Fricke
2. dérivées de mesures à l'aide de la chambre étalon-secondaire du NPL

respectivement :

- a) à 2 cm de profondeur dans l'eau d'un fantôme NPL
- b) à 2 cm de profondeur d'un bloc de 3 cm d'épaisseur de plexiglas.

RESULTATS

Ces rapports de doses absorbées sont donnés par les tableaux I et II (la reproductibilité des lectures est de 0,5 %) : leur examen conduit aux constatations suivantes.

1. Les rapports de doses absorbées, dérivées des mesures d'ionisation et des doses absorbées mesurées par dosimètre de Fricke :
 - a. présentent des variations aléatoires en fonction des dimensions du champ lorsque chambre d'ionisation et dosimètre de Fricke sont irradiés en pleine eau : la plage de variation des rapports de dose est de 0,85 à 1,6 % (nous avons pu voir par ailleurs que cette variation aléatoire du rapport de ces doses absorbées se reproduisait à toute profondeur dans l'eau);
 - b. diminuent quand le champ augmente lorsque chambre d'ionisation et dosimètre de Fricke sont irradiés en l'absence d'élément rétrodiffuseur; la plage de variation des rapports de dose est ici nettement plus élevée : de 4 à 4,5 % pour les chambres-dés, 2,7 % à peine pour la chambre à rayons X mous qui dispose d'une base plastique.
2. Les rapports des doses absorbées, obtenues par chambre-dé et par chambre NPL, présentent des variations aléatoires en fonction des dimensions de champ, dans les deux dispositifs expérimentaux, ces variations étant inférieures au %. Les rapports des doses absorbées obtenues par chambre

à rayons X mous et par chambre NPL augmentent avec les dimensions du champ tant en cuve pleine qu'en cuve vide et l'ampleur de la variation est du même ordre de grandeur (1,7 - 1,8 %).

CONCLUSION

La comparaison de deux chambres de même type n'est pas influencée notablement par les dimensions du champ en présence ou absence d'élément rétrodiffuseur, mais dans le cadre d'une comparaison d'une chambre à rayons X mous à parois plans parallèles avec une chambre-dé, l'augmentation des dimensions du champ entraîne une augmentation relativement plus élevée de la lecture de la chambre à rayons X mous et par conséquent, une augmentation du rapport des doses absorbées en cause.

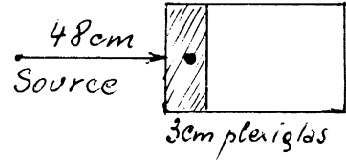
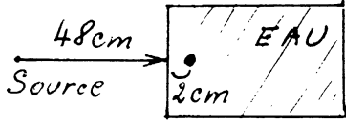
REMARQUES

1. L'utilisation du dosimètre de Fricke comme dosimètre de transfert dans une comparaison dosimétrique requiert que le fantôme utilisé assure le maximum de rayonnement diffusé au point de mesure.
2. Dans la pratique du tracé de la distribution de dose absorbée dans une coupe d'organisme à irradier, l'application de cartes de courbes d'isodoses établies dans une cuve d'eau de dimensions englobant l'entièreté du volume pouvant y être irradié, est sujette à corrections plus ou moins importantes si la coupe est de dimensions nettement plus faibles.
3. Si des travaux récents mettent l'accent sur les différences qu'il est possible de constater entre les étalonnages de chambres d'ionisation dans l'eau et dans l'air (3, 4, 5), leurs conclusions n'altèrent en rien nos résultats relatifs aux comparaisons dosimétriques de chambres de même type.

N.B.

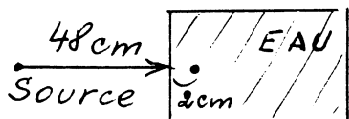
Ce travail est basé sur la référence (6) dont il corrige certains tableaux.

TABLEAU I.

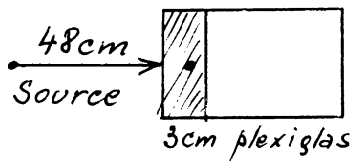


Champ	DchNPL D Fricke	Dch454 D Fricke	Dchl112 D Fricke	DXm D Fricke		
6 x 6	1,008	1,0045	1,0045	1,000	} Variation } aléatoire }	
10 x 10	0,995	0,998	0,9915	0,991		
15,6 x 15,6	0,997	0,996	1,001	1,007		
	1,3 %	0,85 %	1,3 %	1,6 %	} plage de } variation : } faible	
<hr/>						
6 x 6	1,010	1,007	1,012	1,051	↓ diminution } plage de } variation : } nettement plus } élevée	
10 x 10	0,977	0,973	0,974	1,026		
15,6 x 15,6	0,967	0,967	0,967	1,023		
	4,3 %	4 %	4,5 %	2,7 %		
<hr/>						
Contribution du rayonnement diffusé au point de mesure	6 x 6	-0,002	-0,0025	-0,0075	-0,051	}
	10 x 10	+0,018	+0,025	+0,0175	-0,035	
	15,6 x 15,6	+0,030	+0,029	+0,034	-0,016	

TABLEAU II.



Champ	$\frac{D_{ch454}}{D_{chNPL}}$	$\frac{D_{ch1112}}{D_{chNPL}}$	$\frac{DX_{mous}}{D_{chNPL}}$
6 x 6	0,9965	0,9965	0,9921
10 x 10	1,003	0,9965	0,996
15,6 x 15,6	0,997	1,004	1,010



6 x 6	0,997	1,002	1,041
10 x 10	0,996	0,997	1,050
15,6 x 15,6	1	1	1,058

Contribution
du rayonnement
diffusé au
point de mesure

6 x 6	-0,005	-0,0055	-0,05
10 x 10	+0,007	-0,0005	-0,06
15,6 x 15,6	-0,003	+0,004	-0,05

REFERENCES :

- {1} INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS :
Radiation dosimetry - X rays and gamma rays with maximum
photon energies between 0,6 and 50 MeV - Report 14 (1969).
- {2} INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS :
Radiation dosimetry - X rays generated at potentials of 5
to 150 kV - Report 17 (1970).
- {3} GRANT, W.H., III, CUNDIFF J.H., GAGNON W.F., HANSON W.F.,
SHALEK W.F., Calibration in water versus calibration in air
for Cobalt-60 γ rays. Medical Physics, 4, 1 (1977) 68.
- {4} BERKLEY L.W., GAGNON W.F., HANSON W.F., WEAVER K.A.,
SHALEK R.H., A review of the discrepancy between the in-air
and in-water calibration of cobalt-60 machines. Medical
Physics, 7, 5 (1980) 520.
- {5} CUNNINGHAM J.R., SONTAG M.R., Displacement corrections
used in absorbed dose determination. Medical Physics, 7, 6
(1980) 672.
- {6} GARSOU J., Effet du rayonnement diffusé sur le rapport des
doses absorbées dérivées de mesures d'ionisation et obtenues
par dosimètre de Fricke. National and International Standar-
dization of radiation dosimetry. Proceedings of a Symposium
Atlanta 5-9 déc. 1977. AIEA Vienna II, (1978) 301.

SUMMARY.

The influences of field size, depth in scattering medium, conditions of scattered radiation on the absorbed dose measured by Fricke dosimeter or by ionization chambers either of thimble type or of parallel plane walls in a ^{60}Co gamma ray field have been approached with the instruments available in a radiotherapy department.

It can be deduced that the comparison ionization chamber-Fricke dosimeter is least affected by field size in medium conditions affording maximum intensity of scattered radiation.

SAMENVATTING.

De invloed van de veldafmetingen, van de diepte in een diffuserend milieu en van de eigenschappen van de gediffuseerde straling op de geabsorbeerde dosis gemeten met een Fricke dosimeter of met ionisatiekamers hetzij van het vingerhoed type hetzij met evenwijdig vlakke wanden werden in een ^{60}Co gamma veld onderzocht d.w.z. met instrumenten beschikbaar in een radiotherapie afdeling.

Er kan hieruit afgeleid worden dat de vergelijking ionisatiekamer-Fricke dosimeter voor wat betreft de invloed van de veldafmetingen het kleinste verschil toont bij milieu karakteristieken die een maximale intensiteit aan gediffuseerde straling veroorzaken.

ZUSAMMENFASSUNG.

Der Einfluß der Abmessungen eines Strahlenfeldes, der Tiefe im Streumedium und der Eigenschaften der Streustrahlung auf die mit Fricke Dosimeter oder Ionisationskammern (sowohl Fingerhut-Typ als auch plan paralleler Wand-Typ) gemessenen absorbierten Dosen in Einem ^{60}Co -gamma Strahlenfeld ist mit Hilfe von Instrumenten, die in einer radiotherapeutischen Abteilung zur Verfügung stehen, untersucht worden.

Hieraus kann abgeleitet werden, daß der Vergleich Ionisationskammer-Fricke-Dosimeter bezüglich des Einflusses der Strahlenfeldabmessung den kleinsten Unterschied zeigt für Umgebungseigenschaften, die eine maximale Intensität der Streustrahlung verursachen.

Annalen van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming, vol. 8, n°4 (1983).

INTERVERGELIJKINGEN VOOR PERSONENDOSISMETERS
GEORGANISEERD DOOR DE C.E.G., GEBRUIKTE GROOTHEDEN

Ghoos L.
S.C.K./C.E.N.
Boeretang 200
2400 Mol

22 april 1983.

SAMENVATTING

In een eerste gedeelte worden enkele beschouwingen gewijd aan de overgang van exposie - grootheid gebruikt bij de kalibratie van het stralingsveld - naar equivalent dosis-grootheid van belang in de stralingsbescherming. In een tweede gedeelte wordt de intervergelijking van dosimeters besproken voor fotonen en die door de Kommissie der Europese Gemeenschappen werd georganiseerd in de jaren 1981-1982. Een samenvatting dezer resultaten wordt gegeven zowel voor de deelnemende filmdosimeters als voor de thermoluminescente.

I. Inleiding

In de loop der jaren heeft de Kommissie der Europese Gemeenschappen regelmatig intervergelijkingen georganiseerd voor personendosimeters. Bij dergelijke intervergelijkingen worden de dosimeters der deelnemers in verschillende laboratoria bestraald op een voor hen onbekende dosis met straling van eventueel voor hen onbekende energieën of mengeling ervan. De deelnemers worden pas in kennis gesteld van de bestralingsvoorwaarden nadat ze zelf hun resultaten reeds kenbaar maakten. Het nut van een intervergelijking wordt bepaald door het doel dat de deelnemer zelf zich stelt : ofwel wil hij gewoon zien hoe zijn dosimetriesysteem zich in routine gedraagt, ofwel gebruikt hij de resultaten vooral voor het op punt zetten van een ontwerp of spelen nog andere beschouwingen een rol zoals het harmoniseren der meetmethoden van verschillende instituten.

De intervergelijkingen door de Commissie der Europese Gemeenschappen in de afgelopen jaren georganiseerd, waren zeer verscheiden. Niet alleen de aard der gebruikte stralen was verschillend : fotonen, neutronen en betas maar ook de energie was sterk variërend. Eveneens was de omvang van de intervergelijkingen niet altijd dezelfde : vooraleer een intervergelijking door te voeren op grote schaal kan het gebeuren dat er eerst een pilootstudie gebeurt met een beperkt aantal deelnemers. Wat echter alle intervergelijkingen van personendosimeters voor fotonen met elkaar gemeen hadden, tot in 1980, was het feit dat alle bestralingen steeds gebeurden met de dosimeters opgehangen in vrije lucht. In 1980 werd een zeer beperkt pilootexperiment doorgevoerd waarbij de dosimeters niet alleen in vrije lucht bestraald werden, maar eveneens op fantoom.

II. Expositie en geabsorbeerde dosis

Waarom deze wijziging ?

Bij het gebruik van film gebeurt de bepaling der dosis op zeer onrechtstreekse wijze : via de gebruikte filters bepaalt men de aard en de energie van de ingewerkte straling ; de kennis van deze energie laat toe korrektiefactoren te bepalen die toelaten de hoeveelheid straling te berekenen overeenkomstig aard en energie. De aard en de energie bepalen dan tot welke diepte in het menselijk lichaam de straling moet beschouwd worden. De hoeveelheid straling wordt afgeleid via een kalibratie die zich steunt op metingen van de expositie. De biologische dosis uitgedrukt in mrem wordt dan bereikt door al of niet de waarde, bekomen op de film, te vermenigvuldigen met 0,965, zijnde de energie geabsorbeerd in weefsel en uitgedrukt in rad voor een expositie van 1 roentgen t.g.v. ^{60}Co . Voor de konversie van geabsorbeerde dosis naar biologische dosis wordt de faktor 1 genomen.

Door het gebruik van thermoluminescente materialen in de personen-dosimetrie is het mogelijk geworden weefselequivalente materialen te gebruiken. Het gebruik van deze materialen laat toe een rechtstreekse bepaling te doen van de dosis geabsorbeerd in weefsel op bepaalde diepten in het lichaam, die als kritisch ervaren worden.

Voor huid en ledematen, voor de ooglens, de gonaden en diepliggende organen werden maximaal toelaatbare doses opgelegd. De rechtstreekse

bepaling van de equivalent dosis voor elk van deze organen is meestal onmogelijk. Daarom worden meestal slechts twee waarden beschouwd : deze van de oppervlakte- en deze van de dieptedosis (art. 86 van ICRP 35). Voor fotonen met energie tussen 0,05 en 3 MeV is de maximale equivalent dosis voor de meerderheid der invallende fotonen bereikt op een diepte in de omgeving van 1 cm in het lichaam. De dosis op deze diepte is dus niet ver van de equivalent dosis voor diepliggende organen of overschat deze. Een dosismeter zal de twee waarden (oppervlakte- en dieptedosis) rechtstreeks moeten kunnen meten. In overeenstemming met artikel 14 van ICRP 35 moeten wij ons echter de vraag stellen of deze rechtstreekse meting inderdaad het "juiste antwoord" geeft wanneer de dosismeter op het lichaam gedragen wordt in een gekend stralingsveld van fotonen : wij moeten het verband kennen dat bestaat tussen het meetresultaat en de kwalitatieve aanbeveling van ICRP.

Om dit na te gaan moeten wij weten wat de dosis is geabsorbeerd door weefsel op een bepaalde diepte wanneer een fantoom in dat gekend stralingsveld geplaatst wordt. Deze dosis kan door Monte-Carlometode berekend worden of kan gemeten worden door gebruik te maken van zeer dunne weefselequivalente dosimeters. Beide methoden zijn moeilijk en omvangrijk en ze kunnen dus niet gemakkelijk door elk instituut gebruikt worden. De controle echter op het "juiste antwoord" van de dosismeter zou gemakkelijk zijn, wanneer wij weten hoe de dosis geabsorbeerd in een fantoom zich verhoudt tot een parameter van het stralingsveld, die gemakkelijk meetbaar is. Een parameter van het stralingsveld die gemakkelijk meetbaar is, is natuurlijk de exposie in vrije lucht op de plaats waar het fantoom zich zal bevinden. Elk instituut, dat dosimetrie bedrijft, beschikt over een ionisatiekamer. Het volstaat dat het instituut de ionisatiekamer regelmatig ijkt in een primair standaard laboratorium in termen van exposie in vrije lucht.

F_c heten wij de "konversiefactor" die de exposie in vrije lucht op een bepaalde plaats omzet in dosis geabsorbeerd op een bepaalde diepte in het fantoom, dat zich op die plaats zou bevinden. F_c is afhankelijk van verscheidene factoren :

- de omvang, richting en fotonen spektrum van het stralingsveld
- het fantoom (omvang, vorm, materiaal : de ICRU-sfeer wordt genomen)
- de diepte in het fantoom
- de invalshoek.

De waarden van deze konversiefactor liggen niet definitief vast ; de tabel die wij geven is een voorbeeld van bestaande data.

In deze tabel zijn de waarden opgenomen van konversiefactoren die zich toepassen op twee verschillende gevallen :

C_{XL} (rem R^{-1}) : de exposie is gemeten in vrije lucht en de dosimeter is bestraald op fantoom

C_{XF} (rem R^{-1}) : de exposie is gemeten op de gewenste diepte in het fantoom en de dosimeter is bestraald op fantoom.

Konversiefactoren om de equivalent dosis (of geabsorbeerde dosis) te bepalen vanuit de exposie (rem R^{-1})

fotonen energie MeV	C_{XL}		C_{XF}	
	diepte dosis	oppervlakte dosis	diepte dosis	oppervlakte dosis
0,015	0,16		0,79	0,88
0,02	0,45		0,87	0,87
0,03	0,94		1,07	0,87
0,04	1,18		1,25	0,88
0,05	1,28		1,32	0,90
0,08		1,38		0,94
0,10		1,37		0,95
0,20		1,27		0,97
0,30		1,18		0,97
0,40		1,14		0,98
0,50		1,09		0,98
0,60		1,07		0,97
0,67		1,05		0,97
0,80		1,03		0,97
1,0		1,01		0,97
1,25		1,01		0,97
2,0		1,01		0,98
3,0		1,01		0,98

Ref. N 13.11 Draft American National Standard Criteria for testing personnel dosimetry performance (July 1978)

III. Intervergelijking 1981 - 1982

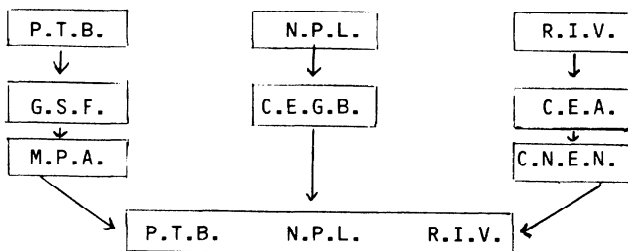
Organisatie

De bestralingsenergieën gebruikt voor de intervergelijking zijn de volgende :

- ^{60}Co
- X-stralen met gemiddelde energie 83 keV, HWD 1,16 mm Cu
28 % resolutie ; opgewekt bij 100 kV met als filter - 5,0 mm Cu en
- 4 mm Al
- een mengsel van de twee energieën.

De bestralingen met ^{60}Co en met X-stralen gebeurden zowel op dosimeters in vrije lucht als op dosimeters op fantoom bevestigd. De bestraling met het mengsel der twee energieën gebeurde enkel op dosimeters in vrije lucht. ^{60}Co is gekozen omdat het meest gebruikt wordt voor kalibratie. 83 keV was gekozen omdat in deze omgeving straling zijn maximum terugkaatsing bereikt wanneer het op weefsel invalt.

De dosissen werden toegedeeld in vijf laboratoria.



P.T.B.	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	West Duitsland
N.P.L.	National Physical Laboratory	Groot Brittannië
R.I.V.	Rijksinstituut voor de Volksgezondheid	Nederland
G.S.F.	Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung	West Duitsland
M.P.A.	Staatliches Materialprüfungsamt	West Duitsland
C.E.G.B.	Central Electricity Generating Board	Groot Brittannië
C.N.E.N.	Comitato Nazionale per l'Energie Nucleare	Italië
C.E.A.	Commissariat à l'Energie Atomique	Frankrijk

Wanneer dosimeters zullen bestraald worden in verschillende laboratoria, is het vooral noodzakelijk dat hun meetapparatuur onderling vergeleken wordt. Daar exposie, zoals vroeger vermeld, de gemakkelijkste meting is gebeurde deze vergelijking op de ionisatiekamers der bestralende laboratoria.

De Kommissie kontrakteerde drie primaire laboratoria (NPL, PTB en RIV) om een intervergelijking door te voeren van de dosimetrie met de vijf bestralende laboratoria. Tussen deze drie primaire laboratoria werden eveneens intervergelijkingen doorgevoerd. Op deze manier was eenzelfde numerische waarde gewaarborgd wanneer een bepaalde dosis werd toegediend. Aan de intervergelijking werd ten slotte deelgenomen door 29 instituten uit 9 landen der gemeenschap en uit Zwitserland ; deze 29 instituten stuurden in het totaal 36 dosimetersystemen in :

18 film
15 TLD
2 film + TLD
1 fosfaatglas.

Vooraleer de resultaten te bespreken is het nuttig even te wijzen op de aanbevelingen door de Kommissie uitgewerkt in verband met de controle op de uitwendige dosis van personeel (EUR 5287) :

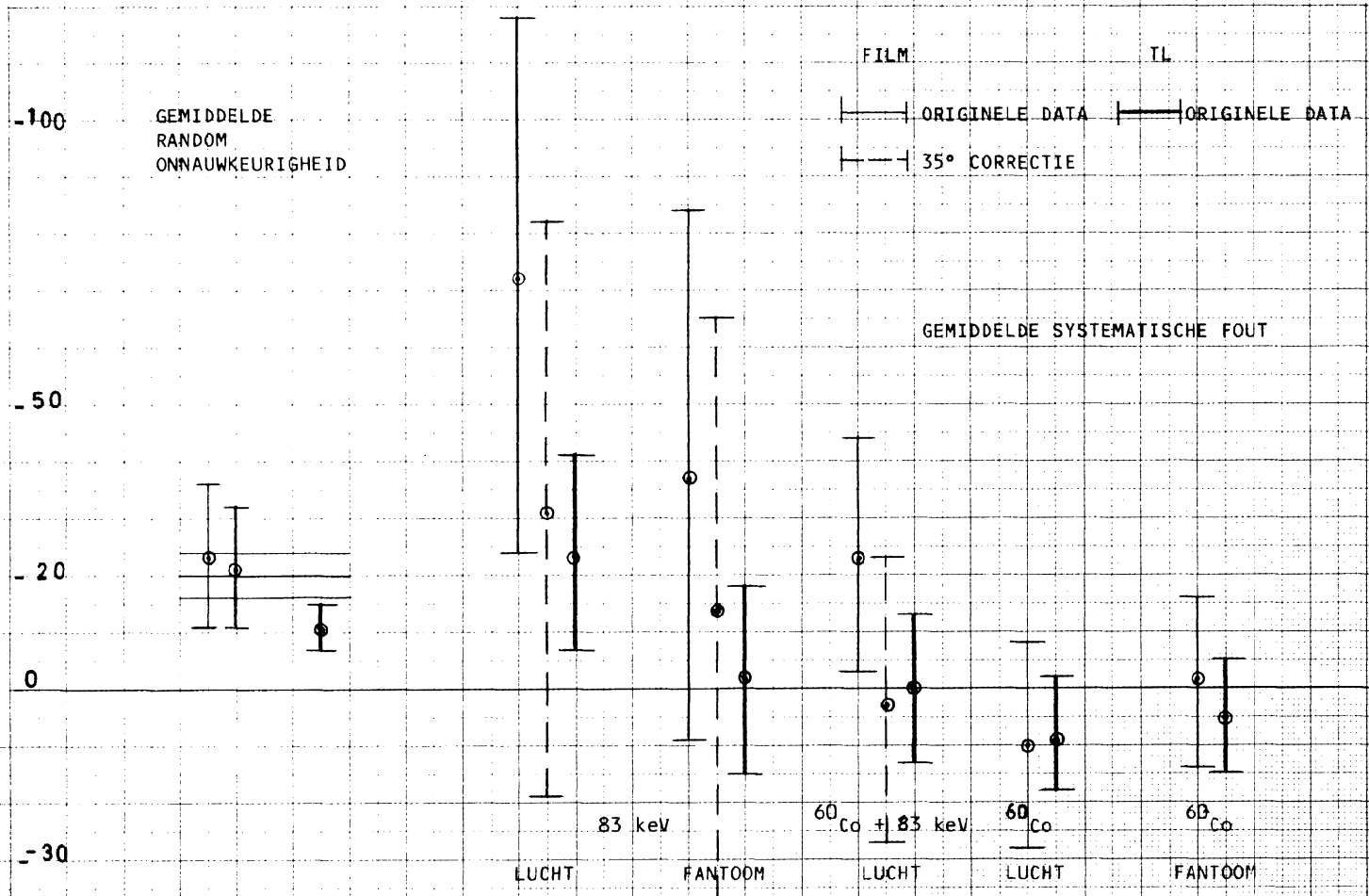
- reproduceerbaarheid : de onzekerheid op het resultaat van een enkele dosimeter zou niet hoger mogen zijn dan 20 % bij de 95 % betrouwbaarheidsgrens, voor dosissen die de dosislimiet benaderen voor de beschouwde periode
- nauwkeurigheid : de systematische fout zou niet hoger mogen zijn dan 40 % voor dosissen die de dosislimiet benaderen voor de beschouwde periode.

Beide aanbevelingen werden afgeleid van ICRP-publicatie 12, paragraaf 101 die stelt dat "de onzekerheid bij het schatten van de bovenste grenzen voor de jaarlijkse equivalentdosis over het ganse lichaam of over de organen niet hoger zou mogen zijn dan 50 %".

IV. Voorlopige resultaten

Door het gemiddelde te beschouwen en de standaarddeviatie van de systematische fout waargenomen voor elk type van bestraling, en door tevens het gemiddelde aan te duiden van de nauwkeurigheid der metingen geeft de figuur een goede vergelijking tussen filmdosimeters en thermoluminescente.

Deze figuur werd ten voorlopige titel voorgesteld door de Commissie der Europese Gemeenschappen op een seminarie waarop alle personen aanwezig waren die deelgenomen hadden aan een intervergelijking van individuele dosimeters bestraald met fotonen. De Commissie der Europese Gemeenschappen plant een publicatie met de definitieve resultaten van deze intervergelijking.



RESUME.

Dans une première partie, sont envisagées quelques modalités du passage de la grandeur d'exposition utilisée dans la calibration d'un champ de rayonnement à la grandeur de dose équivalente importante en radioprotection. Une deuxième partie consiste en un commentaire sur les résultats de la comparaison des dosimètres pour photons organisée par la Commission des Communautés Européennes dans les années 1981-1982. L'ensemble des résultats est donné aussi bien pour les dosimètres à film concernés que pour les dosimètres thermoluminescents.

ABSTRACT.

In a first part some considerations are given about the transfer from the exposure unit used for the calibration of the radiation fields to the equivalent-dose unit which is important in radiation protection. In a second part the intercomparison of dosimeters for photons organized by the Commission of the European Communities in 1981-1982 is commented. A description of the results is given not only for the concerned film dosimeters but also for the thermoluminescent dosimeters.

ZUSAMMENFASSUNG.

Im ersten Teil werden einige Überlegungen angestellt zum Übergang vom Expositionswert, der für die Kalibration eines Strahlenfeldes benutzt wird, zur Äquivalentdosis, die im Strahlenschutz von Bedeutung ist. Im zweiten Teil wird ein von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften in den Jahren 1981 bis 1982 organisierter Vergleich von Photonen-Dosismeßgeräten besprochen. Eine Zusammenfassung der für Film- und Thermoluminiszenz Dosismeßgeräte gefundenen Ergebnisse wird gegeben.

Annalen van Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming, vol. 8, n^o4 (1983).

DOSIMETRIE, NOODZAAK, EVOLUTIE EN VOORUITZICHTEN

Prof. O. SEGAERT Dr.Sc., B.Sc.Oxon

Rijksuniversiteit Gent

Laboratorium voor Standaarddosimetrie - Laboratorium voor Natuurkunde

Ledeganckstraat 35, 9000 GENT, België.

22 april 1983.

SAMENVATTING

De belangrijke bijdrage van de medische praktijk tot de stralingsbelasting van de bevolking, evenals de resultaten van het IAEA-WHO nauwkeurigheidsonderzoek bij dosimetrie, motiveert de oprichting van het primair ijklaboratorium evenals de noodzaak om : stralingskwaliteiten te normaliseren, de medische bestralingspraktijk te controleren en de dosimeters aan een wettelijke ijkverplichting te onderwerpen.

Radiotherapie en dosimetrie zijn onafscheidbaar met elkaar verwant. Sedert het beoefenen van de radiotherapie heeft de dosimetrie een bredere betekenis gekregen. Aanleiding daartoe waren de productie van nucleaire energie, het aanwenden van radioisotopen en van stralinggenererende apparatuur in industrie, bij wetenschap en bij uitbreiding van de medische praktijk.

In het bijzonder kreeg de dosimetrie de vereiste aandacht in het kader van de beveiliging van de bevolking en van de werknemers tegen de gevaren van de ioniserende stralingen, zoals blijkt uit de talrijke richtlijnen en wettelijke bepalingen die op dit gebied zijn gepubliceerd.

Er bestaan grondige redenen om de wettelijke bepalingen niet te beperken tot deze sektor. Uit een vergelijk van de verschillende oorzaken van stralingsbelasting blijkt dat deze toe te schrijven zijn :

voor 67,6 % aan natuurlijke stralingsbronnen,

0,15% aan nucleaire industrie,

0,6 % aan "fall-out",

0,45% aan stralingsbelasting van beroepshalve aan straling blootgestelde werknemers,

0,5 % aan andere diverse gebruiksvoorwerpen

en 30,7 % aan medische behandelingen

Uitgaande van de veronderstelling dat deze medische stralingsbelasting aanvaardbaar is en te verantwoorden is ten overstaan van "voordeel-nadeel"-criteria, behouden een aantal vragen hun betekenis :

- a) in hoeverre geschieden de bestralingen met de vereiste nauwkeurigheid ten overstaan van het te bereiken resultaat ?
- b) door welke parameters komt in de praktijk deze nauwkeurigheid in het gedrang ?

De drie beïnvloedende parameters hierbij van betekenis zijn :

- 1°) de bestralingsfaciliteit
- 2°) de dosimeter(s) en
- 3°) de correcte wijze waarop de bestralingspraktijk wordt beoefend.

1°) Bij de stralinggenererende apparatuur is de exposie afhankelijk van de "stralingskwaliteit" die bepaald is

- a) door de effectieve waarde van de ingestelde spanning
- b) in het bijzonder door de spectraaldistributie van de straling m.a.w. door de keuze van de filters
- c) door de stabiliteit en reproduceerbaarheid van de ingestelde hoogspanning, intensiteit en tijds marge.

Wegens de verscheidenheid in aard en constructie van de X-stralen lampen en de verscheidenheid van de stralingskwaliteit bij zelfde keuze van spanning en/of halfwaardedikte is het noodzakelijk

- a) de stralingskwaliteiten te normaliseren met referentie naar effectieve spanning en bijhorende filtering en aldus de spectraaldistributie te standardiseren.
- b) een calibratie van de uittredende bundel uit te voeren.

2°) Bij de dosimeters worden meerdere fysische verschijnselen gebruikt voor het meten van X- en Gammastraling; calorimetrische, chemische, fotografische, solid state verkleuring, fluorescentie effecten en andere. Sedert 1925 is de ionisatiekamer nog steeds de meest betrouwbare keuze op gebied van stabiliteit en reproduceerbaarheid. Nochtans kunnen twee identieke luchtgevulde ionisatiekamers met verschillend wandmateriaal, in eenzelfde stralingsveld, zeer verschillende waarden geven voor de gemeten ionisatiestroom. Dit wandeffect wordt volledig geëlimineerd in de vrije lucht ionisatiekamer. Dientengevolge wordt ze op internationaal vlak

aangenomen als primaire standaard. Het uitgangssignaal is uitsluitend afhankelijk van de ionisatie in lucht. Voor energiegebieden hoger dan 500 keV zijn daarnaast als primaire standaard aanvaard : de volgens norm geconstrueerde caviteitskamer en de calorimeter.

Dientengevolge moeten dosimeters, in gebruik bij toepassingen voor dewelke hoge eisen gesteld zijn aan nauwkeurigheid, worden geïjkt bij middel van primaire standaardapparatuur. Dergelijke dosimeters moeten voorzien zijn van een ijkcertificaat, uitgereikt door een primair ijklaboratorium.

3*) Aangezien de correcte wijze waarop de bestralingspraktijk wordt beoefend niet enkel wordt gewaarborgd door de beschikbaarheid over stralingsbundels die voldoen aan de normen en over dosimeters voorzien van een ijkcertificaat, is het noodzakelijk controle uit te oefenen op de nauwkeurigheid van de bestralingen in de eigenlijke praktijk.

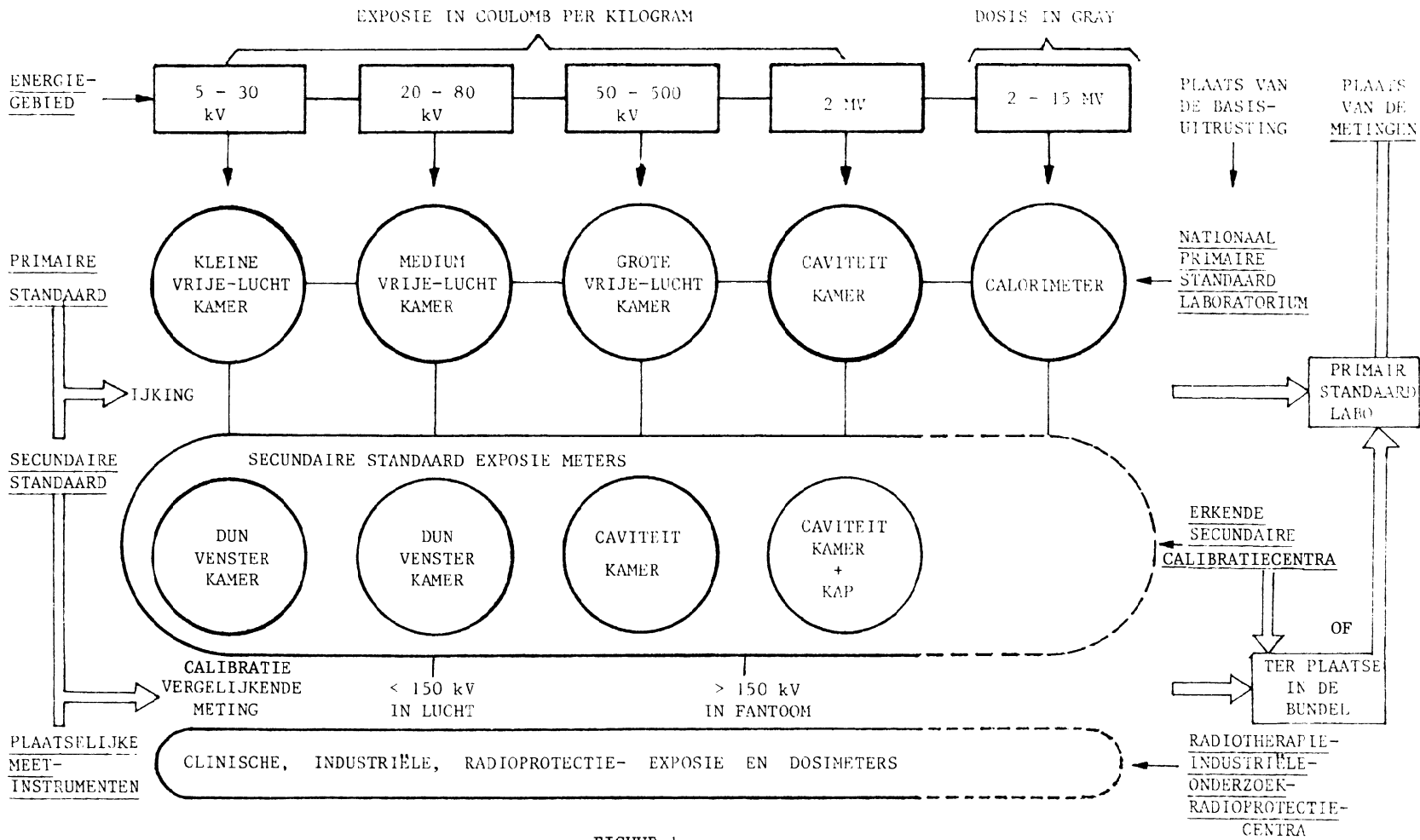
In de optiek van deze overwegingen werd voor de Centrale Dienst voor Fysische Controle en het Laboratorium voor Natuurkunde van de faculteit geneeskunde aan de Rijksuniversiteit te Gent, destijds onder eenzelfde directoraat, een speciale dunwandige bestralingsruimte gebouwd en werd verdere aandacht besteed aan de installatie van de nodige infrastructuur.

Medewerking wordt verleend aan de normen die door de internationale standardisatie organisatie worden opgesteld, om tegemoet te komen aan de gewenste eenvormigheid op het gebied van de stralingskwaliteiten.

In een publicatie van het Internationaal Atoom-energie Agentschap (IAEA) en de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) wordt gewezen op de vaststelling : "In vele landen wordt een stijgend aantal cobalt-60 therapie eenheden aangewend voor de behandeling van kwaadaardige gezwellen, terwijl de stralingsfysische aspecten (in het bijzonder de stralingsdosimetrie) van deze moderne behandelingsmethode niet in tred zijn gebleven met de ontwikkeling van de geneeskundige methoden". In verscheidene klinieken worden patiënten behandeld zonder dosimetrische controle, met als gevolg aanzienlijke onzekerheid omtrent de toegediende dosis.

De implicaties zijn duidelijk wanneer blijkt dat afwijkingen, van slechts 5 % in min of meer, bij bestralingen leiden tot klinisch waarneembare wijziging van het effect van de bestraling en dat de gunstige vooruitzichten voor de heling snel dalen met toenemende afwijking ten opzichte van de optimale stralingsdosis.

ABSOLUTE EXPOSITIE EN GEABSORBEERDE DOSIS CALIBRATIE CENTRA



FIGUUR 1.

Het bereiken van een nauwkeurigheid van $\pm 5\%$ steunt op het bekwaam gebruik van een precies geijkte dosimeter en op een diepgaande kennis van de basis-aspecten van de dosimetrie, zoniet kunnen ernstige bestralingsfouten optreden. In dit verband heeft een gezamenlijk IAEA-WHO onderzoek voor cobalt-60 geleid tot devolgende vermeldenswaardige resultaten : "dosimetrie-fouten van $\pm 10\%$ zijn gewoon, $\pm 20\%$ zijn niet zeldzaam en fouten van $\pm 50\%$ en meer worden occasioneel vastgesteld". In dezelfde publicatie hebben zij een oproep geadresseerd aan de regeringen van de lidstaten om deel te nemen aan de oprichting van de internationale WHO-IAEA-keten van ijklaboratoria.

Het Laboratorium voor Standaarddosimetrie behorende tot het Laboratorium voor Natuurkunde is sedertdien aanvaard geworden als belgisch partner van deze internationale keten van ijklaboratoria.

Als gevolg van deze oproep werd in een aantal deelnemende lidstaten een wet tot ijkverplichting gepubliceerd. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen ijkingen en vergelijkende metingen of calibraties die moeten uitgevoerd worden respectievelijk in het erkende primair standaardlaboratorium en in de erkende secundaire ijklaboratoria, in de verscheidene energiegebieden en met de uitrusting schematisch voorgesteld in figuur 1.

Het is wenselijk dat ook bij ons in België, lid van het IAEA en de WHO, op dit vlak de verdere initiatieven worden genomen. Ter tegemoetkoming zijn de vooruitzichten van aard, dat het Laboratorium voor Standaarddosimetrie (directeur-diensthofd Prof. Dr. O. SEGAERT) en de Centrale Dienst voor Fysische Controle (diensthofd Dr. Sc. R. JACOBS), respectievelijk als primair ijklaboratorium en als secundair ijklaboratorium, thans reeds gedeeltelijk en in 1984 volledig operationeel zullen zijn om te beantwoorden aan deze ethisch sociaal verantwoorde doelstellingen.

RESUME

La contribution importante de la pratique médicale à l'exposition de la population et les résultats de l'enquête de l'IAEA et de l'OMS au sujet de la précision dosimétrique, motivent l'installation du laboratoire d'étalonnage primaire, ainsi que la nécessité de normaliser les qualités des radiations, de contrôler la pratique de l'irradiation médicale et d'imposer l'obligation légale d'étalonner les dosimètres utilisés.

ABSTRACT

The large contribution of the medical practice to the irradiation exposure of the population and the results of the IAEA-WHO investigation on dosimetric accuracy, motivate the installation of the primary standard laboratory and the necessity to normalise radiation qualities, to control the medical irradiation practice and to introduce the legal obligation to gauge dosimeters.

ZUSAMMENFASSUNG.

Der bedeutende Beitrag der medizinischen Praxis zur Strahlenbelastung der Bevölkerung, sowie die Ergebnisse der Genauigkeitsuntersuchungen von Dosismessungen durch die IAEA-WHO rechtfertigen die Einrichtung eines primären Eichlaboratoriums und auch die Notwendigkeit zur Normalisierung von Strahlungseigenschaften, zur Kontrolle der medizinischen Bestrahlungspraxis und zu einer gesetzlich vorgeschriebenen Eichung von Dosismeßgeräten.

Annales de l'Association Belge de Radioprotection, vol. 8, n°4 (1983).

BIOLOGICAL EFFECTS OF TRITIUM ON THE UNICELLULAR GREEN ALGAE *ACETABULARIA*,
CHLAMYDOMONAS AND *DUNALIELLA*

Bonotto S., Arapis G., Gerber G.B. and Kirchmann R.

Department of Radiobiology, C.E.N.-S.C.K., B-2400 Mol, Belgium

23 January 1984.

ABSTRACT

The unicellular algae *Acetabularia*, *Chlamydomonas* and *Dunaliella* were grown in culture medium added with increasing concentrations of tritiated water (up to 1000 $\mu\text{Ci/ml}$ or 3.7×10^7 Bq/ml). Tritium exposure reduced cap formation in *Acetabularia* and provoked some morphological anomalies. However, in *Chlamydomonas* and *Dunaliella*, tritium had no significant effect on the growth rate. The radiation doses delivered by tritium to the three algal species are reported.

1. INTRODUCTION

Tritium present in the environment has a double origin : a) natural, mainly due to cosmic rays action ; b) artificial, produced by fission and activation reactions in atomic explosions and in nuclear power plants (1). The total amount of tritium annually produced is in the order of 9 MCi (or $3,3 \times 10^{17}$ Bq) (2,3). Since dilution processes occur, its actual concentrations in the aquatic environment are rather low (4,5) and would hardly produce any detectable biological effects. However, the amount of ^3H utilized and consequently its risk, could increase in the future, if the fusion technology is successfully developed (2,6). For this reason, investigations on the behaviour of ^3H in the terrestrial and aquatic systems remain of great interest.

Previous work has shown that ^3H from tritiated water is incorporated into fresh-water as well as into marine algae (see literature in ref. 7 and 8). Moreover, more recent investigations have revealed that organically bound ^3H can be selectively accumulated in the unicellular algae *Acetabularia* and *Dunaliella* (9).

The aim of this work was to investigate the biological effects of ^3H on the three unicellular green algae (*Acetabularia*, *Chlamydomonas* and *Dunaliella*), which were already utilized in previous studies on the metabolism of this radio-nuclide (7,8,9,10).

2. LITERATURE SURVEY ON THE BIOLOGICAL EFFECTS OF TRITIUM

Biological effects of ^3H can result from : a) the irradiation by the beta-rays emitted during the disintegration proces ; b) the transmutation of ^3H into ^3He .

Several studies have demonstrated that ^3H , ^{14}C and ^{32}P can be incorporated by microorganisms, animals and plants in concentrations sufficient to result in radiation-induced changes in growth and development (see ref. 11, 12, 13 and 28). It has been found that decay of incorporated ^3H -thymidine produced mutations as well as lethal events in bacteria (14). Moreover, in *Escherichia coli*, the mutagenic efficiency was higher for ^3H -thymidine than for ^3H -uracil and ^3H -histidine (11).

Different types of biological effects by ^3H were observed in animals or animal cells (15). ^3H -thymidine, injected intraperitoneally ($1 \mu\text{Ci/g}$ or $3.7 \times 10^4 \text{ Bq/g}$) to CAF_1 mice, induced solid tumors (16). Moreover, injection of even smaller amounts of ^3H -thymidine ($0.3 - 1.5 \mu\text{Ci/g}$ or $1.1 - 5.5 \times 10^4 \text{ Bq/g}$) to C57B1 mice caused leucaemia (17). Several papers dealt with the biological effects of ^3H on mammals or cultured mammalian cells (see literature in ref.18). Experiments were also performed on *Drosophila melanogaster*, in which a mutagenic effect of ^3H -uridine (19) and a killing effect of ^3H -thymidine (20) were demonstrated. The genetic effects of ^3H (HTO) were studied in yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) (21,22). In higher plants (*Tradescantia paludosa*, *Vicia faba*), ^3H -thymidine induced chromosome breakage. Tumor-like enlargements were observed in soybean plants grown in the presence of tritiated water (13). Although chlorophyll anomalies were observed in the youngest soybean leaves (13), the photosynthetic processes seem not to be significantly affected by ^3H : Moses and Calvin (23) reported that, in the unicellular green alga *Chlorella pyrenoidosa*, even a very high HTO concentration (1 Ci/ml or $3.7 \times 10^{10} \text{ Bq/ml}$) had no effect on photosynthesis.

3. EFFECTS OF TRITIUM ON THE MORPHOGENESIS OF ACETABULARIA

The morphogenesis of the giant unicellular alga *Acetabularia acetabulum* (= *mediterranea*) has been extensively studied in several laboratories (24) and has been found to be affected by a number of physical and chemical factors (see literature in ref. 25). It was, thus, of interest to learn whether tritium affects the morphogenesis of *Acetabularia*, which is a sensi-

tive biological process. Vegetative algae at stage 4 (4, S₂₀, W₃) (26) were grown, under light (1500 lux), in culture medium (27) added with HTO (0, 10, 50, 100 and 1000 $\mu\text{Ci/ml}$ or 0, 3.7×10^5 , 1.85×10^6 , 3.7×10^6 and 3.7×10^7 Bq/ml). At the end of the experiment (after 19 days treatment), the total number of cells with cap was noted as well as the number of abnormal caps. Moreover, the diameter of formed caps was measured in all algae. The results, reported in table 1, show that : a) cap formation (morphogenesis) is slightly inhibited (25% inhibition for the highest ^3H concentration) ; b) a high percentage of cells (up to 40%) develops abnormal caps (abnormal morphogenesis) or shows stalk division and resumption of vegetative growth after cap formation ; c) cap diameter is reduced (57% reduction for the highest ^3H concentration). Abnormal morphogenesis, induced by HTO treatment, is illustrated in fig.1.

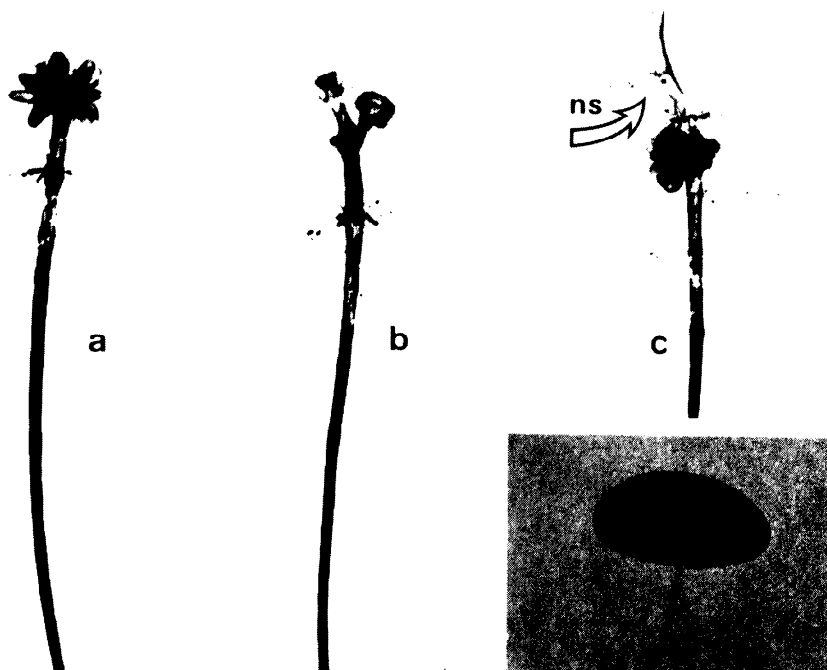


Fig.1. *Acetabularia acetabulum* (= *mediterranea*)

Abnormal morphogenesis, induced by tritium (HTO) treatment :

- a) asymmetrical morphogenesis ;
- b) stalk division with two small caps ;
- c) abnormal cap formation and resumption of the vegetative growth with formation of a new stalk (ns). Insert : a normal cap, for comparison.

Table 1. Effects of tritium (HTO) on the morphogenesis of *Acetabularia acetabulum* (= *mediterranea*)

Tritium concentration		Total number of cells	Cells with cap		Abnormal caps		Cap diameter	
$\mu\text{Ci/ml}$	Bq/ml		n°	%	n°	%	mm	%
0	0	40	40	100	0	0	7	100
10	3.7×10^5	40	36	90	1	2	6.5	93
50	1.85×10^6	40	35	87	13	32	5.5	79
100	3.7×10^6	40	32	80	11	27	4	57
1000	3.7×10^7	20	15	75	8	40	3	43

4. EFFECTS OF TRITIUM ON THE GROWTH OF *CHLAMYDOMONAS* AND *DUNALIELLA*

Chlamydomonas reinhardi and *Dunaliella bioculata* are respectively a fresh-water and a marine biflagellate micro-alga. These two algal species are widely utilized for fundamental as well as for applied research. They were used in our laboratory for studies on the transfer of ^3H in the aquatic systems (7, 9, 10, 27). Under laboratory conditions (450 lux), *Chlamydomonas* attains maximal growth in about one week (mean doubling time = 11 hours), whereas *Dunaliella* needs more than one month (mean doubling time = 4 days). Both algal species were grown in culture medium to which HTO (0, 50 or 100 and 1000 $\mu\text{Ci/ml}$ or 0, 1.85×10^6 or 3.7×10^6 and 3.7×10^7 Bq/ml) had been added till the stationary phase of growth was attained. The results indicate that the growth of *Chlamydomonas* is not affected by ^3H (fig.2). Fig.3 shows that this radionuclide also has no significant effect on the growth of *Dunaliella*, except perhaps at the highest ^3H concentration (1000 $\mu\text{Ci/ml}$ or 3.7×10^7 Bq/ml), for which a small inhibition is observed towards the end of the growth curve.

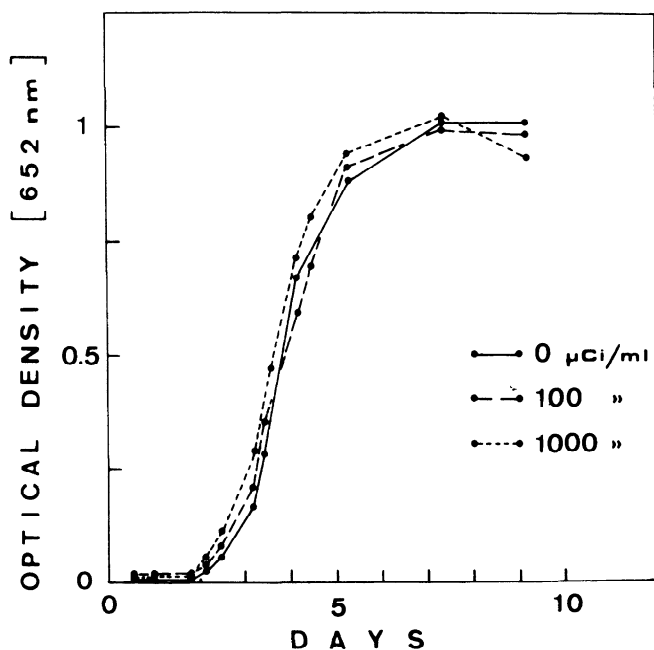


Fig.2. *Chlamydomonas reinhardi* CW15⁺. Growth of the algae in normal culture medium without or with respectively 100 and 1000 $\mu\text{Ci/ml}$ (or 3.7×10^6 and 3.7×10^7 Bq/ml) of tritium (HTO).

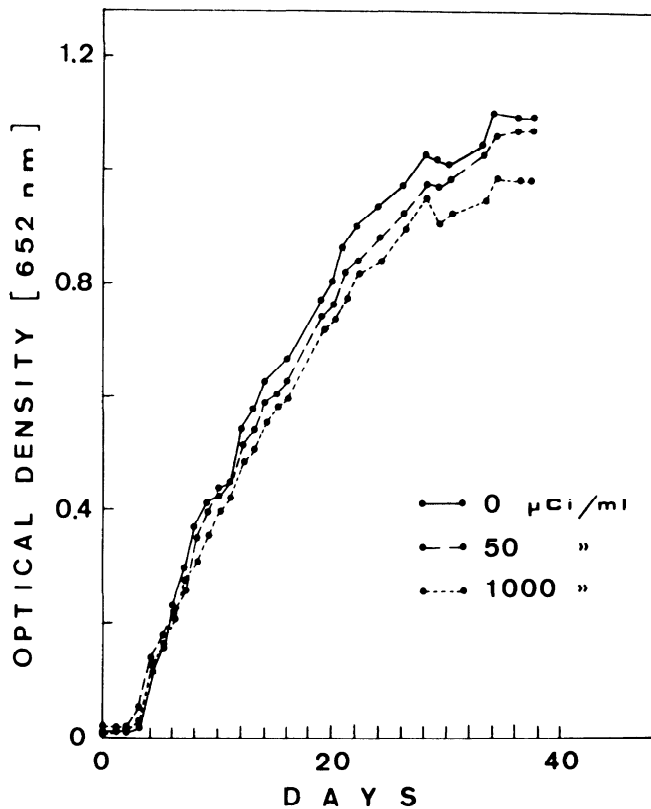


Fig.3. *Dunaliella bioculata*. Growth of the algae in normal culture medium without or with respectively 50 and 1000 $\mu\text{Ci/ml}$ (or 1.85×10^6 and 3.7×10^7 Bq/ml) of tritium (HTO).

5. RADIATION DOSE DELIVERED BY TRITIUM TO *ACETABULARIA*, *CHLAMYDOMONAS* AND *DUNALIELLA*

Since exposure time to ^3H is different for the three algal species investigated (respectively 11 hours, 4 days and 19 days for *Chlamydomonas*, *Dunaliella* and *Acetabularia*), the radiation dose delivered to the cells varies accordingly. Radiation dose may be calculated using the equation of Feinendegen (28) :

$$D = \frac{3.7 \times 10^7 \times 3600 \times 1.6 \times 10^{-6} \times \bar{E}}{100 \times g}$$

where D = the absorbed dose in rad $\times \text{mCi}^{-1} \times \text{h}^{-1}$

3.7×10^7 = number of disintegrations $\times \text{mCi}^{-1} \times \text{sec}^{-1}$

3600 = number of sec $\times \text{h}^{-1}$

1.6×10^{-6} = number of erg $\times \text{MeV}^{-1}$

\bar{E} = mean energy of the beta-particle spectrum of tritium, in MeV

g = mass of the substance in g

100 = conversion factor from erg $\times \text{g}^{-1}$ to rad.

As the numerical value of \bar{E} is usually taken as 5.6 - 5.7 keV, the dose rate delivered by tritium at a concentration of 1 mCi $\times \text{g}^{-1}$ is approximately 12.14 rad $\times \text{h}^{-1}$ (29). The approximate radiation doses delivered by tritium (HTO) to the algae were calculated taking into account their water content (Table 2). As part of ^3H is converted into organic forms (8) the reported doses (calculated on the basis of water content only) are slightly underestimated.

6. DISCUSSION

Tritium given to vegetative *Acetabularia* cells in the form of tritiated water (HTO), at a dose of about 5 and 50 Gy, inhibits morphogenesis, reduces cap diameter and induces some morphological anomalies (abnormal caps, stalk division, resumption of vegetative growth after cap formation). Similar morphological alterations were previously observed only in *Acetabularia* cells irradiated with high acute doses (250 - 1000 Gy) of X-rays (30, 31) or gamma-rays (32). It appears thus that, at low doses, the beta-rays of

Table 2. Radiation doses delivered by tritium (HTO) to *Acetabularia*, *Chlamydomonas* and *Dunaliella* cells.

Tritium concentration		Radiation dose x g ⁻¹ of algae					
μCi/ml	Bq/ml	<u>Acetabularia(a)</u> (19 days)		<u>Chlamydomonas(b)</u> (11 hours)		<u>Dunaliella(c)</u> (4 days)	
		rad	Gy	rad	Gy	rad	Gy
0	0	0	0	0	0	0	0
10	3.7 x 10 ⁵	49	0.49	-	-	-	-
50	1.85 x 10 ⁶	244	2.44	-	-	42	0.42
100	3.7 x 10 ⁶	487	4.87	11	0.19	-	-
1000	3.7 x 10 ⁷	4871	48.71	111	1.11	839	8.39

(a) Water content of *Acetabularia* is 88% ; time of exposition to ³H : 19 days

(b) Water content of *Chlamydomonas* CW15⁺ is 83%, time of exposition to ³H : 11 hours (= mean doubling time)

(c) Water content of *Dunaliella* is 72% ; time of exposition to ³H : 4 days (= mean doubling time)

1 rad = 1.00 x 10⁻² Gy (gray).

^3H are more effective, in inducing biological effects in *Acetabularia*, than X- or gamma rays. An RBE (relative biological effectiveness) for tritium compared to X-rays higher than 1 but usually smaller than 2 has been reported for other organisms (see literature in ref. 33). Since some variability may occur between different *Acetabularia* cultures, in the response to toxic agents, new experiments (in which cells of the same culture would be irradiated by the beta-rays of tritium, by X-rays and by gamma-rays) at comparable dose rates are needed to evaluate the RBE of tritium in this organism. As reduction of the reproductive capability was observed in X-irradiated *Acetabularia* cells (34), a comparative study with the beta-rays of tritium would be worthwhile.

Because of its relatively long biological cycle (about 5 months under laboratory conditions (35)), the total dose of beta-rays absorbed by a single *Acetabularia* cell under experimental chronic tritium contamination may be important. However, the tritium concentrations utilized in our laboratory experiments (up to 1 mCi/ml or 3.7×10^7 Bq/ml) were several order of magnitude higher than those found in natural aquatic systems, in which tritium toxicity would be difficult (if not impossible) to detect.

In contrast to *Acetabularia*, *Chlamydomonas* and *Dunaliella* have a much shorter biological cycle. Consequently, the total dose of tritium beta-rays received by a single cell would be lower. Our results show that tritium (up to 1 mCi/ml or 3.7×10^7 Bq/ml) had no appreciable effect on the growth of these two microalgae. Clearly, the maximal total dose received by a single cell (1.11 Gy for *Chlamydomonas* and 8.39 Gy for *Dunaliella*) is insufficient to provoke short-term biological effects. This fact does not exclude possible long-term effects, due to eventual damage by tritium incorporated into the genetical material of the algae. For this reason, studies on long-term effects of tritium on microalgae would be of great interest to reveal eventual genetic disorders.

As stated by Dobson (33), tritium toxicity involved not only radiation effects but also isotope effects, transmutation effects, intramolecular position effects and metabolic effects related to the biochemistry of ^3H . However, from a practical point of view, the effects due to the ionizing radiation of ^3H are predominant.

Finally, since unicellular algae are capable of incorporating tritium into their organic matter, mainly by photosynthesis, *Acetabularia*,

Chlamydomonas and *Dunaliella* may be successfully utilized to study tritium transfer through the aquatic food chain.

ACKNOWLEDGEMENTS

Work supported in part by the CEC Contract n° BIO-B-431-B (publication n° 2097). Mr G. Arapis is a fellow of the CEC and of the C.E.N.-S.C.K. We thank Mr A. Bossus and Mr G. Nuyts for technical assistance.

REFERENCES

- (1) BONKA, H., In : Behaviour of Tritium in the Environment, IAEA, Vienna (1979), pp. 105-123.
- (2) BURGER, L.L., In : Behaviour of Tritium in the Environment, IAEA, Vienna (1979), pp. 47-64.
- (3) COMBS, F. and DODA, R.J., In : Behaviour of Tritium in the Environment, IAEA, Vienna (1979), pp. 93-102.
- (4) ÖSTLUND, H.G. and FINE, R.A., In : Behaviour of Tritium in the Environment, IAEA, Vienna (1979), pp. 303-314.
- (5) VAKULOVSKIY, S.M., VORONTSOV, A.I., KATRICH, I.Y., KOLOSOKOV, I.A., ROSLYY, Y.I. and CHUMICHEV, V.B., *Oceanology*, 18 (1978) 160.
- (6) COYLE, P.E., In : Behaviour of Tritium in the Environment, IAEA, Vienna (1979) pp. 139-153.
- (7) BONOTTO, S., NUYTS, G., BOSSUS, A. and KIRCHMANN, R., In : Indices Biochimiques et Milieux Marins, Publi. CNEOX (Actes Colloq.) n° 14 (1982) pp. 399-410.
- (8) BONOTTO, S., GERBER, G.B., ARAPIS, G. and KIRCHMANN, R., *Ann. Ass. Belge Radiopr.*, 7 (1982) 283.
- (9) STRACK, S., KIRCHMANN, R., LÜTTKE, A. and BONOTTO, S., *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 34 (1983) 865.
- (10) STRACK, S., BONOTTO, S., and KIRCHMANN, R., *Helgoländer Meeresuntersuch.*, 33 (1980) 153.
- (11) BÖCKRATH, R.C. and PERSON, S., *Mutat. Res.*, 1 (1964) 373.
- (12) DEWEY, W.C., HUMPHREY, R.M. and JONES, B.A., *Radiat. Res.*, 24 (1965) 214.
- (13) CHORNEY, W., SCULLY, N.J. and DUTTON, H.J., *Radiat. Bot.*, 5 (1965) 257.
- (14) PERSON, S. and LEWIS, H.L., *Biophys. J.*, 2 (1962) 451.
- (15) DEWEY, W.C., HUMPHREY, R.M. and JONES, B.A., *Radiat. Res.*, 24 (1965) 214.
- (16) LISCO, A., BASERGA, R. and KISIELESKI, W.E., *Nature*, 192 (1961) 571.
- (17) MEWISSEN, D.J., *C.R. Séances Soc. Biol.*, 159 (1965) 1005.
- (18) VENO, A.M., FURUNO-FUKUSHI, I. and MATSUDAIRA, H., *Radiat. Res.*, 91 (1982) 447.
- (19) OLIVIERI, G. and OLIVIERI, A., *Mutat. Res.*, 2 (1965) 381.
- (20) KENT BÖLÜKBASI, E., Çekmece Nuclear Research Center, Istanbul, Turkey. Report CNAEM 32 (1965) pp. 1-11.
- (21) ITO, T. and COBAYASHI, K., *Radiat. Res.*, 76 (1978) 139.
- (22) MORRISON, D.P., OSBORNE, R.V. and UNRAU, P., *Radiat. Res.*, 87 (1981) 50.

- (23) MOSES, V. and CALVIN, M., *Biochim. Biophys. Acta*, 33 (1959) 297.
- (24) PUISEUX-DAO, S., *Acetabularia* and Cell Biology, Lagos Press, London (1970), pp. 1-162.
- (25) BONOTTO, S., LURQUIN, P. and MAZZA, A., *Adv. Mar. Biol.*, 14 (1976) 123.
- (26) BONOTTO, S. and KIRCHMANN, R., *Bull. Soc. Roy. Bot. Belgique*, 103 (1970) 255.
- (27) BONOTTO, S., NDOITE, I.O., NUYTS, G., FAGNIART, E. and KIRCHMANN, R., Current topics in *Radiat. Res.*, 12 (1977) 115.
- (28) FEINENDEGEN, L.E., *Tritium-labeled Molecules in Biology and Medicine*, Academic Press, (1967), pp. 1-430.
- (29) SILINI, G., METALLI, P. and VULPIS, G., Radiotoxicity of tritium in mammals. Critical analysis of the extrapolation to man of the results of tritium incorporation into animal tissues. *EUR 5033 e* (1973), pp. 1-34 and Appendix, pp. 1-13.
- (30) BACQ, Z.M., DAMBLON, J. and HERVE, A., *C.R. Séances Soc. Biol.*, 149 (1955) 1512.
- (31) BONOTTO, S., LÜTTKE, A., HOURSANGOU-NEUBRUN, D., PUISEUX-DAO, S., BOSSUS, A. and KIRCHMANN, R., In : *Radiation Effects on Aquatic Organisms*, Egami, N., ed., Japan Sci. Soc. Press, Tokyo/Univ. Park Press, Baltimore (1980), pp. 267-276.
- (32) BONOTTO, S. and KIRCHMANN, R., *Arch. Biol. (Liège)*, 83 (1972) 207.
- (33) DOBSON, R.L., In : *Proceedings of the Workshop on Tritium Radiobiology and Health Physics*, Matsudaira, H., Yamaguchi, T., Nakazawa, T. and Saito, C., eds., National Institute of Radiological Sciences, Chiba, Japan (1982), pp. 120-134.
- (34) LÜTTKE, A. and BONOTTO, S., *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 5 (1981) 107.
- (35) LATEUR, L. and BONOTTO, S., *Bull. Soc. Roy. Bot., Belgique*, 106 (1973) 17.

Résumé

Les algues unicellulaires *Acetabularia*, *Chlamydomonas* et *Dunaliella* sont cultivées dans du milieu contenant des concentrations croissantes d'eau tritiée (jusqu'à 1000 $\mu\text{Ci/ml}$ ou 3.7×10^7 Bq/ml). L'exposition au tritium inhibe la formation du chapeau chez l'*Acetabularia* et provoque quelques anomalies morphologiques. Par contre, chez *Chlamydomonas* et *Dunaliella*, le tritium n'a pas d'effet significatif sur leur vitesse de croissance. Les doses des radiations délivrées par le tritium aux trois espèces d'algues sont reportées.

Samenvatting

De eencellige algen *Acetabularia*, *Chlamydomonas* en *Dunaliella* worden gekweekt in een medium met stijgende concentraties van tritium water (tot 1000 $\mu\text{Ci/ml}$ of 3.7×10^7 Bq/ml). De aanwezigheid van tritium verhindert de vorming van een hoed bij *Acetabularia* en veroorzaakt enkele morfologische afwijkingen. Daarentegen, bij *Chlamydomonas* en *Dunaliella* heeft tritium geen effect van betekenis op hun groeisnelheid. De bestralingsdosissen, afgegeven door tritium aan de drie soorten algen, worden aangeduid.

Zusammenfassung

Die einzelligen Algen *Acetabularia*, *Chlamydomonas* und *Dunaliella* wurden gezüchtet in Medium mit steigenden Konzentrationen von Tritium-Wasser (bis 1000 $\mu\text{Ci/ml}$ oder 3.7×10^7 Bq/ml). Tritiumbehandlung verhindert Hutbildung in *Acetabularia* und verursacht morphologische Abweichungen. In *Chlamydomonas* und in *Dunaliella*, hatte Tritium dagegen keine nachweisbare Wirkung auf die Wachstumsgeschwindigkeit. Die den Algen verabfolgten Tritium Strahlendosen werden angegeben.