

Annalen
van
de Belgische Vereniging
voor
Stralingsbescherming

VOL. 4 N° 3

1979

Driemaandelijkse
uitgave

Publication
trimestrielle

Annales
de
l'Association Belge
de
Radioprotection

Hoofdredacteur

Dr M.H. FAES
S.C.K./C.E.N.
2400 Mol.

Rédacteur en chef

Redactiesecretariaat

Mme Cl. STIEVENART

Secrétaire de rédaction

14, rue Juliette Wytmansstraat,
1050 Bruxelles - Brussel.

INHOUD.

Dit nummer bevat de teksten van uiteenzettingen gedaan op 23 november 1979, ter gelegenheid van een studiedag van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming, gewijd aan de bescherming tegen niet ioniserende stralingen.

SOMMAIRE.

Ce numéro contient les textes des exposés faits le 23 novembre 1979, lors de la journée d'étude organisée par l'Association Belge de Radioprotection, consacrée à la protection contre les radiations non ionisantes.

P. PIROTTE :

Intensité du champ électrique à 50 Hz au voisinage des installations - Point de vue de l'ingénieur. 133 - 138

L. DE THIBAUT DE BOESINGHE :

Biologische effecten van elektrische en magnetische velden. 139 - 144

P.J. LUYPAERT :

Microgolfstraling en levendige organismen. 145 - 162

J. SPORCQ :

Effets biologiques autour des émetteurs radios (ondes courtes). 163 - 176

J. DELHOVE :

Mesures de protection autour des installations L A S E R. 177 - 186

P. HUBLET :

Rayonnement radar - radioprotection et médecine du travail. 187 - 202

P. HUBLET :

Rayonnement laser - radioprotection et médecine du travail. 203 - 212

J.P. PEPERSACK :

Radioprotection et radar : aspects pratiques. 212 - 226

INTENSITE DU CHAMP ELECTRIQUE A 50 HZ AU VOISINAGE
DES INSTALLATIONS - POINT DE VUE DE L'INGENIEUR

Dr. P. Pirotte

Institut d'Electricité Montefiore (U.Lg)
Sart Tilman - B.28 - 4000 LIEGE

RESUME

Le pourquoi de ces études depuis une dizaine d'années. Calcul et mesure de l'intensité du champ électrique (ordre de grandeur). Conséquences de la présence d'un objet ou d'un être humain dans un champ électrique d'intensité uniforme. Situation actuelle et recherches en cours.

1. Le pourquoi de ces études depuis une dizaine d'années.

C'est un lieu commun que de constater l'augmentation du niveau des tensions des ouvrages servant au transport de l'énergie électrique (lignes et postes). Successivement nous sommes passés du niveau 220 kV, au niveau 400, et actuellement au niveau 750 kV avec des tentatives sérieuses vers le niveau 1100 kV. L'air dans lequel ces installations sont érigées est soumis à des contraintes (champ électrique ou gradient de potentiel) de plus en plus élevées. Au voisinage immédiat des conducteurs, il s'agit de limiter le niveau des conséquences de l'effet de couronne (décharges partielles), par contre à proximité du sol on ne connaît pas actuellement, de manière scientifique, la liaison, si liaison il y a, entre le niveau des effets biologiques sur les êtres vivants et l'intensité du champ électrique. En U.R.S.S., pour la première fois à notre connaissance, des durées maximales de séjour dans un champ électrique d'une intensité donnée ont été proposées. Depuis lors des études extrêmement fouillées ont été poursuivies et entreprises partout dans le monde. Médicalement parlant, l'état actuel du problème sera présenté par le Dr de Thibault de Boesinghe (RUG); ma contribution traitera exclusivement du point de vue de l'ingénieur.

2. Intensité du champ électrique - ordre de grandeur

En chaque point du milieu concerné on peut définir le poten-

tiel et l'intensité du champ dans une direction donnée (gradient de potentiel).

Pour certaines structures (lignes - postes simplifiés), le problème est abordable par calcul numérique; dans les situations plus complexes (postes réels), la mesure demeure la solution logique.

Pour le réseau belge à 400 kV on calcule et(ou) on mesure (ordre de grandeur)

- sous les lignes 4 kV/m
- dans les postes plus de 10 kV/m.

Il existe évidemment, au monde, d'autres situations où on enregistre 10 kV/m sous les lignes et plus de 15 kV/m dans les postes.

Il faut noter que à proximité du sol, l'intensité du champ électrique varie peu avec la hauteur par rapport au sol (sur 2 à 3 m).

3. Conséquences de la présence d'un objet ou d'un être humain dans un champ électrique

3.1 Conducteur, parfaitement isolé, parallèle à l'axe de la ligne de transport

Soit un conducteur horizontal de l m de long situé à h m au-dessus en niveau du sol.

Dans l'hypothèse d'une intensité uniforme du champ électrique, le conducteur sera porté au potentiel $V = E.h$.

Prenons

- l = 200 m
- r = 0,002 m (rayon du conducteur)
- h = 1,5 m
- E = 10 kV/m

Par rapport au sol, la capacité calculée du conducteur horizontal vaut

$$C = 1520 \cdot 10^{-12} \text{ F}$$

Le potentiel auquel sera porté le conducteur égale 15.000 V.

Supposons qu'une personne entre en contact avec la struc-

ture . Cette personne est reliée à la terre et présente une impédance de l'ordre de 1500 Ω .

Le schéma de Thévenin équivalent conduit , en régime permanent, à une intensité de courant $i = \omega CV = 7,16$ mA.

Cette intensité correspond à un point dans la zone 2 du document CEI 479 intitulé "Effets du courant passant par le corps humain".

La valeur de i dépend de V et de C , en d'autres termes du niveau de tension (par l'intensité du champ électrique) et de la géométrie de la structure (camion , voiture, fils de vigne, clôture...).

Le régime permanent ainsi défini implique un contact parfait entre l'individu et la structure isolée.

Si ce contact est imparfait, c'est ce qui se produira avant le contact franc, il arrivera un moment où la différence de potentiel entre les deux sera suffisante pour entraîner la disrapture de l'air (étincelle). On observera dans ces conditions un régime relaxé qui présentera un courant transitoire de décharge.

Malheureusement, il existe peu d'information sur ce dernier aspect du problème. On peut dire, cependant, que la décharge transitoire est ressentie de façon très déplaisante et ce d'autant plus que la densité de courant au point de contact est considérable.

Des études menées au Canada (IREQ) ont établi qu'une quantité d'électricité de $3\mu Cb$ pourrait être considérée comme "acceptable" par la majorité des individus.

Cette quantité d'électricité est celle portée par une personne (capacité 200 pF) qui fait quelques pas sur une moquette qui n'est pas traitée antistatique (15000 V).

3.2 Individu, seul, plongé dans un champ d'intensité uniforme

On peut montrer que pour la fréquence de 50HZ, le corps humain est à caractéristique prédominante conductrice.

Plongé dans un champ électrique uniforme d'intensité E ,

le corps conducteur se couvrira de charges dont la répartition sera telle que l'intensité du champ électrique à l'intérieur du corps conducteur soit rigoureusement nulle.

Tel ne sera pas le cas en ce qui concerne le corps humain mais l'intensité du champ électrique interne sera insignifiante (rapport 10^{-8}).

Grâce à un calcul approché, il nous est possible d'avoir un ordre de grandeur des intensités de courant qui traversent le corps humain lorsque celui-ci est plongé dans un champ électrique initialement uniforme.

Il s'agit du courant diffusé dans l'organisme

kV/m	tête (μA)	total (μA)
1	5	15
10	50	150

Localement, la densité de courant est directement proportionnelle à l'intensité du champ électrique en ce point.

Dans le cas d'un "effet de pointe" (vingt fois l'intensité du champ électrique uniforme) on peut calculer $i = \omega \epsilon_0 E$; la valeur de la densité de courant par kV/m (soit $0,55 \text{ mA/m}^2$). Toutes ces grandeurs dépendent comme au point 3.1 de l'intensité du champ non perturbé mais on insistera sur le fait que l'intensité du champ électrique à l'intérieur de l'individu est insignifiante.

4. Comportement des êtres humains plongés dans un champ électrique

Ce qui suit reste du domaine subjectif.

Les sensations les plus fréquentes sont les stimulations nerveuses dues aux cheveux qui se hérissent et les micro-décharges entre peau et habits (col de chemise et cou par exemple). Généralement, on accepte moins bien les micro-décharges entre couvre-chef et tête, entre pied et chaussures, entre jambe et botte.

Pour 10% des personnes, le seuil de perception se situerait entre 10 et 15 kV/m. Comme déjà dit, la présence du corps humain modifie considérablement la valeur de l'intensité du

champ électrique non perturbé.

5. Effets spéculatifs

A la lecture des rapports publiés sur le sujet, on ne peut que constater la disparité des résultats obtenus quant à l'influence des champs électriques sur les organismes vivants. Les études actuelles sont encore incomplètes, sujettes à caution et plus que certainement très difficiles à mener et ce dans un domaine multidisciplinaire.

En URSS cependant et en fonction des résultats déjà obtenus, on a décrété d'une limitation de l'intensité du champ électrique au niveau du sol aux valeurs suivantes :

5 kV/m	durée illimitée
10 kV/m	croisement ligne-route
15 kV/m	région inhabitée
20 kV/m	région d'accès difficile.

Au Canada également des recherches sont en cours avec comme paramètre non pas l'intensité du champ électrique mais la dose de champ reçue par un individu pendant un séjour d'une durée donnée.

Du côté des électriciens, ils font preuve de réalisme et de réserve (CIGRE, UNIPÉDE, IEEE, EPRI,...).

L'OMS doit publier dans les prochains mois un document où sera fait le point actuel sur le sujet.

En terminant, je me permets d'insister sur le fait suivant, important à mes yeux. Des intensités de courant de l'ordre de 100 à 200 μ A sont loin de seuil de perceptions. Par contre, ces intensités sont proches de celles développées lors de l'activité cellulaire. Cependant, l'amplitude de migration des charges dans ce champ alternatif est de l'ordre d'une fraction d'angström, sans comparaison avec la dimension des couches de la membrane cellulaire (100 à 120 angström).

Il n'est pas impossible que ces faibles déplacements soient à l'origine de modification transitoire dans les phénomènes physicochimiques complexes au niveau de la membrane.

Réponse bien difficile à fournir dans le contexte actuel : discordances entre différentes recherches, précisions quant aux protocoles adoptés, action à long terme sur une population représentative et meilleure compréhension des phénomènes physiques.

6. Lectures complémentaires suggérées

- Recherches sur les effets biologiques des champs électrique et magnétique.
Revue Générale de l'Electricité. Numéro Spécial. Juillet 1976.
- Electric and magnetic fields produced by transmission systems
Description of phenomena - Practical guide for calculation
CIGRE WG 36-01 (à paraître).

SAMENVATTING.

Waarom werden deze studies sinds een tiental jaren aangevat ? Hoe wordt de intensiteit van een elektrisch veld berekend en gemeten (grootteorde) ? Welke zijn de gevolgen van de aanwezigheid van een voorwerp of van het menselijk lichaam in een elektrisch veld met gelijkmatige intensiteit ? Hoe is de huidige situatie en welke onderzoeken zijn er aan gang ?

ABSTRACT.

Why have these studies been started ten years ago ? How is the intensity of an electrical field calculated and measured (order of magnitude) ? What are the consequences of the presence of an object or a human being in an electrical field with uniform intensity ? How is the situation today and which research programs are going on ?

ZUSAMMENFASSUNG.

Der Hintergrund dieser Studien seit eines Jahrzehntes. Berechnung und Messung der elektrischen Feldstärke (größenordnungsmäßig). Folgen der Gegenwart eines Gegenstandes oder Menschen in einem elektrischen Feld gleichmäßiger Stärke. Gegenwärtige Situation und laufende Untersuchungen.

BIOLOGISCHE EFFECTEN VAN ELEKTRISCHE EN MAGNETISCHE VELDEN

DE THIBAUT DE BOESINGHE L.

Kliniek voor Radiotherapie en Kerngeneeskunde, Akademisch Ziekenhuis,
De Pintelaan 135, 9000 Gent, België

ABSTRACT : BIOLOGISCHE EFFECTEN VAN ELEKTRISCHE EN MAGNETISCHE VELDEN

Een literatuurstudie werd gemaakt over dit probleem. Een onderscheid werd gedaan tussen hetgeen bij de mens teruggevonden wordt enerzijds en anderzijds dierproeven. De gevonden uitslagen liggen uiteen en zijn ver van uniform. Wel is veel kritiek aan te brengen op de gebruikte methodologie. Als fundamentele vraag blijft het probleem open : bestaat er een drempelwaarde of niet ? Anderzijds kan men zich de vraag stellen of de objectieve veranderingen niet beter zouden kunnen worden in het licht gesteld door praktische en goed vooropgezette studies. De literatuurstudie is belangrijk genoeg om toch te overwegen een systematische studie van dit onderwerp van dichterbij te starten.

Het bestaan van het magnetisch veld op aarde is een bekend feit. Minder bekend is de aanwezigheid van een elektrisch veld. Bij mooi weer bedraagt dit veld qua grootte orde circa 100 à 150 Volt per meter. Dit constant verschijnsel blijkt totaal onopgemerkt voorbij te gaan aan de levende wezens welke eraan onderworpen zijn.

In sommige omstandigheden kunnen de waarden van dit elektrisch veld veel hogere cijfers bereiken en dan aanleiding geven tot bepaalde verschijnselen. Bij donderweer ontstaan aan de top van puntige voorwerpen ontladingen. In de oudheid werd dit waargenomen op lanssen. Ook de zeelui kenden dit verschijnsel onder de naam van "Fires of St. Elme", welke verschenen aan de top van de scheepsmasten.

Een door ons allen bekend fenomeen van versterking van het elektrisch veld, door intense wrijving, hebben wij allen reeds waargenomen en statische elektriciteit genoemd, bv. bij het nemen van een klink in een droge gang.

De hoogspanningslijnen van 225 kV, welke onze velden doortrekken vormen aan de grond een elektrisch veld van de grootte orde van 2 à 3 kV/m; voor lijnen van 400 kV bedraagt de maximum intensiteit 4 à 5 kV/m. Ten einde een idee te geven van de uitgebreidheid van het net voor Europa, Spanje inclus, vermelden we dat 75 000 km lijnen van 220 kV en 28 000 km lijnen van 400 kV zijn aangelegd. Het uitbouwen naar lijnen van ultra-

grote spanningen, 800 à 1200 kV, hebben de dokter aangespoord om de biologische invloeden van het elektrisch veld op de mens van even dichterbij te bestuderen.

Tot hiertoe hadden de arbeidsgeneesheren, werkende voor de elektriciteitsmaatschappijen, geen letsels gevonden bij de werknemers te wijten aan het elektrisch veld. Het enige beroepsrisiko bestond in het gevaar van direkt contact met de delen onder spanning.

De Russen daarentegen hebben bijwerkingen beschreven van het elektrisch veld op de mens en dan ook voorstellen tot normen voor protectie opgesteld. Zij hebben bv. de werkuren doen verkorten zelfs voor relatief lage spanningen van het elektrisch veld.

Sommige ecologen hebben gebruik gemaakt van deze bevindingen om een element van agressie van de mens te zien en derhalve afkeurend te werk te gaan tegen deze elektrische lijnen.

De wetenschappelijke onderzoeken in het domein van het elektrisch veld zijn recent en nog zeer beperkt. Een kort overzicht kan als volgt gemaakt worden.

In 1972 maken de Russen gewag van diverse ongemakken bij werknemers met bepaalde taken in het elektrisch veld uitgevoerd. Dit in tegenspraak met het werk in 1967 van Kouwenhoven, die een rapport opstelde voor werknemers bij spanningslijnen van 350 kV; de herhaalde blootstelling aan intense velden had geen enkel klinisch noch biochemisch verschijnsel teweeggebracht.

ASSANOVA (Rusland) beschrijft voor werknemers, blootgesteld aan spanningen van 400 à 500 kV de volgende functionele stoornissen :

- neurovegetatieve
- cardiovasculaire
- gastrointestinale
- libidostoornissen (vermindering van de libido).

Toch werden ook enkele objectieve stoornissen, zij het dan ook wel vaag, beschreven zoals :

- veranderingen in de polsfrequentie, bloeddruk, electrocardiogram
- fluctuaties op het perifere bloedbeeld, vnl. een leucocytose met neutrofielen en een daling van de reticulocyten.

SAZANOVA beschrijft - similaire verschijnselen

- vagotonische modificaties van het cardiovasculaire systeem

- modificaties in de thermoregulatie
- stoornissen in de psychomotoriek.

Het optreden van deze verschijnselen bij blootstellingen langer dan 5 uur en het niet optreden bij blootstellingen korter dan 2 uur, gaven aanleiding tot het suggereren door de auteur dat de bescherming erin moest bestaan dat de blootstellingstijd moest verkort worden.

HAUF (Duitsland) neemt studenten-vrijwilligers en onderwerpt ze aan een elektrisch veld van 1 à 20 kV/m.

Hij vindt een diskrete stimulatie van de psychomotorische reactietijd; een lichte stijging van de leucocyten; een stijging van de neutrofielen en ook in tegenstelling met wat de Russen beschreven, een stijging van reticulocyten.

Deze veranderingen blijken onafhankelijk te zijn van de intensiteit van het veld en blijven binnen de limietwaarde van een normale spreiding.

STRUMZA vergelijkt 2 populaties met elkaar.

De eerste groep, wonende en werkende in de nabijheid van hoogspanningsgeleiders.

De tweede groep, helemaal niet blootgesteld.

In deze 2 groepen bestudeerde hij het gebruik aan medicatie en vond geen statistisch verschil van de 2 groepen.

KOROKKOVA bestudeert de effecten van het elektrisch veld bij lage spanningen en vindt neurologische stoornissen, cardiovasculaire, discrete hematologische. Hij stelt een drempelwaarde voor van 5 kV/m voor dewelke de tijdsduur moet beperkt blijven.

FILLIPOV vindt functionele nerveuze stoornissen, cardiovasculaire, gastro-intestinale. Op hematologisch gebied vindt hij een stijging van de reticulocyten en de neutrofielen. Vermelden we dat de Russen een daling gevonden hadden.

Studies op vrijwilligers blootgesteld aan velden van 0 à 30 kV/m, zouden aangetoond hebben dat deze hematologische veranderingen maar optreden bij velden hoger dan 5 kV/m.

In de VERENIGDE STATEN hebben J. Singewald en Kouwenhoven een studie gedaan, lopend over 9 jaar.

Zij bestudeerden met een algemeen klinisch onderzoek en met een gespecialiseerd klinisch onderzoek :

- de hematologische constanten
- de bloedbiochemie

- het electrocardiogram
- de nierfunctieproeven
- de schildklierfunctie
- de leverfunctie
- de functie van de genitale organen.

Geen significante veranderingen werden waargenomen.

FOLE (Spanje) spreekt van functiestoornissen.

EISEMANN bestudeert de wisselstroom van lage intensiteit 200 micro amp.

Vindt niets specifiek.

Dierexperimenten worden uitgevoerd

KNICKENBOCKER (USA) vindt bij 160 kV/m bij muizen die een langdurige blootstelling ondergaan hebben, geen significante veranderingen, tenzij een lager geboortegewicht bij de kleintjes van de blootgestelde wijfjes.

STRUMZA vindt eveneens een lager geboortegewicht.

MEDA vindt bij blootstelling van knaagdieren aan intense velden (100 kV/m) alleen discrete modificaties op hematologisch gebied; stijging van het aantal polynucleairen en neutrofielen, lymfocytendaling ook, wijziging van het electrocardiogram, verlenging van het PR interval en verbreding van het QRS complex.

Studies op Rhesusapen geven geen psychologische verandering bij deze dieren.

Op ratten en katten vindt men een versnelling van het hartritme, een vermindering van de amplitude van het electroencefalogram, stoornissen in de thermoregulatie, in die zin dat er een stijging van de huidtemperatuur ontstaat en een daling van de rectale temperatuur.

Tenslotte wordt ook mutageen effect of bacteriën opgespoord. De bacteriën worden blootgesteld aan velden van 10, 50 en 200 kV/m. Er wordt geen verandering gevonden ten opzichte van een controle stam die niet blootgesteld wordt.

De invloed van het magnetisch veld aan lage frequenties is veel minder bestudeerd.

VYALOV bestudeert werknemers die blootgesteld zijn aan wisselstromen van 15 à 420 mT. en vindt neurovegetatieve stoornissen.

BUSSCHER bestudeert lage frequenties 1 gaus = 0,1 mT. vrijwilligers en vindt geen modificatie van de psychomotorische testen, wel een geïsoleerd en een bediscussieerde stijging van de triglyceriden.

HAUF bestudeert vrijwilligers, nl. studenten, magnetisch veld van 50 Hz., 3 gaus = 0,3 mT.

Hij vindt geen modificaties van de psychomotorische reacties, ook geen modificaties van de pols, de bloeddruk, ECG en EEG. Ook geen modificaties van het bloedbeeld, geen pijn.

LORGE. Bij 9 gaus (0,9 mT.) vindt hij eveneens geen modificaties.

Tenslotte bestudeerden Franssen het mutageen effect en het effect op de vermenigvuldiging van bacteriën en vinden geen veranderingen.

Een studie op een groep arbeiders toont dat er een hoger aantal hoofdpijnlijders teruggevonden worden bij deze die blootgesteld worden aan 400 kV.

BESLUIT

Het geheel van de publicaties is ver van uniform. Veel kritiek kan aangebracht worden aan de gebruikte methodologie en misschien kan hier een verklaring gevonden worden voor de uiteenlopende resultaten.

Bij de mens zijn geen praktische studies gedaan op lange termijn. De meest uitgevoerde fundamentele studies zijn slechts blootstellingen van enkele uren. De mogelijkheid blijft bestaan dat blootstellingen aan intense elektrische magnetische velden aan de basis kunnen liggen van een aantal functionele of biologische veranderingen, die men zou kunnen resumeren als volgt :

neurologisch : hoofdpijn en slaapstoornissen

moeheid

libidoveranderingen.

Objectieve veranderingen : meest discrete veranderingen in de psychomotorische reacties, gaande naar een niet-specifieke stimulatie.

De meest concordante waarneming is waarschijnlijk de hematologische variatie, hoewel ook zij niet door alle auteurs wordt gevonden.

Veranderingen in de bloedbiochemie is inconstant en niet onthoudbaar.

Op genetisch gebied ziet men wel een lager geboortegewicht bij proefdieren. Er is geen invloed op het aantal foetussen en er is ook geen teratogene actie.

Tenslotte blijkt dat al deze afwijkingen reversibel zijn en schijnen dus in de huidige stand van de wetenschappen niet van pathologische aard.

Het is mogelijk dat minieme ionenveranderingen aan de basis kunnen liggen van schommelingen in de complexe physicochemische fenomenen die gebeuren ter hoogte van de celmembraan. Dit zou een verklaring kunnen wezen voor

de discrete en inconstante verschijnselen.

Toch blijft een fundamentele vraag open : Bestaat er een drempel ?

Volgens de Russen ja : 5 kV/m voor de mens.

Volgens de Duitsers neen : de veranderingen zijn onafhankelijk van de intensiteit van het veld.

RESUME.

L'auteur passe en revue la littérature concernant les effets biologiques des champs électriques et magnétiques. Il distingue les observations faites sur l'homme et les animaux d'expérience. Les résultats trouvés ne permettent pas de conclusion uniforme. La méthodologie utilisée est d'ailleurs souvent criticable. Il subsiste une question fondamentale : y a-t-il ou non une valeur seuil ? On peut se demander si des modifications objectives ne seraient pas mieux mises en lumière par des études systématiquement programmées. Cette revue de la littérature donne des résultats qui de toute façon justifient une étude systématique de ce sujet.

ABSTRACT.

A review is made by the author of the literature about the biological effects of electrical and magnetic fields. A distinction is made between the observations made on man and the experiences on animals. The results do not allow to reach a uniform conclusion. The used methodology is furthermore often open for discussion. One fundamental question remains : is there or not a threshold value ? The question may be asked if objective modifications would not better come out in the light of systematically programmed studies. This review of the literature gives results which anyway justify a systematic study of this subject.

ZUSAMMENFASSUNG.

Der Verfasser gibt eine Literaturübersicht über die biologischen Effekte elektrischer und magnetischer Felder. Er unterscheidet am Menschen gemachte Beobachtungen und die an Versuchstieren. Die gefundenen Ergebnisse erlauben keine einheitliche Schlußfolgerung zu ziehen. Die benutzte Methodologie kann außerdem kritisiert werden. Es bleibt eine grundsätzliche Frage : gibt es einen Schwellenwert oder nicht ? Man kann sich fragen, ob objektive Veränderungen nicht besser durch systematisch programmierte Studien erhellt werden könnten. Diese Literaturübersicht gibt Ergebnisse, die jedenfalls eine systematische Studie dieses Problems rechtfertigen.

MICROGOLFSTRALING EN LEVENDIGE ORGANISMEN.

LUYPAERT P.J.

K.U. Leuven, Dept. Elektrotechniek, Afd. M.I.L.
Kardinaal Mercierlaan, 94,
3030 Heverlee - Leuven - België.

SAMENVATTING.

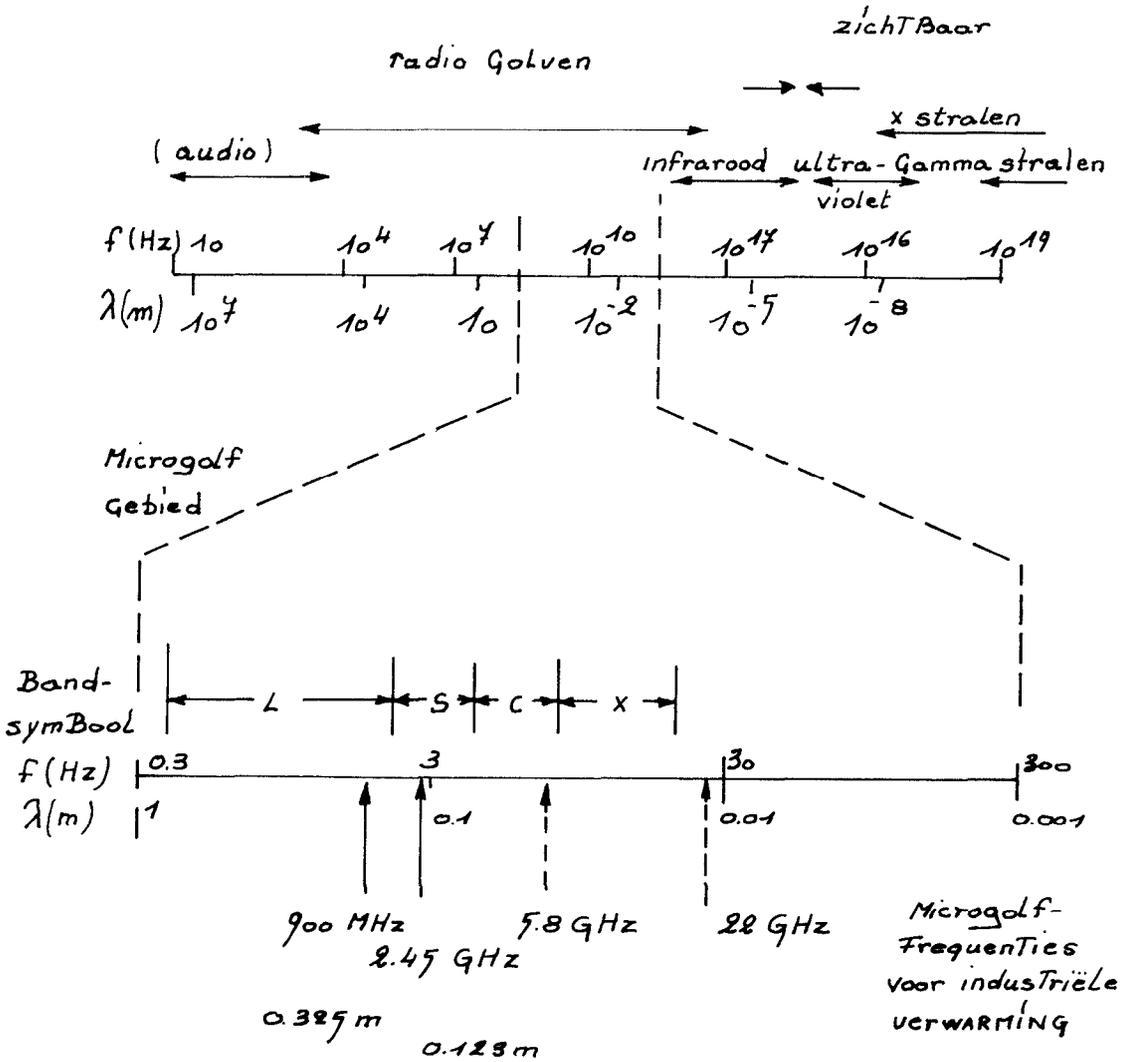
De invloed van de elektromagnetische straling op levendige organismen wordt beschreven vanuit de fysische en fysico-chemische effecten van elektromagnetische golven op waterhoudende stoffen. Diverse parameters zoals de reflectiecoëfficiënt, de indringdiepte en de specifieke absorptieverhouding volgens de orientatie, de massa en de vorm, worden achtereenvolgens besproken.

De elektromagnetische straling kan gedefinieerd worden als de voortplanting van elektromagnetische energie door middel van tijdsveranderlijke elektrische en magnetische velden. De ordening van de elektromagnetische straling volgens de frekwentie wordt het elektromagnetisch spectrum genaamd. Het microgolfspectrum strekt zich uit van 300 tot 300.000 Mhz ; wat overeenkomt met een golflengte λ respectievelijk gelijk aan 1 m en 1 mm. Het microgolfgebied in het elektromagnetisch spectrum wordt voorgesteld door fig 1.

Het praktisch gebruik van de elektromagnetische straling voor communicatiedoeleinden dateert van 1901. Het was in dat jaar dat G. Marconi de transatlantische radioverbinding realiseerde tussen Europa en de Verenigde Staten van Amerika. De toepassing van microgolven van niet-communicatiedoeleinden dateert slechts van na de 2de wereldoorlog. Het was slechts in het jaar 1945 dat het eerste patent genomen werd op het gebruik van microgolven voor verwarmingsdoeleinden onder een groep van de Raytheon Company onder leiding van Dr Spencer.

Deze ontdekking gebeurde samen met de ontwikkeling van de radar. Om economische als energiebesparende redenen, worden hoe langer hoe meer industriële toepassingen van microgolven aangewend. Microgolfvermogen eenheden van 200 tot 500 Kw microgolven zouden zeer doeltreffend kunnen aangewend worden en liggen in het bereik van de verwezenlijking. Echter de ondervinding met zulke grote vermogeneenheden en de interactie van microgolfstraling met levendige organismen, met name de biologische effecten van microgolven, zijn nog

ELECTROMAGNETISCH SPECTRUM



Het electromagnetisch spectrum en
Het microgolf gebied

Fig. 1

onbekend. Onderzoek in verband met microgolf biologische effecten heeft meestal te maken met het vinden dan wel met het bestuderen van deze effecten.

Men onderscheid twee grote categorieën van resultaten die respectievelijk kunnen toegeschreven worden aan thermische en niet-thermische effecten. De thermische effecten zijn gemakkelijker waar te nemen terwijl de niet-thermische effecten veel moeilijker worden vastgesteld en dan nog in veel gevallen na een langdurige bestraling van dosissen kleiner dan de normaal toegelaten dosis van 10 mW/cm^2 .

Nochtans mag men aannemen dat, door het blootstellen aan microgolfstraling van mens en dier, het gedrag en de fysiologie ervan verandert.

Men onderscheidt 3 gamma's van microgolfstraling :

- Een hoge gamma van straling met densiteit boven 10 mW/cm^2 .
- Een lage gamma van straling met densiteit beneden 1 mW/cm^2 .
- Een tussengamma van straling met densiteit tussen 1 en 10 mW/cm^2 .

Voor de studie van de biologische effecten is de kennis van de elektromagnetische eigenschappen van de biologische materialen van essentieel belang.

We kunnen aannemen dat biologische weefsels over het algemeen niet-magnetisch zijn en daardoor een permeabiliteit hebben gelijk aan deze van de vrije ruimte. De elektrische eigenschappen echter zijn sterk afhankelijk van de frekwentie. Deze afhankelijkheid wordt meestal beschreven als de α , β , γ dispersie, gekarakteriseerd door een afzonderlijk relaxatie mechanisme. Het kan aangetoond worden dat de α en β dispersie hun oorsprong hebben in de cell membranen, terwijl de γ

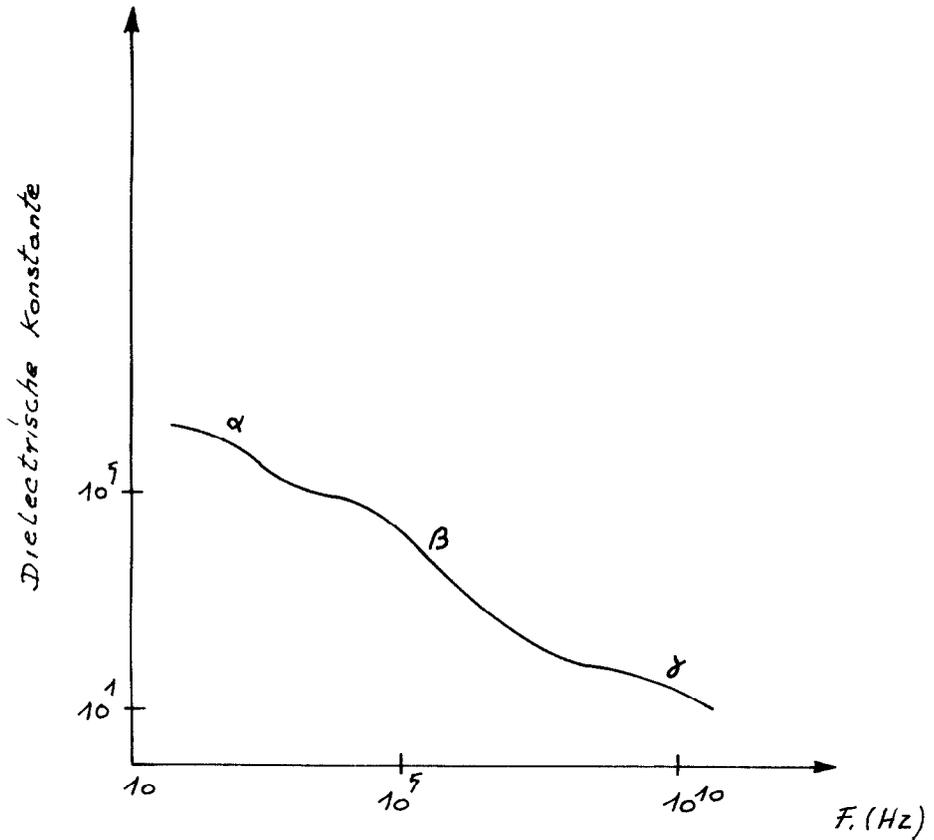


Fig 2 Dielectrische Konstante in functie van de
frekwentie van een α .B. γ . weefsel

dispersie te wijten is aan water en de elektrolyten van de weefsels. Fig. 2 toont de diëlektrischeconstante in functie van de frekwentie voor biologische weefsels van het type zoals de spierweefsels. Water is het meest voorkomende componente in de levendige weefsels en beslaat ongeveer 60 % van het totaal gewicht van het menselijk lichaam. Biologische weefsels worden daardoor geklasseerd in drie grote groepen naargelang hun waterinhoud. Deze zijn :

1. Hoogwaterinhoud (90 % en meer).

te vinden in : - elektrolyten welke cellen bevatten
 - macromoleculen
 - proteïnen
 - bloed

2. Gemiddelde waterinhoud (50 % en 90 %).

te vinden in : - huid
 - spieren
 - hersenen
 - inwendige organen

3. Laagwaterinhoud (50 % en minder).

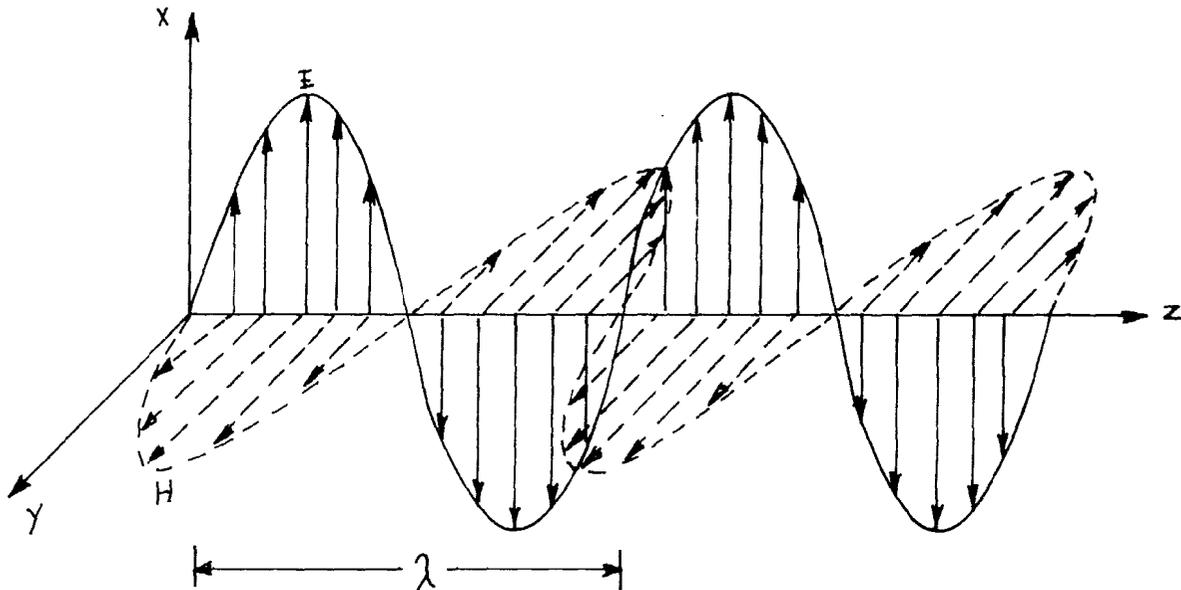
te vinden in : - beenderen
 - vet

Bespreken we nu nader de elektrische eigenschappen van levendige organismen. De elektrische eigenschappen worden gekarakteriseerd door drie parameters nml. :

- de geleidbaarheid ρ
- de permitiviteit ϵ
- de verliezen

Indien een elektromagnetische golf (fig. 3) invalt op een niet magnetische materie dan kunnen zich op macroscopische schaal twee processen voordoen :

- een oscillatie van de vrije ladingen, dat zijn de elektronen, de ionen en andere geladen deeltjes.



Schematische voorstelling van een vlakke electromagnetische golf.

Fig. 3

- een rotatie van de polaire moleculen.

Daar de biologische weefsels een elektrische weerstand en een viscositeit hebben zijn er geleidingsverliezen en diëlektrische verliezen verbonden aan deze twee processen. Men kan dan de biologische weefsels karakteriseren door een geleidbaarheid σ en een permittiviteit ϵ zodanig dat :

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot (\epsilon' - j \epsilon'')$$

waarin :

- ϵ_0 = de permittiviteit is van het luchtledige of de vrije ruimte
- ϵ' = de relatieve permittiviteit
- ϵ'' = de verliesfactor.

Uit de vergelijkingen van Maxwell kan men aantonen dat de geleidingsverliezen kunnen uitgedrukt worden in $\frac{\sigma}{\omega}$ (met ω de frequentie) welke dezelfde dimensie heeft als de verliesfactor ϵ'' . De totale verliezen zijn dan :

$$\epsilon'' + \frac{\sigma}{\omega}$$

Het proces van de oscillerende beweging van de ladingen en de diëlektrische polarisatie is niet ogenblikkelijk en vereist een relaxatietijd τ welke afhangt van de viscositeit, de temperatuur en de structuur van de elementen.

De relaxatietijd τ kan voor een homogeen vloeistof geschreven worden in de volgende uitdrukking :

$$\tau \tau = \frac{4 \pi r^3 M}{kT}$$

waarin :

- r : de gemiddelde straal van de moleculen
- M : de viscositeit
- T : de absolute temperatuur

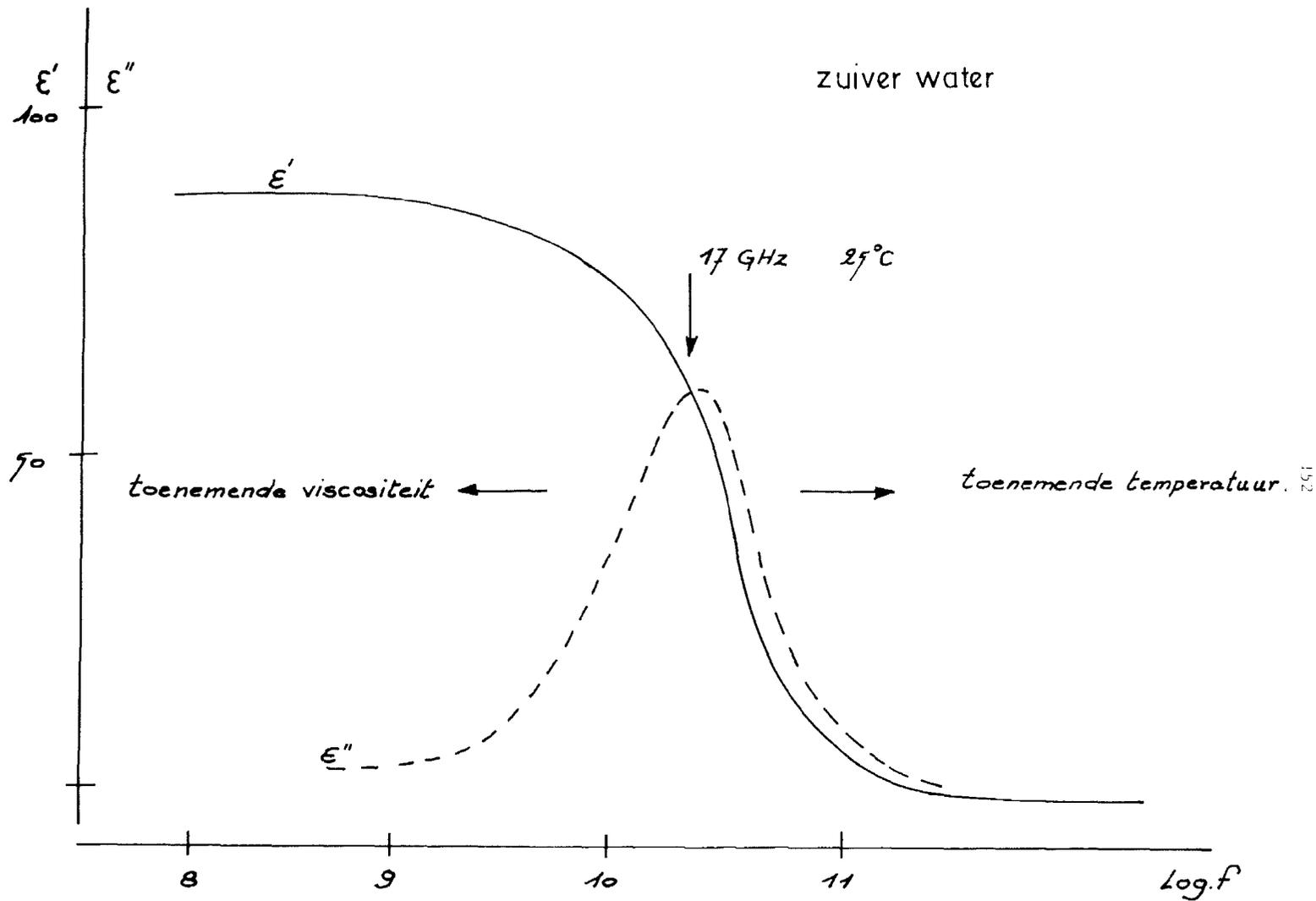


Fig. 4

k : de konstante van Boltzmann.

Het is duidelijk dat elke relaxatie gepaard gaat met belangrijke verliezen.

Voor water vrij van elke moleculaire binding wordt een verandering vastgesteld van de permitiviteit zoals weergegeven in fig. 4.

Men merkt op dat voor een frekwentie van 17 GHz, water zeer sterke diëlektrische verliezen heeft.

Onderzoekt men nu de verliezen in functie van de frekwentie voor verschillende toestanden van water dan verkrijgt men een verloop zoals voorgesteld door fig. 5. Hierin stelt men vast dat de verliezen voor een bepaalde frekwentie kunnen voordoen van verschillende toestanden waarin water zich bevindt.

Aangezien levendige weefsels zeer grote hoeveelheden water inhouden kan men besluiten dat de diëlektrische eigenschappen van de levendige materie hoofdzakelijk zal bepaald worden door hun waterinhoud. Weefsels met grote waterinhoud zoals spieren, huid en bloed hebben een verliesfactor ϵ'' van de orde van 15 tot 20, terwijl deze minder waterhoudende zoals been en vet een verliesfactor hebben van 1 tot 2.

Beschouwen we nu het indringen van een elektromagnetische golf in de levendige materie.

Wanneer een elektromagnetische golf met vermogendichtheid P_i invalt op een midden met complexe permitiviteit ϵ^* dan wordt een deel van dit vermogen P_r weerkaatst, terwijl het resterende deel P_t doorgelaten wordt. We hebben dan :

$$P_i = P_r + P_t$$

Het gedrag van het midden ter opzichte van het invallen van een elektromagnetische golf wordt gekarakteriseerd door :

- Een reflektiecoëfficiënt Γ

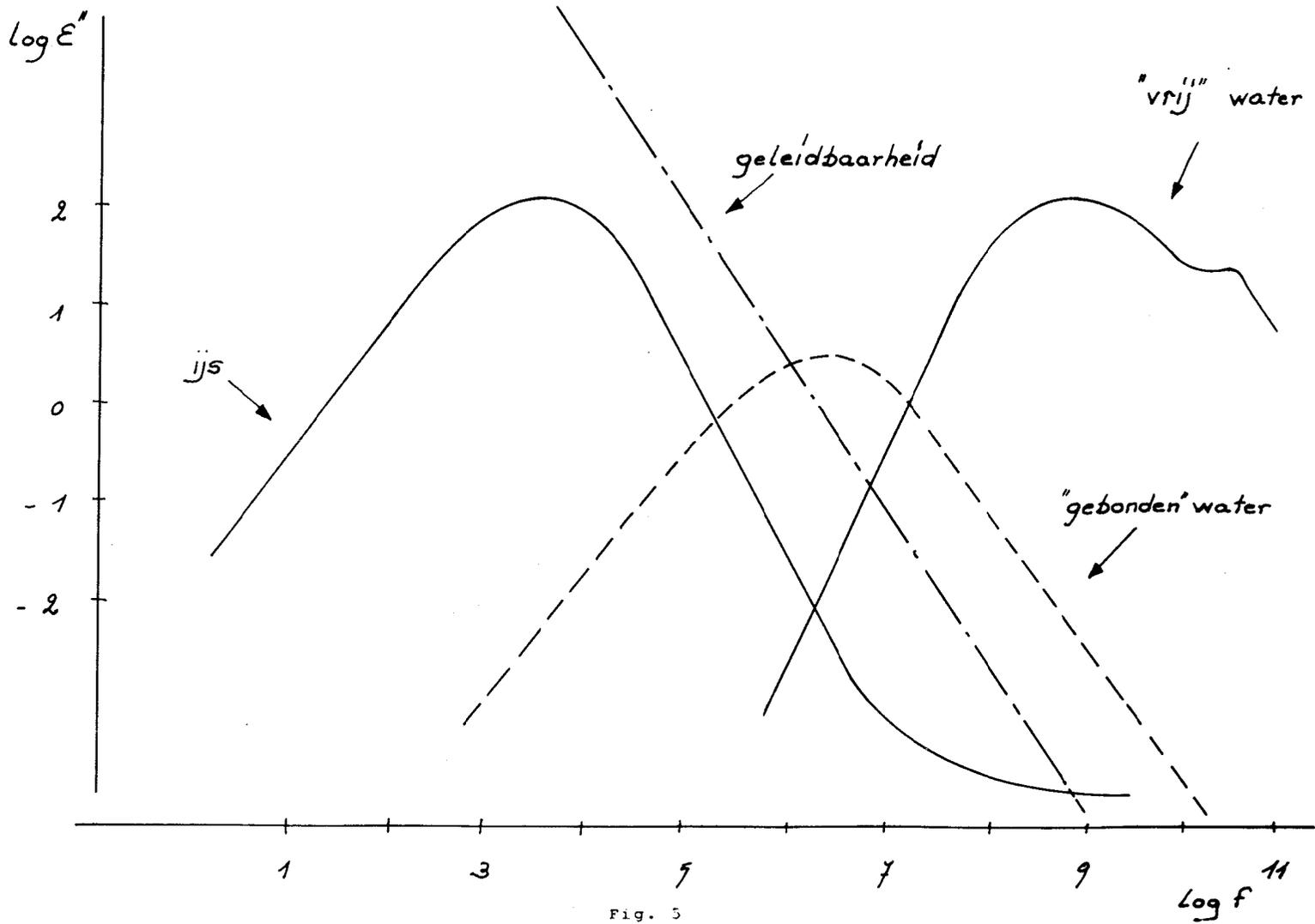


Fig. 5

- Een indringdiepte δ
- Een specifieke absorptie verhouding SAR.

1. De reflectiecoëfficiënt Γ .

De doorgang van een elektromagnetische golf van een midden met permittiviteit ϵ_1 naar een milieu met permittiviteit ϵ_2 wordt gekarakteriseerd door een reflexie coëfficiënt Γ gegeven door :

$$\Gamma = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}$$

Deze reflexiecoëfficiënt is gelijk aan de vierkantswortel van de verhouding van het weerkaatst vermogen P_r tot het invallend vermogen P_i .

In onderstaande tabel geven we Γ^2 voor enkele veel voorkomende milieu overgangen en voor frekwenties 0, 1; 1 en 10 GHz.

OVERGANG	100 MHz	1 GHz	10 GHz
lucht - huid	0,76	0,57	0,53
huid - vetlaag	0,34	0,23	0,23
vetlaag - spier	0,35	0,26	-

Tabel 1 : Γ^2 voor enkele typische overgangen.

We merken op dat de huid meer energie weerkaatst bij hoge frekwenties.

2. De indringdiepte δ .

De doorgang van een elektromagnetische golf wordt tevens gekarakteriseerd door een indringdiepte δ . Deze wordt gedefinieerd door de afstand waarop het doorgelaten vermogen P_t gelijk is

aan $(\frac{1}{e})^2$ maal het invallend vermogen. We kunnen stellen dat dan ongeveer 86 % van het invallend vermogen gelocaliseerd is over een afstand van δ .

Verder hebben we :

$$P_i = P_r + P_t$$

In tabel II geven we de indringdiepte in functie van de frequentie voor enkele biologische weefsels.

WEEFSEL	HERSENEN	OOG	VETLAAG	SPIER	HUID
100 MHz	3,56	9,42	20,4	3,45	3,76
1 GHz	1,93	2,91	6,40	1,45	1,64
10 GHz	0,17	0,17	1,10	0,30	0,19

Tabel II : Indringdiepte δ (cm) voor enkele typische biologische weefsels.

3. De specifieke absorptieverhouding.

Opdat de resultaten van het gedrag van dieren bij bestraling door elektromagnetische golven een basis zouden vormen voor de bestraling van de mens, wordt een specifieke absorptieverhouding SAR ingevoerd in W/kg voor een gegeven vermogen dichtheid van de elektromagnetische energie.

Deze absorptieverhouding staat in relatie tot de massa van het bestraalde subject, de dimensie van het subject met betrekking tot de golflengte en met de oriëntatie t.o.v. de polarisatie van het elektromagnetisch veld.

- Invloed van de oriëntatie.

Indien de vorm van het subject kan beschouwd worden als een

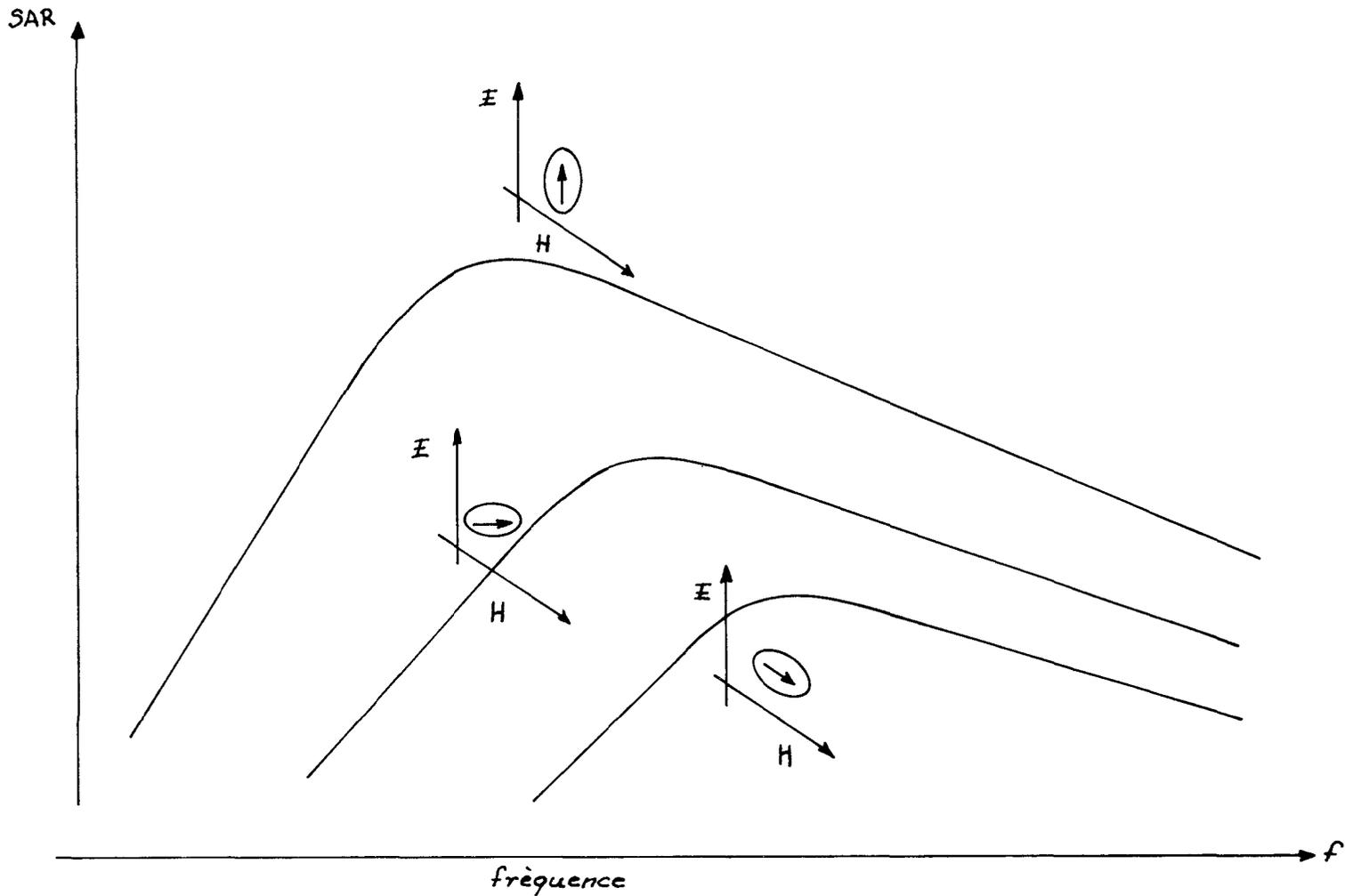


Fig 6 SAR in functie van de orientatie van het E.M. veld.

ellipsoïde met een homogene permittiviteit, dan zal de specifieke absorptieverhouding verschillend zijn naargelang de grote as van de ellipsoïde gericht is evenwijdig met het elektrisch veld \vec{E} , het magnetisch veld \vec{H} of loodrecht op beide velden.

Fig. 6 toont het verloop van de absorptie verhouding S.A.R. in funktie van de frekwentie of voor de drie richtingen.

- Invloed van de massa en de vorm.

Theoretisch en experimenteel kan men aantonen dat een toename van de vorm en de massa van de ellipsoïde een verplaatsing heeft van de krommen op fig. 6 naar lagere frekwenties. Deze verplaatsing gaat tevens gepaard met een vermindering in waarden van SAR. Boven een zekere maximum specifieke absorptie die voor de volwassenen voorkomt bij een frekwentie f_m van 60 à 70 MHz, wordt de specifieke absorptie verhouding gegeven door de volgende vergelijking :

$$SAR = 60 \frac{L}{f M}$$

waarin :

SAR in Watt per kg
 f : frekwentie in GHz
 L : lengte in cm
 M : massa in gs.

In tabel III wordt een vergelijking gemaakt tussen de specifieke absorptie tussen een rat van 320 gr. en een mens van 70 kg.

Vertrekkend van de gegevens die de interactie bepalen van de electromagnetische velden met levendige materie kan men veiligheidsnormen opstellen die een voldoende bescherming bieden voor personen blootgesteld aan deze straling.

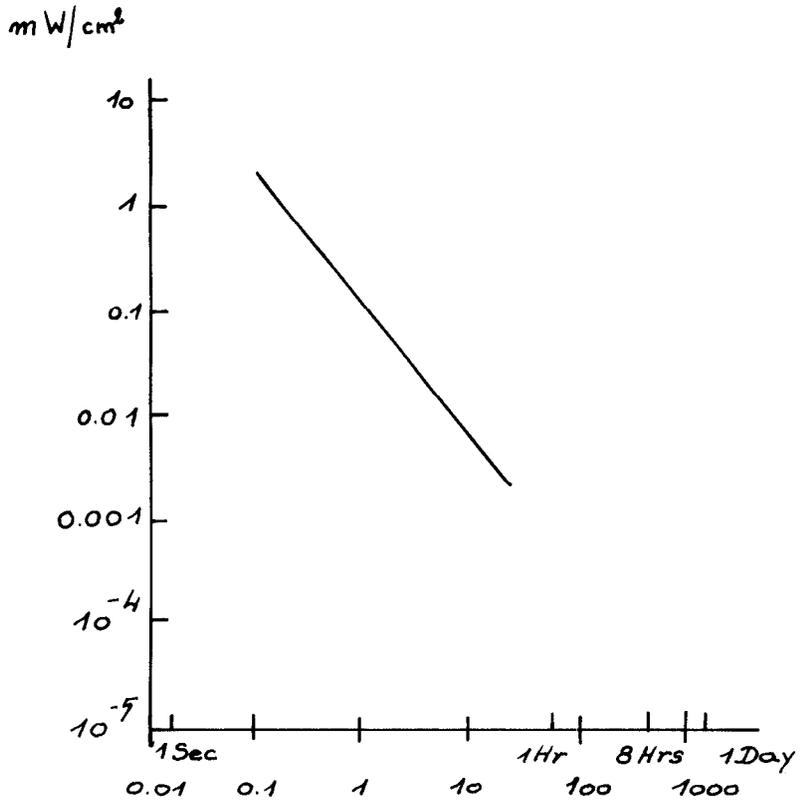


Fig 7 Max. vermogen dichtheid in functie van tijd.

6 MHz	SAR rat 320 g	SAR mens 70 kg	Vermogen v.e. rat welke dezelfde SAR heeft als v. e. mens bij 10 mW/cm ²
10	0,004 (onder f _m)	0,02 (onder f _m)	53 mW/cm ²
100	0,21 (onder f _m)	1,9 (dichtbij f _m)	90 mW/cm ²
1000	4,1 (dichtb. f _m)	0,44 (boven f _m)	1,1 mW/cm ²

Tabel III : SAR vergelijken voor een rat en een mens.

Nochtans een juiste bepaling van deze normen is complex en moet steunen op verschillende tegenstrijdige beschouwingen. Steunend op recente experimentele gegevens is het bestaan van biologische effecten bij een straling beneden een gemiddeld vermogen van 10 mW/cm² zeer twijfelachtig. Nochtans werden niet-thermische effecten vastgesteld beneden de grens van 10 mW/cm². Een grondige en doorgedreven onderzoek op gebied van storingen op het centraal zenuwstelsel veroorzaakt door elektromagnetische stralen in het microgolfgebied dringt zich op.

In fig. 7 geven we de max. vermogendichtheid waaraan een persoon mag blootgesteld worden in functie van de tijd. Dit is de welgekende stralingsstandaard welke opgesteld was door het "American National Standards Institute" in 1966 onder n° ANCI standard C95.1 en aanvaard werd onder de OSHA regulaties in de U.S.A.

Als besluit nog een woord in verband met stralingsnormen. De meeste westerse landen beschouwen stralingsuitzendnormen

terwijl de Oostblok landen bestralingsnormen hanteren.
Vandaar dat de normen voor de eerste 1000 keren groter zijn
dan voor de tweede.

Als algemeen besluit kan ik stellen dat wat de niet-thermische
biologische effecten betreft men nog weinig of geen afdoende
gegevens heeft voor een juiste bepaling van de hoeveelheid en
de aard van toegelaten bestraling.

Vooraf door het in gebruik stellen in de toekomst van kracht-
tige microgolfvermogen eenheden is de kennis van biologische
effecten van groot belang gezien de ontwikkeling van afscherm-
systemen een delikate en moeilijke operatie is.

Om hieraan tegemoet te komen werd een samenwerking tot stand
gebracht tussen de afdeling Microgolven en Lasers van de
K.U.L. en het Studiecentrum van Kernenergie te Mol. Dit om
het gedrag van dieren te bestuderen in een microgolfmilieu.

REFERENTIES.

- (1) "Microwave Bioeffects and Radiation Safety"
Transactions on the International Microwave Power Insti-
tute, Edmonton, ALBERTA, Canada.
- (2) "Les Applications des Micro-ondes"
Comité Français d'Electrothermie, Paris, France.

RESUME.

L'influence du rayonnement électromagnétique sur les organismes vivants est décrite à partir des effets physiques et physico-chimiques de ces rayonnements sur les substances hydratées. Divers paramètres tels que le coefficient de réflexion, la profondeur de pénétration et le coefficient d'absorption spécifique en fonction de l'orientation, de la masse et de la forme sont passés en revue.

ABSTRACT.

The effects of electromagnetic waves on living organisms are described starting from the physical and physico-chemical effects of electromagnetic waves on water containing substances. Some parameters among which the reflection coefficient, the penetration depth and the specific absorption coefficient in function of orientation, mass and form are subsequently commented.

ZUSAMMENFASSUNG.

Die Einwirkung von elektromagnetischen Strahlen auf Lebewesen wird anhand der physischen und physikalisch-chemischen Effekte beschrieben, die elektromagnetische Wellen auf wasserhaltige Substanzen ausüben. Verschiedene Parameter, wie der Reflexionskoeffizient, die Eindringtiefe und das spezifische Absorptionsverhalten als Funktion der Orientierung, der Masse und der Form werden nacheinander besprochen.

Annales de l'Association Belge de Radioprotection, vol. 4, n° 3.

EFFETS BIOLOGIQUES AUTOUR DES EMETTEURS RADIOS (ONDES COURTES).

Docteur J. SPORCQ.

R.T.B.F. Boulevard Aug. Reyers, 52, 1040-BRUXELLES (BELGIQUE).

14 mars 1980.

RESUME.

L'analyse bibliographique des effets biologiques des champs électromagnétiques nous incite à penser que le risque est essentiellement un risque d'accident. Néanmoins, pour s'assurer que, là où des travailleurs sont susceptibles de séjourner, il n'y a pas d'ondes stationnaires, il serait nécessaire de procéder à des mesures des champs électromagnétiques. La méthode consiste à déterminer théoriquement la distribution du champ et ensuite de confronter cette détermination avec les mesures pratiques réalisées.

INTRODUCTION.

Le titre de l'exposé que je vais avoir l'honneur de vous faire avait été suggéré par l'Association Belge de Radioprotection sur base des préoccupations qu'ont les services médicaux du travail des Instituts de Radio-Télévision. Cependant, ce que l'on sait aujourd'hui des effets éventuels des ondes courtes autour des émetteurs radios est très restreint et n'a guère évolué, à ma connaissance au moins, depuis quelques années. Je crois donc qu'il serait utile d'élargir quelque peu le domaine à traiter, en fonction des réalités notamment existantes à la R.T.B.F.

Tout d'abord, les émissions ne sont pas limitées à la "radio" mais aussi à la "T.V.". En outre, on n'émet pas que des ondes courtes mais aussi des ondes A.M., des ondes F.M.-TV et des micro-ondes. La réalité est donc la présence simultanée des champs électromagnétiques de diverses origines, dans une zone relativement restreinte, entourant les centres d'émission (par exemple à Wavre ou au Palais de Justice à Bruxelles).

Un titre plus exact aurait été "Evaluation des risques liés au travail dans des champs électromagnétiques intenses".

Disons tout de suite qu'aucun effet biologique n'a été constaté parmi le personnel travaillant dans ces centres émetteurs, jusqu'à présent. 66 personnes ont été examinées régulièrement depuis 5 ans et aucune altération de l'état de santé n'a pu être imputée au séjour dans les champs électromagnétiques. La littérature occidentale ne cite que quelques effets mineurs dont la relation avec les champs électromagnétiques n'est pas clairement établie. Les analyses bibliographiques des pays de l'Est sont plus prolixes mais les troubles que certains auteurs attribuent aux champs électromagnétiques sont tous des troubles généraux, assez vagues, pouvant être probablement le résultat d'autres facteurs. Ce sont pour la plupart des céphalées, des fatigues générales, de l'irritabilité etc... Ces lésions ont toutes un caractère subjectif indéniable rendant difficile voire impossible une interprétation objective de la relation avec les conditions de travail liées aux champs électromagnétiques.

Toutefois, à partir des études effectuées sur les champs électromagnétiques créés par les radars, et sur bases scientifiques solides, et en fonction d'une pathologie objective réelle et d'une expérimentation animale sérieuse, on a pu établir des normes et des limites d'exposition au risque en fonction de la puissance du champ et du temps d'exposition. Une puissance de 10 mW/cm² est habituellement adoptée comme seuil de nocivité pour une exposition permanente pendant une activité professionnelle normale.

Certains auteurs ont tenté de mesurer les effets que pouvaient avoir les champs électromagnétiques sur les organes génitaux, les organes endocriniens, les tissus osseux, nerveux, le sang, le coeur, les yeux, sur la thermorégulation, etc... Aucune pathologie particulière spécifique n'a pu être mise en évidence pour les rayonnements compris dans les zones d'émission radio-TV et notamment celles utilisées en Belgique. En particulier, on n'a constaté aucune altération du cristallin.

Il est signalé l'importance que peuvent avoir les champs électromagnétiques sur le fonctionnement de pace-makers mais il s'agit ici de cas particuliers où l'altération de la santé n'est pas liée directement aux champs électromagnétiques, mais aux effets de ceux-ci sur le fonctionnement de tels appareils, eu égard à leurs caractéristiques électroniques.

Néanmoins, le problème d'évaluation des risques auxquels seraient soumis les travailleurs dans ces champs électromagnétiques n'est pas aussi simple. Il est évidemment heureux de constater que la pathologie associée à ce genre d'activité semble extrêmement réduite en ce qui concerne les fréquences utilisées en radio et T.V. Mais la multiplication des sources d'émissions sur le même territoire (100 ha à Wavre pour la R.T.B.F. et une partie de la B.R.T.) fait songer aux possibilités d'ondes stationnaires, de présence de noeuds, où les champs électromagnétiques sont susceptibles de distribuer une énergie considérable. La situation géographique de ces endroits n'est pas encore définie et c'est sur cette distribution hétérogène de la puissance dans l'espace que je crois indispensable d'attirer l'attention. Jusqu'à présent, on ne dispose pas de mesures valables de la distribution spatiale des champs électromagnétiques autour des émetteurs de radio-TV. Néanmoins, l'IMART (International Médical Association for Radio and Télévision) a décidé de procéder à de telles recherches et l'élaboration des instruments de mesure est à l'étude.

La méthodologie est intéressante et il serait peut-être utile que je vous en donne un rapide aperçu. L'approche sera double :

- a) Une détermination théorique sera effectuée.
- b) Une série de mesures pratiques seront réalisées.

La détermination théorique de la répartition des champs électromagnétiques de fréquence élevée dépend notamment de l'antenne utilisée.

On ne tient pas compte de la réflexion possible sur certaines surfaces (bâtiments, cage de Faraday, pylônes métalliques) et en considérant une seule antenne à la fois, nous considérerons :

- a) les antennes à ouvertures circulaires.
- b) les antennes à ouvertures elliptiques ou rectangulaires (filets).

Mais au préalable, je donnerai quelques informations pratiques :

1. Emissions Belges.

Bande de :		Emission :			
MF	300-3000 KHz	Radio	483m	621 KHz	RTB 1
HF	3-30 MHz	Ondes courtes ou Ondes "radio"			
VHF	30-300 MHz	TV et FM		91,2 MHz	RTB 2
				93,2 MHz	RTB 1
				96,1 MHz	RTB 3
UHF	300-1000 MHz	TV			
SHF	3-11 GHz	Faisceaux Hertziens		3,4-4,2 GHz	
		Micro-ondes			
		Micro-waves			

2. La réflexion des ondes HF, VHF, UHF et SHF se fait sur la troposphère (ceintures Van Haelen, zones d'ionisations) mais aussi sur les obstacles terrestres : bâtiments, ... Cependant, cette dernière réflexion est négligeable. En effet, l'énergie réfléchie n'est que de quelques pourcents de l'énergie émise, au maximum 10 à 20 % sur des objets entièrement métalliques tels que les pylônes.

3. Une émission, en principe sphérique homogène, peut être orientée dans une zone privilégiée, grâce à des réflecteurs de diverses formes (plans, paraboliques, ...). On obtient alors dans la zone privilégiée un "gain".

4. Lors d'une émission, on peut connaître la puissance qui est envoyée dans le guide d'ondes ; on peut évaluer et calculer les pertes dans ce guide d'ondes et, en fonction des caractéristiques de l'antenne, avoir une mesure de l'énergie qui sort de l'antenne.

5. L'intensité de champ (E) (exprimée en Volts/m) décroît en raison inverse de la distance.

La puissance surfacique (P) (exprimée en mW/cm²) décroît en raison inverse du carré de la distance.

Il existe une relation entre E et P : $E = k\sqrt{P}$
 $k = \sqrt{120 \pi}$

6. Lobes. Autour du point d'émission se forment des lobes dont un lobe principal (A) correspond à une répartition théorique de la puissance émise en fonction de l'azimut.

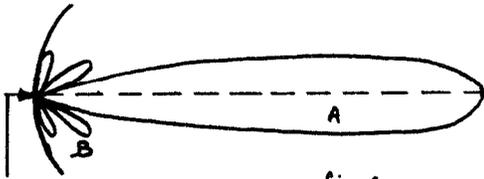


Fig. 1

Mais des lobes secondaires apparaissent par effets de bord ou effets parasites en général (B). Leurs formes sont difficilement déterminables eu égard aux nombreux facteurs qui les conditionnent.

Les constructeurs d'antennes donnent néanmoins les caractéristiques des enveloppes des lobes secondaires.

Exemple : (B)

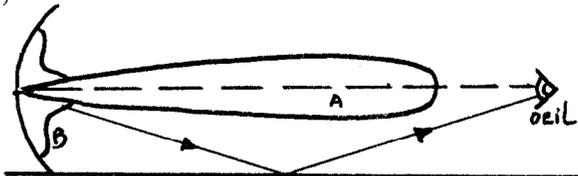


Fig. 2.

Il est à noter ici qu'il existe des possibilités de réflexion des lobes secondaires et que ces rayonnements réfléchis pourraient atteindre l'oeil de l'homme.

7. A proximité immédiate du pied des pylônes (antennes émettrices) il faut tenir compte du champ magnétique. Celui-ci est à peu près nul à une distance d'environ 2λ , mais peut être important à une distance d' $\frac{1}{10}\lambda$.

8. La hauteur des pylônes. L'idéal est atteint lorsque la hauteur de l'antenne est égale à une longueur d'onde (λ) ou un multiple. Cependant, pour les grandes longueurs d'ondes (quelques centaines de mètres), le rendement est acceptable avec une hauteur de pylône d' $\frac{1}{2}\lambda$. On choisit en fait $0,53\lambda$ pour éviter les effets parasites. (réduction des lobes secondaires).



Fig. 3

A Wavre, le pylône émetteur en ondes moyennes (621 KHz, 483m) a une hauteur de 265m. Au pied de ce pylône, on enregistre un champ électromagnétique de l'ordre de 30.000 V/m. (220 V/7mm). On comprend aisément pourquoi l'emploi d'échelles métalliques est strictement proscrit à cet endroit : le choc électrique que recevrait éventuellement un travailleur, bénin en soi, pourrait par effet de surprise le déséquilibrer et être la genèse d'accident.

A plus ou moins 10m du pylône, la grille métallique de protection est soumise à un champ de 100-1000 V/m. Il y a à cet endroit de sérieux risques de brûlure et d'électrocution.

A titre anecdotique, signalons que plusieurs bovidés ont été foudroyés à cet endroit. Les moutons, actuels pensionnaires de la RTB, ont un revêtement diélectrique plus protecteur et en outre ne se grattent pas le dos. Nombreux sont les oiseaux morts retrouvés au bas des antennes.

Toujours à titre anecdotique, mais qui illustre cependant bien la présence de champs électromagnétiques considérables, citons l'incident que l'on a appelé des "lits chantants". Un homme pour personnes âgées, voisin immédiat des émetteurs de Wavre, était équipé de lits anglais (cages métalliques). Les contacts métal-métal ont fait office de poste récepteur et les "patients" se voyaient condamnés à entendre les émissions dans leurs lits-récepteurs ! Il a fallu les doter de lits en bois.

Ces derniers inconvénients ne sont pas bien dangereux. Mais par contre, il existe, dans un rayon de plus ou moins 3 Km, un risque d'étincelle. De ce fait, toutes les stations d'essence, et les camions de remplissage des citernes à combustibles, doivent être spécialement protégés.

Les mesures proprement dites des champs électromagnétiques ne peuvent être effectuées par les bolomètres habituels. En effet, ceux-ci ne sont pas sélectifs aux grandes intensités telles qu'elles existent dans l'enceinte des émetteurs : on capterait simultanément toutes les énergies. Il y a donc nécessité à utiliser d'autres appareils tels que ceux utilisés pour des mesures analogues près des émetteurs radars. Le principe de la méthode est d'étudier ce que serait théoriquement la répartition des champs électromagnétiques dans l'espace où évoluent des travailleurs. Ensuite d'effectuer une série de mesures expérimentales et enfin de confronter les deux. Cependant, il est très difficile de faire cette détermination théorique, qui nécessite des moyens informatiques (ordinateurs,...) très importants, eu égard notamment aux simulations et aux éléments perturbateurs (autres antennes) dont l'influence peut être relativement élevée.

Il convient de distinguer les antennes à ouverture circulaire des antennes à ouverture rectangulaire ou elliptique.

1. Théorie des antennes à ouverture circulaire.

a) Longue distance r. (supérieure à R) (voir b)

$F = P - T + G - 10 \log (4\pi r^2)$ dBW/m². (1) "for field formula" Champ éloigné.

F = puissance de flux sur l'axe de l'antenne à une grande distance r de l'antenne.

P = puissance moyenne ou de pic de l'émetteur (dBW = décibels au-dessus de 1 Watt).

G = gain de l'antenne (décibels au-dessus de l'antenne isotropique (où gain = 0)).

T = atténuation (décibels) entre l'émetteur et l'antenne.

D = diamètre de l'antenne.

λ = longueur d'onde : en mètre.

Si la puissance irradiée est distribuée uniformément sur toute l'ouverture de l'antenne : le gain maximum

$G = 20 \log (\pi D/\lambda)$ dB = $10 + 20 \log (D/\lambda)$ dB. (2)

En réalité, sur terre : G = 7 ou 8 + 20 log (D/λ) dB.

L'efficacité en cas de G = 8 + 20 log (D/λ) dB est de -2 dB ou 63%.

N.B. : dBW = $10 \log_{10} \frac{P}{W}$.

b) Courte distance R.

C'est à dire la distance de l'antenne telle qu'un point P sur l'axe à cette distance, est plus loin du bord de l'ouverture M de $\frac{\lambda}{4}$ que du centre de l'ouverture N.

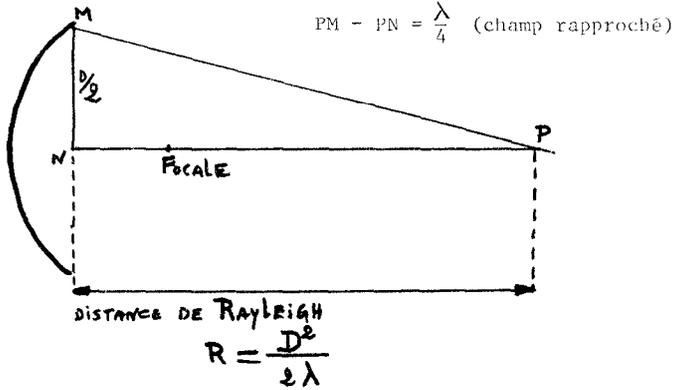


fig.4.

Il s'ensuit que la phase de l'onde atteignant P de M est de 90° par rapport à l'onde atteignant P venant de N. Donc, l'actuel champ en P est sensiblement moindre que celui calculé par l'équation (1).

Dans le champ éloigné, ces phases sont semblables.

Si P est à la distance de Rayleigh :

$$PM - PN = \frac{\lambda}{4}$$

$$\left(\frac{R^2 + D^2}{4}\right)^{\frac{1}{2}} - R = \frac{\lambda}{4} \text{ donc } R = \frac{D^2}{2\lambda} \quad (\text{si } \frac{D}{\lambda} \gg 1)$$

Donc la puissance de flux sur l'axe à une distance R de l'antenne est $L = P - T + G - 10 \log (4\pi R^2)$. (3)

(R = Rayleigh)

Il s'ensuit que des équations (1) et (3), la puissance de flux sur l'axe à une distance r de l'antenne est égale à $-20 \log \frac{r}{R}$ dB relativement à L. Cela est vrai seulement dans le champ éloigné, c'est à dire à une distance supérieure à $-3R$.

Le flux hors axe peut être trouvé à partir du flux dans l'axe, en relation des caractéristiques de radiation de l'antenne.

La plage entre les points à 3 dB est approximativement $\frac{64\lambda}{D}$ degrés ou $\frac{1,12\lambda}{D}$ radians.

La puissance de flux à $\frac{0,56\lambda}{D}$ radians de l'axe est de ce fait 3 dB moindre que sur l'axe à la même distance r de l'antenne.

La distance de l'axe de ces points à 3 dB est de ce fait $0,56 r \frac{\lambda}{D}$ donc la distance de l'axe des points à 3 dB est de $0,28 \frac{r}{R} D$.

Par exemple, si $r = 5R$, les points à 3 dB de l'axe sont à $1,4 D$ de l'axe.

Les autres points peuvent être calculés de la même manière.

- c) La région située en avant d'une antenne à ouverture circulaire (de diamètre D) peut être divisée en région à champ rapproché et région à champ éloigné, avec les propriétés suivantes :
- La région à champ rapproché est comprise à une distance R de l'antenne, ou $R = \frac{D^2}{2\lambda}$. Dans cette zone, la puissance est approximativement entièrement contenue dans un cylindre de rayon $\frac{D}{2}$.
 - Dans la zone éloignée (à une distance supérieure à R de l'antenne) la puissance s'étaie en éventail. ($F =$ équation (1)). En fait, pour les zones immédiatement voisines de R (un peu supérieure) l'équation (1) donne une surestimation du flux dans l'axe, mais jamais supérieure à 0,8 dB.

2. Pour les antennes à ouverture elliptique ou rectangulaire :

Il y a trois régions :

a) Champ rapproché.

En dedans de la distance $R_2 = \frac{B^2}{2\lambda}$ de l'antenne : quasi toute la puissance est comprise dans un cylindre elliptoïde dont l'axe est l'axe de l'antenne et la base l'antenne B .

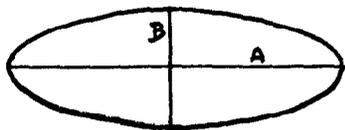


fig. 5

La formule : $L = P - T + G - 10 \log (4\pi R^2)$ et $D = A$ ou $\frac{A^2}{B}$.

Si le gain G n'est pas connu, on peut le calculer par la formule : $G = 8 + 10 \log \frac{AB}{\lambda^2}$.

b) Le champ éloigné.

A une distance R_1 égale ou supérieure à $\frac{A^2}{2\lambda}$ de l'antenne : la formule (1) donne la puissance du flux.

c) La zone intermédiaire.

Entre R_1 et R_2 de l'antenne où la puissance se disperse dans la direction B et non A .

Cela correspond à une efficacité de 63% pour les ouvertures elliptiques et 50% pour les ouvertures rectangulaires. Il est plus difficile d'estimer le flux dans la zone intermédiaire (entre R_1 et R_2).

$$L_2 = P - T + G - 10 \log (4\pi R_1 R_2). \quad R_2 = \frac{B^2}{2\lambda}$$

Il est possible de calculer la jonction entre la zone intermédiaire et la zone éloignée et de donner une estimation de la puissance du flux tous azimuths à une distance de $\frac{5A}{\lambda}$. Il est intéressant de noter que si nous posons l'efficacité à 63% et ainsi utilisons l'équation :

$$G = 8 + 10 \log \frac{AB}{\lambda^2}; \quad (4)$$

nous obtenons : $L_2 = P - T + 3 - 10 \log (AB)$. (5)

ce qui est deux fois la puissance / AB .

Pour estimer les effets biologiques, P, dans les équations

$$L = P - T + G - 10 \log (4 \pi R^2)$$

$$\text{et } L2 = P - T + G - 10 \log (4 \pi R1 R2),$$

est la puissance moyenne.

Pour estimer les risques d'étincelles, P est la puissance de pointe (peak power).

Le niveau de radiation qui est officiellement admis comme un risque pour les animaux est de 100 W/m^2 de puissance moyenne, et de $3000 \text{ f}^2 \text{ W/m}^2$ de puissance de pointe pour le risque d'étincelle, où f = fréquence en GHz.

Les conventions internationales doivent, dans l'octroi des bandes de longueurs d'ondes aux différents instituts, tenir compte des interférences possibles d'ondes dont les longueurs seraient des harmoniques les unes des autres. Mais, malgré toutes les précautions, il est toujours possible qu'un cumul de longueurs d'ondes ne devienne multiple ou sous-multiple d'une nouvelle onde émise et ainsi aboutisse à la création de zones d'interférences.

En conclusion, nous constatons que le risque dû aux champs électromagnétiques autour des émetteurs radio-TV est essentiellement un risque d'accident.

Il serait néanmoins important de procéder aux mesures réelles afin de s'assurer de l'absence d'ondes stationnaires dans l'espace où sont susceptibles de se trouver des travailleurs (entretien des hautbancs, du terrain, des pylônes, balises, etc...).

Je tiens à remercier ici Monsieur F. PETRONIO, Ingénieur à la RTBF qui a bien voulu superviser la partie technique de cette communication.

REFERENCES.

- (1) CZERSKI, Przemyslaw, SZMIGIELSKI, Stanislaw, "Microwave bioeffects. Current status and concepts", Focus. Microwave components, february (1976).
- (2) DEROCHE, M., "Etude des perturbations biologiques chez les techniciens O.R.T.F. dans certains champs électromagnétiques de haute fréquence", Société de Médecine et d'Hygiène du Travail, séance du 10 mai (1971) 679-683.
- (3) HUNTER, James T., "Low Power can be a radiation hazard, too", Microwaves, august (1968).
- (4) MAGGI, G., CARRESCIA, V., "Gli effetti dei campi elettromagnetici sull uomo", ENPI 51 (1973).
- (5) MASSOUDI, Habib, DURNEY, Carl H., JOHNSON, Curtis C., "Long-Wavelength Analysis of Plane Wave Irradiation of an Ellipsoidal Model of Man", IEEE Transactions on microwave theory and techniques, Vol. MTT-25, n° 1, january (1977).
- (6) MASSOUDI, Habib, DURNEY, Carl H., JOHNSON, Curtis C., "Long Wavelength Electromagnetic Power Absorption in Ellipsoidal Models of Man and Animals", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-25, n° 1, january (1977).
- (7) MIKOLAJCZYK, H., "Rayonnements non-ionisants (fréquences radioélectriques)", V.E.R., 62ème réunion du bureau de la Commission Technique Salzbourg, 6-9 septembre (1977).
- (8) PEPERSACK, J.P., "Effets physiopathologiques des radiations de hautes fréquences", Cahiers de Médecine du Travail, Vol. XIV, n° 4, décembre (1977).
- (9) PEPERSACK, J.P., "Rayonnement radar et médecine du travail. Mise au point", Cahiers de Médecine du Travail, Vol. XII, n° 3, octobre (1975).
- (10) SHINN, D.H., "Avoidance of radiation hazards from microwave antennas", The Marconi Review, Vol. XXXIX, n° 201, second quarter (1976).
- (11) UNION EUROPEENNE DE RADIODIFFUSION, "Propositions de directives pour l'utilisation de l'espace au voisinage des stations d'émission", U.E.R., C.T./I.I.B., 62ème réunion du bureau de la Commission Technique, Salzbourg, 6-9 septembre (1977).

- (12) VAN DIJCK, J.G.R., "Radio golven... nieuwe belasting voor het Leefmilieu (?!)", Radio-Electronica, n° 19, (1972).
- (13) VAUTRIN, J.P., CAVELIER, C., CLAUZADE, B., Centre de recherche de l'I.N.R.S., "Le rayonnement électromagnétique radiofréquences", note n° 1127-92-78 (39-14), CDU 62137 : 538.56, Cahiers de notes documentaires, n° 92, 3ème trimestre (1978).

SAMENVATTING.

Na een overzicht van de bibliografie, betreffende de biologische effecten van electromagnetische velden, is het duidelijk dat het essentieel risico een risico van ongeval is. Maar om zeker te zijn dat er geen stationnaire golven bestaan in de ruimte waar werknemers verblijven, is het noodzakelijk een meting van de electromagnetische velden uit te voeren. Door de voorgestelde methode is een theoretische indeling van het krachtveld bepaald die aan een aantal praktische metingen getoetst wordt.

ABSTRACT.

An analysis of the bibliography concerning the biological effects of the electromagnetic fields shows that the risk is essentially a risk of accident. Yet, to be sure that no stationary wave exists in the area where the workers can be present, it could be necessary to measure the electromagnetic fields. The method consists in determining the theoretical distribution of the field and comparing it with practical measures.

ZUSAMMENFASSUNG.

Eine bibliographische Studie über die biologischen Effekte elektromagnetischer Felder läßt vermuten, daß das Risiko im wesentlichen im Unfallrisiko besteht. Um jedoch die Abwesenheit stationärer Strahlen in Arbeitsräumen sicher zu stellen, wird es als notwendig erachtet, eine Messung des elektromagnetischen Feldes auszuführen. Die Methode besteht darin, die Verteilung des Feldes theoretisch zu bestimmen und anschließend diese Bestimmung den praktisch ausgeführten Messungen gegenüber zu stellen.

MESURES DE PROTECTION AUTOUR DES
INSTALLATIONS L A S E R.

DELHOVE J.

CONTROLATOM Asbl.
198, Boulevard Général Jacques,
1050 Bruxelles.

RESUME :

Les applications du LASER se développent progressivement dans de nombreux domaines. Le rayonnement présente un risque pour l'homme et exige des protections adéquates.

Après un rapide rappel des principes et des propriétés des rayonnements LASER, l'auteur décrit les mesures de protection à prendre en considération pour assurer la protection du personnel autour de cette installation.

1. HISTORIQUE.

Le LASER est un dispositif conçu pour produire un rayonnement lumineux (compris dans son sens large : c.a.d. rayonnement infra-rouge -IR, visible et Ultra-Violet -UV) cohérent, c'est-à-dire dont toutes les composantes sont en phase, orientées suivant un même axe.

Le terme LASER est formé des initiales de "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation." (Amplification de lumière par émission stimulée).

La première expérience LASER a été réalisée en 1960 aux U.S.A. dans les laboratoires de la Hughes Aircraft Co sous la direction du professeur MAIMAN.

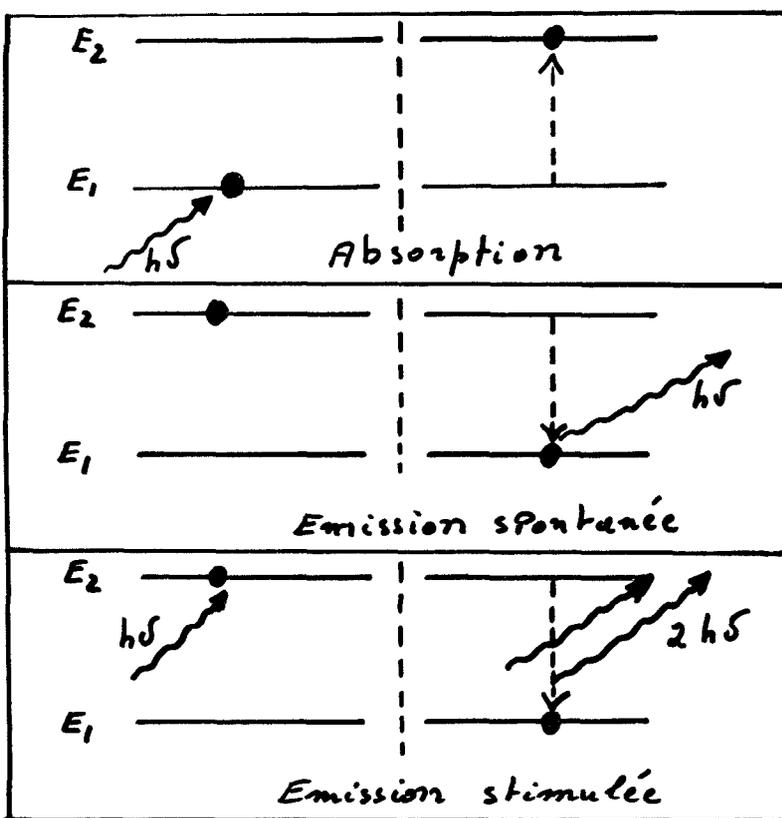
Depuis lors, les applications du LASER se sont progressivement développées dans des domaines aussi variés que l'usinage, le soudage, l'optique, la métrologie, la médecine, etc.

Le rayonnement LASER, comme toute forme d'énergie concentrée, présente un risque pour l'homme et exige des mesures de protection adéquates que nous examinerons plus en détail après avoir rappelé succinctement le principe de fonctionnement et les principaux types d'installation LASER.

2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.

L'étude des phénomènes d'émission de rayonnement par la matière a retenu l'attention de nombreux chercheurs au cours du siècle dernier et jusqu'au début de ce siècle.

Ces phénomènes ne furent clarifiés que par les travaux de PLANGK sur la quantification de l'énergie et aboutirent au modèle atomique de BOHR.



● : e^- excité
 ● : e^- non excité

Selon ce modèle les électrons gravitent sur des orbites stationnaires. Cet état est stable. Lorsque, sous l'action d'une excitation extérieure on apporte de l'énergie au système, l'électron saute de l'état stable E_1 à un état excité E_2 ; les moyens utilisés pour exciter l'atome étant le chauffage (flamme, étincelle), l'effet chimique ou le rayonnement. L'énergie emmagasinée par le système est $E_2 - E_1$.

Les niveaux d'énergies sont quantifiés c.a.d. correspondent à des valeurs discrètes caractéristiques du système.

On observe après un laps de temps plus ou moins long un retour de l'atome de l'état excité vers l'état stable.

Ce retour s'accompagne d'une émission de rayonnement caractéristique, monochromatique dont la fréquence est liée au saut d'énergie par la relation

$$E_2 - E_1 = h\nu$$

avec h constante de Planck

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

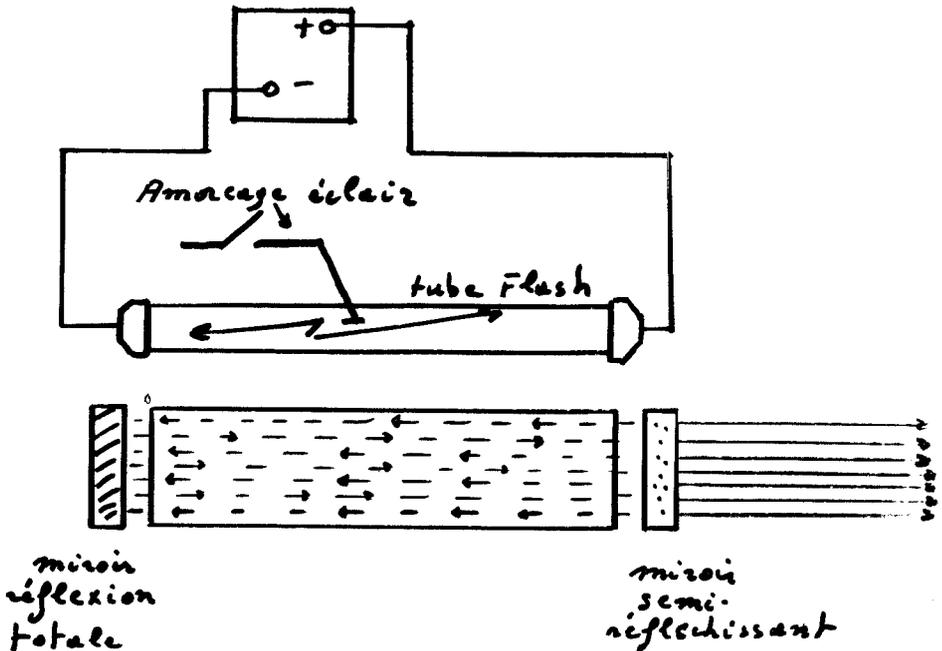
Le passage de l'état excité vers l'état stable avec émission d'un rayonnement se produit de manière aléatoire.

L'émission est spontanée ou incohérente.

Cependant, en 1917, EINSTEIN avait prévu mathématiquement qu'il était possible de desexciter les atomes et de provoquer l'émission au moyen d'un rayonnement ayant exactement la même énergie que celle de l'émission spontanée.

Cette émission stimulée est monochromatique, cohérente (en phase) et orientée. Le laser se compose d'un milieu liquide, solide ou gaz dont un grand nombre d'électrons ont été portés à un état d'excitation au moyen d'un dispositif généralement optique (p.ex. flash lumineux) ou chimique, appelé "Pompage".

source d'énergie



Soit un photon initial : après un parcours moyen X il y a une probabilité de rencontrer un électron dans un état excité et de provoquer son retour à l'état stable ; il y a émission d'un second photon. On notera que l'électron initial joue le rôle de catalyseur et n'a perdu aucune énergie.

On retrouve donc après des trajets $2X$, $3X$, $4X$, etc. successivement 4, 8, puis 16 photons identiques.

Il y a donc amplification du rayonnement initial. Le phénomène diverge rapidement. L'amplification totale dépend de la population en atome excités et de la longueur du parcours.

D'un point de vue pratique, on allonge indéfiniment le parcours du photon et par suite, on augmente le gain en plaçant aux extrémités de la cavité deux miroirs réfléchissants. On forme ainsi une cavité résonnante.

Le rayonnement utile est obtenu en plaçant à l'une des extrémités un miroir semi-transparent de manière à laisser passer une fraction du faisceau. Le miroir transparent peut être également remplacé par un cristal vibrant - Q switch - de manière à obtenir un train d'impulsions.

Les principaux types de LASER sont constitués d'un milieu solide ou gazeux.

Parmi les LASER solides, on compte les types suivants :

- (a) Rubis - de puissance faible J/imp. ; $\lambda = 0,69 \mu\text{m}$ (Rouge)
- (b) Verre dopé au Néodyme - de puissance faible 10 J/imp. ; $\lambda = 1,06 \mu\text{m}$ (IR)
- (c) YAG (Grenat synthétique d'Yttrium et d'Aluminium) dopé au Néodyme - de puissance élevée M J/imp. ; $\lambda = 1,06 \mu\text{m}$ (IR)

Les LASER à milieu gazeux sont :

- (a) He - Neon - puissance faible - m Watt $\lambda = 0,632$
- (b) Co_2 - puissance élevée - kW $\lambda = 10,6 \mu$ (IR)

3. PROPRIÉTÉ DU RAYONNEMENT LASER.

Le rayonnement LASER est monochromatique ; la longueur d'onde du rayonnement émis est comprise dans le spectre visible ($0,4 - 0,7 \mu$) et plus généralement dans l'infra-rouge proche ou lointain ($0,7$ à $10,6 \mu$).

Le rayonnement n'est, dans ce dernier cas, pas visible.

L'émission est produite en impulsions déclenchées (Q. switch) se succédant à des fréquences variant de quelques impulsions par minute à plusieurs milliers par seconde. L'énergie émise peut atteindre plusieurs dizaines de Joule par impulsion.

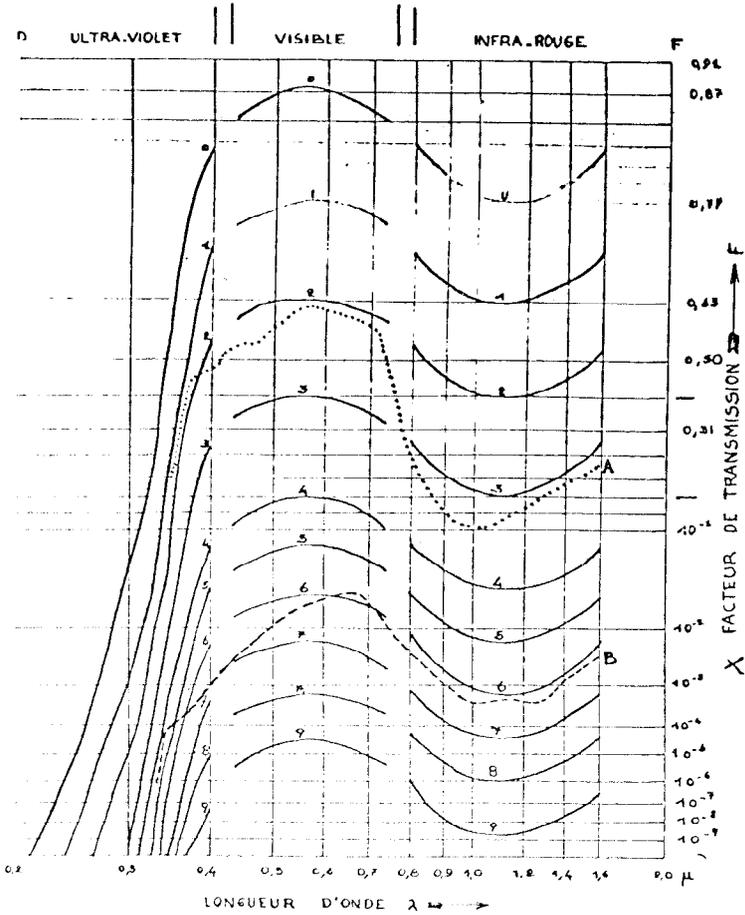
Certains LASER peuvent émettre de manière continue. Les puissances varient entre une fraction de milliwatt et quelques watt.

Idéalement le faisceau est strictement orienté ; en pratique l'émission LASER est produite dans un angle solide de faible ouverture. Le diamètre d'ouverture du faisceau (mm) à l'origine et l'angle de divergence du faisceau (milliradian) sont des grandeurs caractéristiques qu'il importe de connaître.

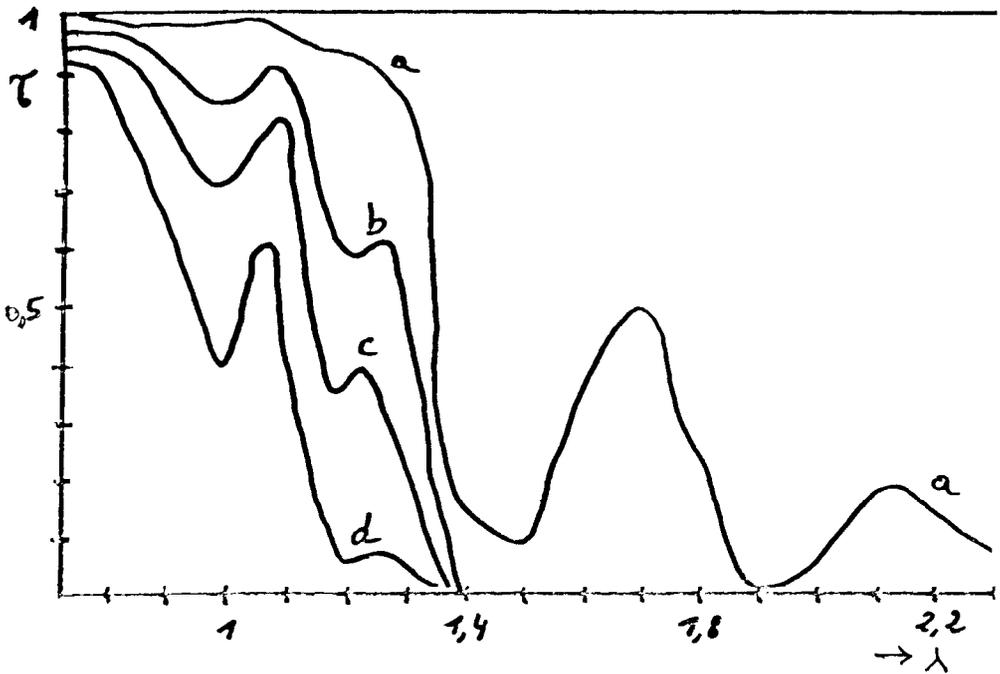
Le rayon LASER obéit aux lois de l'optique. Il peut être diffracté et concentré c.a.d. focalisé au moyen de lentille; il peut être réfléchi au moyen de prisme droit, de miroir etc.

Certains matériaux, comme l'air, absorbent peu le rayonnement et en transmettent la plus grande partie (diathermane).

Il en est de même du verre ordinaire et il y aura lieu de choisir soigneusement les verres spéciaux de protection en fonction du type de rayonnement.



La transmission dans l'eau est très bonne pour le rayonnement visible et dans la région de l'infra rouge proche jusque 1,4 μ. La transmission est très faible au-delà de 2 μ.



- a : 0,6 mm - eau
 b : 4 mm "
 c : 8,2 mm "
 d : 22,8 mm "

Lorsque le rayonnement frappe une cible opaque (milieu athermane), le rayonnement peut être

- absorbé
- réfléchi
- diffusé.

La fraction du rayonnement absorbée se dégrade sous forme de chaleur. L'effet d'échauffement représente le risque du rayonnement LASER pour les tissus.

4. PROTECTION D'UNE INSTALLATION LASER.

Les mesures de protection autour d'une installation LASER auront pour objet de soustraire le personnel au risque présenté par le rayonnement. On veillera à protéger le personnel contre le faisceau primaire p.ex. empêcher d'y introduire la main ou tout autre partie du corps et à fortiori l'oeil de l'opérateur.

Des dispositifs de sécurité interrompant l'émission doivent être prévus sur les panneaux démontables donnant accès au faisceau primaire. On sera particulièrement attentif aux manipulations visant à remplacer certains éléments, filtre, miroir (qui doivent être effectuées de préférence à l'arrêt), à régler le faisceau (focalisation) ou à le mesurer (introduction d'un appareil de mesure de puissance).

Pour les applications d'usinage, découpage, etc. le faisceau utile est dirigé sur la pièce.

On évitera le chargement en fonctionnement. La conduite de la pièce support doit être assurée automatiquement ou à distance suffisante. Outre le rayonnement direct, il faut également être particulièrement attentif à la réflexion du faisceau primaire sur des parties métalliques, brillantes, etc.

Il est judicieux d'interposer une cache de protection mate, c.a.d. absorbante, entre l'opérateur et le point d'impact du rayonnement. Pour certaines applications, les murs mêmes du local seront peints au moyen d'une peinture mate.

Une précaution supplémentaire consiste à assurer dans le local un fort éclairage, qui provoque la contraction de l'iris et limite en cas d'exposition accidentelle le dommage à l'oeil.

La mise en service de l'appareil ne peut se faire que par du personnel autorisé. Une clé de mise en service est prévue sur l'appareil et doit être retirée lorsque l'appareil n'est pas sous surveillance.

La nature du danger et sa présence doivent être signalés par un symbole et par une signalisation (lampe ou sonore).

Le personnel doit recevoir une information sur le risque et une formation appropriée au travail à effectuer : opérateur, surveillant chargé des réglages, personnel d'entretien et de dépannage.

L'accès des locaux à des personnes étrangères au service doit être interdit. Une surveillance des différentes opérations doit être assurée de façon à s'assurer que le personnel se limite aux opérations autorisées, que les règles de protection sont observées et que les sécurités et écrans de protection prévus restent en place.

Le travail occasionnel d'entretien et de dépannage présente le plus grand risque. Il doit être réservé à du personnel qualifié ; celui-ci doit être attentif à l'état de l'installation et prévenir une mise en service intempestive.

Lorsque le LASER doit fonctionner avec les protections enlevées, on veillera à ce qu'aucune personne du voisinage ne puisse être exposée intempestivement. Il y aura lieu de faire évacuer le local ou d'entourer l'appareil d'écrans.

L'opérateur doit veiller à ne pas porter d'objets susceptibles de réfléchir le rayonnement tels que bague, bracelet, montre, boutons de manchettes, etc.

Il en sera de même pour tout objet susceptible d'être frappé par le rayonnement.

Les opérateurs seront munis de lunettes de protection. Il est déconseillé, même avec les lunettes, d'observer le rayonnement direct.

Dans le cas de LASER utilisé pour l'usinage, il est nécessaire de prévoir une ventilation pour éliminer les vapeurs toxiques éventuellement produites.

Enfin, le personnel doit être soumis à une surveillance médicale dont il sera parlé par ailleurs.

REFERENCES.

- Communication des Docteurs RECHT et JOLIVET
ABR - 25 mai 1973
- ANSI - Z 136.1 - 1973
- Journée d'étude sur le laser - 1er mars 1972
Section de Belgique de la Société des ingénieurs Civils de France.
- Rayonnement LASER et Médecine du Travail
Communication du docteur HUBLET.

SAMENVATTING.

De toepassing van de LASER ontwikkelt zich geleidelijk in verschillende domeinen. De straling vertegenwoordigt een risico voor de mens en eist aangepaste beschermingsmiddelen.

Na een korte herinnering aan de principes en aan de eigenschappen van de LASERstraling, beschrijft de auteur de te nemen voorzorgsmaatregelen om de bescherming van het personeel te verzekeren rond deze installatie.

SUMMARY.

The utilization of LASER is progressively increasing in many fields. However, LASER radiations present a risk for men and need particular attention.

After a short description of the functioning of a LASER and the properties of the LASER emission, the author describes practical means in order to protect the personnel around those installations.

ZUSAMMENFASSUNG.

Die Anwendungen von LASER nehmen allmählich auf zahlreichen Gebieten zu. Die Strahlung stellt ein Risiko für den Menschen dar und erfordert deshalb geeignete Schutzmaßnahmen.

Nach einer kurzen Darstellung der Grundlagen und Eigenschaften von LASER-Strahlen, beschreibt der Autor die zu treffenden Maßnahmen, um das sich in der Nähe dieser Einrichtung befindliche Personal zu schützen.

Annales de l'Association Belge de Radioprotection, Vol.4 n° 3

RAYONNEMENT RADAR - RADIOPROTECTION ET MEDECINE DU TRAVAIL.

Professeur P. HUBLET

Ecole de Santé publique de l'Université libre de Bruxelles

Campus Erasme - route de Lennik n° 808, 1070 Bruxelles

23 novembre 1979

RESUME

L'auteur décrit les caractéristiques physiques du rayonnement radar et les effets biologiques de celui-ci. Il envisage les principales normes de protection proposées en donnant des exemples d'application. Il insiste sur la nécessité d'exercer un contrôle physique du rayonnement ainsi qu'une surveillance médicale adéquate des travailleurs exposés.

La protection et la justification des mesures de protection sanitaire pour les travailleurs exposés aux risques des rayonnements radar impose de préciser le sujet sur les caractéristiques physiques de ceux-ci, de passer en revue les principales données biologiques et d'analyser quelques situations concrètes rencontrées dans l'industrie.

DEFINITION

Le mot "radar" formé à partir de l'expression anglaise "Radio-detection and ranging" (détection et télémétrie par radio) est actuellement utilisé pour définir une gamme de rayonnements dont l'usage peut être différent de celui que l'on retrouve dans l'étymologie du mot puisque, par exemple, certains types de radar sont en fait des fours spéciaux à micro-ondes où l'énergie électromagnétique émise est convertie en chaleur. De tels fours sont utilisés dans l'industrie pour la cuisson des céramiques et dans le domaine ménager pour celle des aliments. Par ailleurs, en médecine les physiothérapeutes font usage du "radar" pour soulager les douleurs des rhumatisants. Il s'agit dans ce cas d'un rayonnement électromagnétique d'ondes ultra-courtes.

Le spectre des ondes utilisées pour tous ces usages couvre les ondes métriques, centimétriques et millimétriques.

Comme on le sait, ces ondes de nature électromagnétiques sont caractérisées par leur longueur d'onde, exprimée en centimètre ou par leur fréquence F exprimée en cycles par seconde ou Hertz.

On distingue particulièrement 3 bandes de fréquences. La bande de fréquences S qui sont centrées sur les longueurs d'onde de 10 cm, la bande de fréquences X qui sont centrées sur celles de 3 cm et la bande de fréquence K qui sont centrées sur celles de 1 cm. Ces 3 bandes de fréquences correspondent aux "microwaves" des anglo-saxons. En vertu de leur pouvoir de pénétration dans l'organisme, ce sont les longueurs de l'ordre de 2 cm à 2 mètres qui sont les plus dangereuses pour l'homme. Si initialement les fréquences utilisées allaient de 1 cm à 3 mètres, actuellement le spectre s'est étendu vers les fréquences millimétriques et les fréquences métriques. De toute manière, l'énergie quantique de ces ondes est trop faible pour provoquer l'ionisation de la matière. Cependant, certains appareils générateurs de ces ondes, tels les tubes T.R. (tubes radars), les kénotrons, les magnétron émettent un rayonnement X parasite qui est ionisant ou contient des radionuclides.

Nous envisagerons principalement les effets produits par les ondes électromagnétiques des rayons émettant dans un but de détection. Ce rayonnement radar est émis selon deux modalités. A savoir :

1) de manière discontinue, sous forme d'impulsions très brèves et de grande amplitude ayant une forte puissance instantanée (dite de crête) séparée par un intervalle de temps très long par rapport à sa propre durée. Dans la majorité des cas, cette puissance de crête varie de 100 kilowatts à quelques mégawatts. L'impulsion dure de l'ordre de quelques microsecondes alors que l'impulsion suivante surviendra quelques millisecondes plus tard, c'est à dire après une pause relativement longue. Cette fréquence de crête est appelée en anglais "peak

power". La "peak power" peut atteindre des valeurs de l'ordre du mégawatt. On parle également de "mean power", c'est à dire de puissance moyenne. Il s'agit de la puissance de crête intégrée dans le temps. Sa valeur est beaucoup plus faible que la "peak power" car, comme nous venons de le dire, les pauses séparant les pulsations sont très grandes, généralement, par rapport à la durée de celles-ci.

2) la deuxième modalité de l'émission du rayonnement radar est la modalité continue, dite C W (continuous wave). Il en est ainsi pour les fours à micro-ondes et éventuellement en télécommunications.

Les émetteurs en continu ont naturellement une puissance moyenne qui est égale à la puissance de crête et cette puissance de crête est bien inférieure à celle des émetteurs pulsés.

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Une installation de radar de détection comprend une antenne émettrice et un réflecteur qui concentre l'énergie émise dans un ou plusieurs plans privilégiés de l'espace. Il existe donc un angle dièdre qui est l'angle d'ouverture du faisceau dans un plan déterminé, horizontal ou vertical.

L'évaluation des risques pour la santé s'apprécie en se référant à la densité de puissance, c'est à dire à l'énergie émise évaluée en watts (puissance) par unité de surface (W/m^2) ou de volume (W/m^3). L'unité pratique employée en vue d'évaluer le danger éventuel d'une installation radar est le milliwatt par cm^2 . En fonctionnement, l'émetteur crée un champ électromagnétique qui se propage dans l'espace et transporte une quantité d'énergie. Ce champ électromagnétique pourrait et peut d'ailleurs être déterminé par la mesure du champ électrique (déterminé par la différence de potentiel par unité de longueur. Il s'exprime donc en volts par mètre). Il peut aussi être mesuré par le champ magnétique. En effet, les deux composantes de ce champ électrique et magnétique sont perpendiculaires et proportionnelles l'une à l'autre. En d'autres mots, ce sont des valeurs vectorielles.

Quant à la densité de puissance, elle peut se mesurer de 2 façons :

a) par le calcul mathématique qui fait appel à des notions trigonométriques et à des formules de physique.

b) par des mesures directes à l'aide d'un bolomètre, étalonné en laboratoire. Cet instrument mesure la densité de puissance en un point. Il doit être adapté aux circonstances, c'est à dire au mode d'émission et aux longueurs d'onde de sorte qu'il en existe de types différents selon les bandes de fréquences émises.

Dans le domaine de la physique, l'étude et la mesure des phénomènes électromagnétiques existant dans l'espace autour d'une antenne radar qui émet révèle l'existence de trois zones : une zone proche, une zone intermédiaire et une zone éloignée.

a) la zone proche de l'antenne ou zone de Fresnel.

Dans cette zone, il n'y a pas un faisceau unique d'ondes mais plusieurs faisceaux plus ou moins distincts qui subissent des phénomènes locaux complexes tels que la réflexion, l'absorption, la diffusion.

b) la zone éloignée ou zone de Fraunhofer où le faisceau d'ondes est bien défini.

Ce faisceau se caractérise par une densité de puissance qui est fonction de l'éloignement du point où s'effectue la mesure par rapport à la source émettrice et du plan médian du faisceau.

Dans ces deux zones, les formules élaborées par les physiciens Fresnel et Fraunhofer donnent par le calcul la densité de puissance électromagnétique qui y règne.

c) la zone intermédiaire.

Aucune formule générale ne rend compte des phénomènes électromagnétiques qui s'y déroulent : pour un axe déterminé, les densités de puissance sont comprises entre celles données par les formules de Fresnel et de Fraunhofer.

Le calcul mathématique ou la mesure directe par bolomètre ne permettent pas de connaître de façon précise la densité de puissance en un point soumis à l'action de plusieurs sources d'ondes ultra-courtes. Or, certaines stations radar au sol ou sur des bateaux comportent souvent plusieurs émetteurs fonctionnant simultanément. Cette constatation explique les efforts qui sont faits en vue de mettre au point un intégrateur de dose reçue porté par la personne susceptible d'être exposée.

EFFETS BIOLOGIQUES DES ONDES ULTRA-COURTES

Les ondes ultra-courtes qui atteignent une cible peuvent soit se réfléchir sur la surface, soit pénétrer ou être absorbées, soit la traverser complètement, sans guère lui céder de l'énergie, soit même contourner le ou les obstacles se trouvant sur la route vers la cible.

Ces modalités d'action dépendent essentiellement d'une part des dimensions de la cible par rapport à la longueur d'onde du rayonnement et d'autre part de la nature physique et chimique de la cible.

La pénétration dans l'organisme conditionne évidemment les effets physiopathologiques rencontrés.

L'expérimentation animale montre que les fréquences supérieures à 3 G Hz (longueurs d'onde inférieures à 10 cm) influencent surtout la peau et le tissu cutané en stimulant les fibres nerveuses thermo-sensibles, stimulation qui est parfois à l'origine d'effets neuro-végétatifs, tels que des effets vaso-moteurs. On distingue, en ce qui concerne les effets biologiques des ondes ultra-courtes, les effets thermiques et les effets non thermiques. Les effets thermiques qui ont d'abord retenu l'attention des chercheurs résultent de ce que les ondes ultra-courtes qui pénètrent dans l'organisme provoquent des mouvements de molécules ou d'ions dans la matière et les structures biologiques qui les composent. Ces mouvements engendrent à leur tour de la chaleur par effet Joule, c'est à dire qu'il se produit une dé-

gradation de l'énergie mécanique qui a pénétré dans l'organisme considéré. Les effets non thermiques, que certains auteurs appellent aussi les effets spécifiques sont évoqués pour rendre compte de perturbations décrites sur le fonctionnement d'organes ou de tissus. La littérature scientifique est abondante sur le sujet qui reste par ailleurs controversé, du moins en ce qui concerne les constatations expérimentales qui sont avancées pour expliquer les mécanismes responsables de l'action de faibles densités de puissance sur les systèmes biologiques et en particulier chez l'homme.

Parmi ces faits expérimentaux, nous citerons les suivants :

a) l'effet perlé (en anglais : pearl chain effect)

Le fait expérimental observé est que des champs électromagnétiques, ainsi que les ondes ultra-courtes engendrent des forces susceptibles d'orienter des particules en suspension. Il se forme alors des "chaînes de perles", le phénomène se constate par exemple pour des particules d'amidon, pour des gouttelettes de lipides, voire pour les globules rouges du sang in vitro. L'effet perlé est la conséquence de l'induction de charges électriques dans les particules (formation de dipôles, lesquels seraient à la base de réarrangements moléculaires). La preuve formelle de l'existence d'un tel mécanisme dans les structures biologiques humaines n'a pas été apportée et l'énergie nécessaire pour orienter des particules devrait provoquer un échauffement important des tissus.

b) l'excitation électrique des membranes biologiques.

Le champ électrique et même le champ magnétique engendré par les ondes ultra-courtes pourraient induire des potentiels au travers des membranes des cellules nerveuses. Ces potentiels seraient à l'origine des symptômes provoqués au niveau des centres cérébraux du diencéphale et que PANOV(*) médecin soviétique rassemble dans le syndrome diencéphalique. Ces symptômes nerveux sont de la somnolence, de l'insomnie et des troubles sensoriels (diminution de l'odorat) et des modifications

(*) cité par Delahaye, R.(réf. n°2)

de l'électro-encéphalogramme. PANDOV (*) n'écarte toutefois pas, pour expliquer ces symptômes, le rôle d'un micro-échauffement local.

c) les résonances macromoléculaires.

Lorsque des solutions de macromolécules biologiques telles que des protéines sont soumises à l'action d'ondes ultra-courtes, il se produit une orientation des chaînes latérales polaires de ces molécules dans la direction du champ électrique, ce qui entraîne la rupture de liaisons chimiques faibles, telles que par exemple les liaisons hydrogènes. La structure tri-dimensionnelle des molécules protéiques serait dénaturée, entraînant par là-même une diminution de l'activité biologique. Les gamma-globulines et les enzymes soumis à l'action des ondes ultra-courtes donnent un tracé anormal à l'électrophorèse.

d) la résonance des molécules d'eau.

La molécule d'eau qui est polarisée asymétriquement entre en résonance sous l'influence des champs magnétiques jusqu'à des fréquences de 20 milliards par seconde. L'énergie mécanique ainsi produite se dégrade en chaleur.

Parmi les effets non thermiques décrits, citons encore

e) l'effet de saturation diélectrique et l'effet d'excitation des fibres nerveuses par résonance.

Nous relevons, en y insistant, la constatation générale suivante :

Il est très difficile, voire impossible de comparer avec toute la rigueur requise les diverses expérimentations car les générateurs d'ondes ultra-courtes utilisés sont différents : on ne peut donc exclure une influence propre liée à l'appareillage, d'autant plus que le type d'ondes intervient (pulsées ou continues) ainsi que la modulation de celles-ci. Le facteur durée, c'est à dire le temps d'exposition à ces ondes doit également être pris en considération.

(*) Cité par Delahaye, R. (réf. n°2)

Les effets thermiques

Revenons aux effets thermiques. Grosso modo, ils dépendent de la "mean power" comme si l'organisme jouait le rôle d'un intégrateur, lors d'une exposition à un rayonnement pulsé. Les conséquences de cet effet thermique sont fonction, au niveau des tissus et des organes des possibilités de la thermolyse. Le sang, en irriguant un organe entraîne les calories produites et tend à les répartir dans l'ensemble de l'organisme, ce qui contribue à diminuer l'hyperthermie locale. Dès lors, les organes les plus vascularisés qui sont donc les mieux irrigués sont aussi ceux qui accumulent le moins de chaleur. Inversement, les organes mal vascularisés (tel le globe oculaire) subissent une élévation de température importante. On s'explique de la sorte aisément l'opacité du cristallin (cataracte) provoquée par les ondes ultra-courtes lors d'expositions professionnelles chez l'homme. La cataracte se reproduit expérimentalement sur l'animal (lapins, rats, cobayes). Chez l'animal, le seuil d'exposition provoquant la cataracte se situe aux environs de $1/10$ watt par cm^2 .

L'hyperthermie de l'encéphale produite par ces ondes ultra-courtes entraîne chez la souris la mort après des convulsions. L'hyperthermie des testicules de mammifères provoque des lésions identiques à celles induites par les rayons infrarouges (dégénérescence des tubes séminifères et des troubles de la fécondité). Une hyperthermie généralisée peut entraîner la mort de l'animal en expérience (rats, cobayes, lapins, chiens, hamsters). Celle-ci est due à la paralysie du centre respiratoire. Remarquons que ces petits animaux à fourrure ont un système thermo-régulateur médiocre comparé à celui de l'homme qui, grâce à son excellente thermolyse, résiste très bien aux effets thermiques.

Le tableau clinique classique chez l'homme est le suivant : lésions oculaires, lésions testiculaires, sensations de chaleur, de bourdonnements dans la tête et les oreilles, pulsations dans la tête, grande fatigue, douleurs oculaires, trou-

bles hématologiques variables (anémie, monocytose, lymphopénie). Sur le plan cardiaque on relève : de la bradycardie, de l'hypotension, de la bradycardie sinusale, un allongement du temps de conduction auriculo-ventriculaire.

Ces symptômes apparaissent de manière diversement groupés et par exemple, DROGICINA et collaborateurs (*) décrivent un syndrome clinique se déroulant en 3 phases. La phase 1 ou initiale, une phase 2 ou modérée : ces phases sont caractérisées par de la vagotonie et de l'asthénie et par la réversibilité des phénomènes puisque l'arrêt de l'exposition entraîne la guérison. La 3ème phase se manifeste par des désordres neuro-circulatoires plus importants avec dystonie, perturbations électro-encéphalographiques, hyperthyroïdie, variations dans le protéinogramme sanguin et dans l'histaminémie. A ce stade, les troubles sont irréversibles. Signalons avec beaucoup d'auteurs que de nombreux symptômes décrits ont un caractère subjectif et qu'ils ont été mis en évidence par des études épidémiologiques effectuées sur des groupes de sujets exposés. Dans ces études, compte tenu de la subjectivité des symptômes et du peu d'informations relatives à la dosimétrie du rayonnement, les corrélations statistiques entre les données de l'exposition et les effets rencontrés sont particulièrement ardues, voire impossibles à établir. Par ailleurs, sur le plan de l'expérimentation animale, les difficultés de comparer les divers résultats sont analogues à celles mentionnées pour les effets non thermiques de ce rayonnements. De plus, l'extrapolation à l'homme soulève également les mêmes problèmes.

Ces remarques qui sont des réserves de caractère scientifique n'ont pas pour objet de nier la réalité de l'action des ondes ultra-courtes sur l'organisme humain, mais elles visent à éviter de faire trop hâtivement des relations de cause à effet pour les travailleurs exposés.

(*) cité par Pepersack, J.P. (réf. n°8)

Les publications de cas pathologiques observés chez les techniciens attestent de l'existence d'un risque réel. Des cataractes, des lésions testiculaires, hépatiques ont été décrites lors d'exposition, dans des circonstances particulières à des faisceaux de radars et se rapportent à des manifestations aiguës. Il va de soi que les mesures de protection dont nous allons parler visent à éviter aussi bien les manifestations aiguës que les effets tardifs.

NORMES DE PROTECTION

- En 1958, l'USAF (United States Air Force) a proposé le seuil de sécurité de $1/100$ watt/cm² de densité de puissance. Pour les yeux (danger de cataracte), il multiplie par un facteur de 10, le seuil cataractogène qui se situe à $1/10$ watt/cm² chez l'animal. Le seuil pour l'homme est donc de $1/100$ watt/cm². ce seuil est aussi celui de danger établi chez l'animal pour l'irradiation de durée indéfinie au niveau du testicule, il représente aussi le seuil pour lequel l'exposition entraîne chez l'animal un effet thermique (augmentation significative de la température centrale). Il fut jugé à l'époque acceptable pour l'être humain car celui-ci, ainsi que nous l'avons rappelé bénéficie d'une excellente thermolyse par rapport à l'animal de laboratoire (lapins, cobayes,...).

- Vers 1960, la Bell Telephone pour ses laboratoires a proposé, ainsi que certains auteurs, un seuil de danger de $1/1.000$ watt/cm². Ce seuil tient compte de la possibilité de la sommation d'ondes incidentes ou réfléchies, susceptibles de créer "un point chaud" où l'élévation thermique engendre des lésions. Il abaisse de 10 fois le seuil de danger de 1958 de l'USAF.

- A partir de 1964, les seuils proposés tiennent compte du temps d'exposition. Généralement une exposition continue de 10 milliwatts/cm² est permise. A partir de là, on propose la relation mathématique suivante :

temps d'exposition acceptable exprimé en minutes $T_p = \frac{6.000}{W^2}$ où

W = la densité de puissance en milliwatts/cm².

T_p (permissible time) est exprimé en minute pour chaque période d'une heure.

Une exposition de 10 milliwatts/cm² sera permise pendant 60 minutes par heure puisque $\frac{6.000}{10^2} = 60$.

Il est évident qu'une exposition de 60 minutes par heure représente bien une exposition continue ; c'est ce que cette formule exprime.

En appliquant cette formule à un 2e exemple, on voit que l'on acceptera une exposition à 55 milliwatts/cm² pendant 2 minutes par heure car : $\frac{6.000}{(55)^2} = \frac{6.000}{3.025} \approx 2$

- Une autre formule, prenant en considération le facteur temps est celle de l'"United States of America Standards Institute" (sigle USASI). Elle date de 1966 et elle limite la densité de puissance à 10 milliwatts/cm² par 0,1 heure, soit par période de 6 minutes.

(Pour rappel, la formule précédente acceptait en continu, c'est à dire 60 minutes par heure, l'exposition à une telle densité de puissance). On peut donc dire que cette norme est 10 fois plus sévère. En outre, pour les périodes inférieures à 1/10 heure, la densité de puissance maximum est de 1 mW/heure/cm².

Cette formule s'écrit comme suit :

T_p (temps d'exposition acceptable exprimé en heures pour une période de 1/10 heure) $T_p = \frac{1\text{mW/h/cm}^2}{X \text{ mW/cm}^2}$

(N.B. T_p est l'abréviation de T = time, p = permissible).

Appliquons cette formule à 3 exemples :

1) Quelle est la durée d'exposition permise à une densité de puissance de 30 mW/cm² ?

Ce temps est de 1/30 heure par période de 1/10 heure ou de 6 minutes.

1/30 d'heure = 60/30 minutes = 2 minutes par période de 6 minutes. La réponse est donc $T_p = 2$ minutes par période de 6min.

2) Quelle est la durée d'exposition permise à une densité de puissance de 10 mW/cm^2 ?

Réponse : $T_p = \frac{1}{10}$ heure ou $\frac{60}{10} \text{ min} = 6$ minutes par période de $1/10$ heure ou de 6 minutes, soit 6 minutes par période de 6 minutes, ce qui représente une exposition continue.

3) Quelle est la durée d'exposition permise à une densité de puissance de 60 mW/cm^2 ?

Réponse : $T_p = \frac{1}{60}$ heure ou 1 minute par 0,1 heure ou ce qui revient au même $T_p = 1$ minute par période de 6 minutes.

Cette norme se rapporte à des rayonnements continus ou pulsés. Pour ceux-ci, c'est la "mean power" qu'il convient de prendre en considération.

- Les formules proposées par les soviétiques sont plus sévères car elles tiennent compte des effets non thermiques. Certaines normes établissent une différence selon le mode d'émission, continu ou pulsé, en considérant le rayonnement pulsé comme plus nocif que le continu.

La question des normes est loin d'être épuisée puisque les installations se multipliant, l'expérience acquise grandit et que les valeurs-seuil proposées tiennent compte de celle-ci. Pour s'en convaincre, il nous suffira de dire que la C.E.E. (Commission des Communautés Européennes) étudie un projet de recommandation relative à la protection des travailleurs contre les dangers des radiations non ionisantes et que l'IRPA (International Radiation Protection Association), lors de son 4ème Congrès mondial tenu à Paris en 1977 a été sollicité par diverses organisations internationales de donner son avis à ce sujet et qu'elle a créé à cette fin une commission d'experts.

Parmi les considérations générales pour la protection, on relève dans les documents OTAN (Organisation du Traité de l'Atlantique Nord) la recommandation d'éviter les sols durs (ciments, asphalte) et la proximité des surfaces réfléchissantes

(murs par exemple) qui entraînent des réflexions importantes du faisceau incident. Il convient d'éviter le stationnement dans les zones balayées par plusieurs faisceaux et il faut proscrire toute exposition directe au faisceau. En cas d'exposition pour effectuer des réglages, le port de lunettes spéciales est requis, de même qu'éventuellement des vêtements protecteurs.

Il convient par ailleurs de déterminer par le calcul et par la dosimétrie des zones contrôlées, c'est à dire des zones balisées où le séjour est réglementé.

Les "zones chaudes" sont en tout cas celles où un rayonnement supérieur à 10 milliwatts/cm² risque d'atteindre le travailleur.

L'examen physique d'embauche des travailleurs et les examens périodiques seront complétés par un examen ophtalmologique soigneux (entre autres : examen du cristallin à la lampe à fente après dilatation pupillaire, examen du fond de l'oeil, examen du champ visuel, mesure de l'acuité visuelle).

SURVEILLANCE MEDICALE

La surveillance médicale des travailleurs exposés au rayonnement radar s'exerce en Belgique de la manière suivante :

Pour l'embauche : l'article 124 - 2° du Règlement Général pour la Protection du Travail est d'application et prévoit donc un examen médical d'embauche dont les modalités sont spécifiées à l'article 125 de ce même Règlement Général pour la Protection du Travail.

- Les ondes radars sont à classer à l'annexe II de ce même article 124 dans le 2e groupe de la liste des agents nocifs, c'est à dire celui des agents physiques à la rubrique 2.10. Ondes électromagnétiques de haute fréquence et je cite ...

" Sont rangées sous cette position :

- les ondes HF (de longueur d'onde comprise entre
+10 m et + 100 m) ;

- les ondes VHF (de longueur d'onde comprise entre ± 1 m et ± 10 m) ;
- les ondes UHF (de longueur d'onde comprise entre $\pm 0,1$ m et ± 1 m) ;
- les ondes de longueur d'onde voisine de 30 \AA ."

Le médecin du travail effectue un examen dirigé pour les yeux, le système nerveux et le métabolisme.

La périodicité des examens périodiques est semestrielle. La durée minimale d'exposition au risque qui impose l'exécution de la surveillance médicale pour le travailleur est de 30 jours par année.

CONCLUSION

Les troubles physiopathologiques liés aux installations radars sont apparus au cours de la 2e Guerre mondiale 1939-1945. Suite à la connaissance de ceux-ci, des normes de protection ont été élaborées. Elles ont été progressivement abaissées pour tenir compte d'effets décrits au cours de l'expérimentation animale ou suite à des observations cliniques chez les travailleurs exposés. Actuellement, un recul d'une dizaine d'années permet, grâce à des recherches épidémiologiques effectuées sur des groupes de travailleurs professionnellement exposés de considérer que ces normes garantissent une bonne santé de ceux-ci. Comme pour les autres nuisances industrielles, leur application réclame un effort constant de la part des employeurs, des personnes préposées à la sécurité et des travailleurs eux mêmes.

Comme pour les radiations ionisantes, un contrôle physique du rayonnement est nécessaire, de même qu'une surveillance médicale appropriées des travailleurs exposés.

REFERENCES :

- (1) DELAHAYE, R., Problèmes biologiques et médicaux posés par l'utilisation des ondes ultra-courtes du radar. I. Rappel physique. Problèmes biologiques. Radioprotection, 12, 3 (Dunod 1977) pp. 199-216
- (2) DELAHAYE, R., Problèmes biologiques et médicaux posés par l'utilisation des ondes ultra-courtes du radar. II. Problèmes médicaux. Radioprotection, 12, 4 (Dunod 1977) pp. 359-377.
- (3) DROGICINA, E. Gig.Truda.Prof.Zabol 1, 1962, 28
- (4) GORDON, Z.V., Occupational health aspects of radiofrequency electromagnetic radiation. Ergonomics and physical environmental factors. Occupational safety and health series n° 21, International Labour Office, Geneva 1970.
- (5) GORDON, Z.V., "Radars", extrait de "Encyclopédie de médecine, d'hygiène et de sécurité du travail, B.I.T.Genève, 1974, pp. 1328-1329.
- (6) PANDOV, A.G, Symptomatologie, classification et expertise des effets produits par un champ d'ondes UHF sur l'homme. Voenno Medits.Zh. 9, pp.13-16 (traduction C.E.R.S.T.)
- (7) Overviews on non ionizing radiation. International radioprotection association, april 1977. Printed by U.S. Dept. of Health, education and welfare. Cincinnati, Ohio, U.S.A.
- (8) PEPERSACK, J.P., Rayonnement radar et médecine du travail. Mise au point. Cahiers de médecine du travail, vol.XII,3, (1975), 181-195.
- (9) RAFAILA, E. et al., Recherches concernant les modifications de l'organisme chez les travailleurs occupés aux installations de radar. Ergonomics and physical environmental factors. Occupational safety and health series, n° 21, International Labour Office, Geneva 1970, pp.175-185.
- (10) ROSE, U.E. et al., A review of United States microwave exposure criteria. Ergonomics and physical environmental factors. Occupational safety and health series, N°21, International Labour Office, Geneva 1970, pp.186-191.
- (11) STUCHLY, M. et al.,The impact of regulations on microwave ovens in Canada. Health Physics, 37, 1 (1979) 137-194.

SAMENVATTING.

De auteur beschrijft de fysische eigenschappen en de biologische effecten van radar stralen. Hij geeft de belangrijkste voorgestelde beschermingsnormen aan het licht van enkele toepassingen. Hij legt verder de nadruk op de noodzaak van de fysische controle van de straling en van een aangepast medisch toezicht van de blootgestelde werknemers.

ABSTRACT.

The author describes the physical characteristics and the biological effects of radar. He relates the most important proposed norms of protection with a few examples. He insists on the necessity of a physical control of the radiation and adequate medical control of the exposed workers.

ZUSAMMENFASSUNG.

Der Autor beschreibt die physikalischen Charakteristiken der Radar-Strahlung und ihre biologischen Effekte. Er betrachtet die vorgeschlagenen Hauptnormen des Schutzes und gibt Anwendungsbeispiele. Er besteht auf der Notwendigkeit, sowohl eine physikalische Kontrolle der Strahlung als auch eine angemessene medizinische Überwachung der bloßgestellten Arbeiter auszuführen.

Annales de l'Association Belge de Radioprotection, Vol.4, n° 3

RAYONNEMENT LASER - RADIOPROTECTION ET MEDECINE DU TRAVAIL

Professeur P. HUBLET

Ecole de Santé publique de l'Université libre de Bruxelles

Campus Erasme - route de Lennik n° 808, 1070 Bruxelles

23 novembre 1979

RESUME:

L'auteur passe en revue les risques professionnels liés à l'utilisation du rayonnement laser après avoir rappelé ses propriétés physiques, les facteurs caractérisant son émission, ses applications et les mécanismes d'action biologique. Sont ensuite envisagés : les mesures de sécurité et d'hygiène, la surveillance médicale des travailleurs exposés et les normes d'utilisation en usage.

Comme on le sait, le mot laser est constitué par les premières lettres des mots anglais suivants : light amplification (by) stimulated emission (of) radiation. (Amplification de la lumière par émission stimulée de radiation). Il s'agit d'un appareillage électronique et optique produisant une émission induite (ou stimulée) d'un rayonnement électromagnétique par la résonance des atomes dans la partie infra-rouge, visible ou ultra-violeta du spectre électromagnétique. Dans une source de lumière ordinaire (lampe à incandescence ou à fluorescence) chaque atome ou molécule émet des photons qui ne sont pas en concordance de phase et qui sont de fréquences différentes. Dans un "laser", les différents atomes peuvent être comparés à des oscillateurs ayant tous la même fréquence et la même phase. Ceux-ci produisent une onde unique qui est la somme de toutes les ondes individuelles ("les photons marchent au pas") et pour cette raison, on dit que la lumière est cohérente ; comme les photons ne s'annihilent pas réciproquement, il s'ensuit des densités de puissance qui peuvent dépasser 100 milliards de fois celles obtenues par la concentration

optimale du rayonnement solaire qui serait réalisée par les meilleures lentilles. Pour fixer les idées, la densité de puissance produite par un fer à souder est de $0,4 \text{ watt/cm}^2$, de 5.000 watts/cm^2 dans la bombe atomique à hydrogène et elle peut dépasser 100 millions de watts/cm^2 dans les "lasers". Les densités de puissance énormes obtenues proviennent de ce que le faisceau laser, dont la densité de puissance est déjà très considérable peut être collimaté et amplifié. L'énergie est libérée sous forme d'impulsions dont la durée est de l'ordre de la milliseconde. Des densités de puissance beaucoup plus élevées peuvent être obtenues par la technique du "Q-switch" qui consiste à intercaler un obturateur dans le circuit optique de manière à exciter la source bien au-delà du niveau qui serait nécessaire. Lorsqu'on déclenche l'obturateur, l'énergie stockée est libérée sous forme d'une impulsion géante qui ne dure que quelques nanosecondes (10^{-9} seconde ou 1 milliardième de seconde). Cette technique permet d'obtenir des puissances de crête de l'ordre du multiple de gigawatt. Comme tout rayonnement lumineux, le rayonnement laser peut être réfléchi, réfracté ou concentré au moyen de lentilles appropriées.

CLASSIFICATION

Sur le plan technologique, on distingue fondamentalement quatre types de lasers selon la composition du milieu dont les atomes ont été portés à un niveau supérieur d'énergie (les électrons périphériques de ces atomes sont à l'état "excité") par un dispositif approprié, appelé "pompage" qui est généralement optique (flash lumineux) ou chimique.

Ces quatre types sont :

- les lasers solides (historiquement les plus anciens: laser à rubis dopé au chrome trivalent)
- les lasers liquides
- les lasers gazeux
- les lasers semi-conducteurs

Une autre classification de base sur le mode d'émission :

- le laser à émission continue -C W = continuous wave (conventionnellement supérieure à 1/10 seconde

ex. : laser hélium - néon (gazeux)

- laser à impulsions relaxées - "Pulsed Laser" (laser rubis-chrome ; laser verre dopé au néodyme), appelés aussi "lasers pulsés" dans la littérature française.

Chaque émission dure de 100 microsecondes à 2 millisecondes (parfois quelques dizaines de millisecondes) et la fréquence de répétition est d'une dizaine par seconde à une par minute.

- laser à impulsions géantes ou déclenchées ou q-switching ou Q-Switch.

Il s'agit d'une variante du mode précédent. Les impulsions ont une durée de quelques picosecondes à quelques centaines de nanosecondes. Elles sont donc de durée particulièrement brève.

La fréquence de répétition est très variable : de plusieurs mégahertz à quelques impulsions par heure.

FACTEURS CARACTERISANT UNE EMISSION LASER

Une émission de LASER se caractérise par un certain nombre de paramètres essentiels qui sont :

- la longueur d'onde
- la durée de l'émission
- l'énergie ou la puissance transportée
- la répétition des impulsions (pour les lasers non continus)
- le diamètre du faisceau
- la divergence du faisceau

APPLICATIONS

Les applications du laser sont des plus variées. Le laser s'emploie en métrologie, en télécommunications, en télérepérage, dans la recherche en physique et en optique.

Les énormes densités d'énergie obtenues expliquent leur utilisation dans les opérations de soudage, de perçage, d'alésage, de découpage : par exemple en horlogerie : forage des rubis et soudage des spires de montres ; en métallurgie : soudage de métaux incompatibles, perçage, équilibrage de pièces métalliques ; en électronique : scellement verre-métal, soudage de thermo-couples ; dans l'industrie du bâtiment : fragmentation du béton.

La haute directivité des lasers permet de réaliser des alignements avec grande précision (alignement d'arbres d'entraînement, de quilles de navires ; guidage du tracé des routes ; guidage du percement de galeries, de tunnels, de chenaux, de canalisations). La finesse du faisceau et la grande densité d'énergie transportée font des lasers un instrument précieux de chirurgie dont l'application la plus courante se situe dans le domaine de la chirurgie oculaire (photocoagulation par laser dans le décollement de la rétine, traitement du glaucome par le forage de l'iris).

RISQUES

Un faisceau laser peut provoquer des lésions de l'oeil et de la peau par l'effet thermique qui est le plus évident et qui résulte de la dégradation de l'énergie électromagnétique en chaleur au sein des tissus qui absorbent le rayonnement. Du fait de la grande densité d'énergie ou de puissance, des brûlures graves sont possibles.

En outre, au niveau de l'oeil, le cristallin par son rôle de lentille convergente renforce de 10^5 à 10^6 la densité de puissance au niveau de la rétine pour les longueurs d'onde de 4.000 Angströms à 14.000 Angströms.

A côté de cet effet thermique, d'autres effets sont possibles :

1. l'effet photochimique est susceptible d'altérer les tissus ;
2. l'effet mécanique ou effet Brillouin. Il consiste en la formation d'hypersons dans les milieux solides et liquides qui sont susceptibles d'altérer ou de détruire les struc-

tures vivantes. Par ailleurs, l'augmentation brutale de pression "in situ" peut provoquer des ruptures tissulaires à l'endroit de l'impact.

3. des phénomènes destructeurs de nature électrique ou ionique liés aux énormes puissances de crête des lasers à impulsions géantes ("q-switching") ne sont pas à exclure et demandent des recherches ultérieures.

L'emploi des lasers peut provoquer des risques secondaires graves : électrocution par le matériel à haute tension, explosion de pièces en verre, dégagement de fumées toxiques provenant d'opérations de soudage, incendies, etc...

MESURES DE SECURITE ET D'HYGIENE

Ces mesures visent à empêcher toute exposition accidentelle du corps humain à un faisceau laser direct ou réfléchi.

L'utilisation d'un laser doit faire l'objet d'une étude préalable de la sécurité. Les lasers seront installés dans des locaux séparés, constituant des unités distinctes avec l'appareil et ses équipements annexes.

Quand les lasers ne peuvent être complètement enfermés dans une enceinte, une "zone contrôlée" sera établie et correctement balisée. L'installation sera conçue de manière à prévenir la réflexion du rayonnement. Un circuit fermé de télévision permet d'observer les opérations à l'abri des effets nocifs du laser. Quand le laser est utilisé sur le terrain, la sécurité des personnes sera assurée par la délimitation de la zone dangereuse par les moyens appropriés. La protection efficace des yeux est un facteur essentiel de la sécurité. Un responsable de celle-ci sera désigné. Les lunettes fournies seront munies d'indications précisant le type de laser auquel elles correspondent, elles seront périodiquement vérifiées (cf. absence de fissure dans les verres filtrants, absence de détérioration des montures réduisant la protection latérale...)

Toute personne souffrant de lésions rétiniennes doit être

exclue de travaux impliquant l'exposition au rayonnement laser.

Les travailleurs exposés doivent être soumis à un examen d'embauche portant entre autres sur la vue, et à des examens périodiques.

Les accidents causés par le laser doivent être déclarés (cf. aux U.S.A. : fichier national du "Public Health Service" auprès du bureau of "radiological health").

NORMES D'UTILISATION

Elles varient de pays à pays et les installations de rayonnements laser sont réparties en classes, allant de l'absence de risque au risque faible puis au plus grand : par exemple, il existe 3 classes au Royaume-Uni, de l'absence de danger au danger le plus grand. La 3e classe est subdivisée en deux. (cf. British Standard no. 4803 - 1972). Aux Pays-Bas, les lasers et les systèmes lasers sont classés en 4 classes, de l'absence de danger au plus dangereux (cf. articles 183a.1; 183a.2 ; 183a.3 de la loi de la sécurité "Safety Act").

En France, l'I.N.R.S. (Institut national de recherche et de sécurité, 30 rue Olivier Noyer, F-75680 Paris) a publié une note sur le sujet : note n° 998.82.76 afin d'aider les entreprises et les personnes responsables de la sécurité et de la santé des travailleurs confrontés avec ces problèmes. Une autre note a été publiée sous le n° 1183.95.79. Elles reprennent les indications fournies par l'A.C.G.I.H. (american conference of governmental industrial hygienists).

A défaut de textes légaux propres à chaque pays, les directives de la conférence des hygiénistes gouvernementaux américains, l'A.C.G.I.H., sont généralement suivies.

L'absence de prescriptions détaillées dans les réglementations nationales impose aux médecins du travail et à toutes les personnes s'intéressant aux problèmes de sécurité et d'hygiène, de se référer à la littérature spécialisée existante. Dans ce domaine, les publications découlant des études et des

réflexions de l'IRPA(International Radiation Protection Association) sont très appréciées.

SURVEILLANCE MEDICALE

La surveillance médicale des travailleurs exposés au rayonnement laser s'exerce de la manière suivante en Belgique où la médecine du travail est institutionnalisée en conformité avec les principes énoncés dans la recommandation n° 112 de 1959 de l'Organisation internationale du Travail (O.I.T).

Pour l'embauche : l'article 124 - 2° du Règlement Général pour la protection du Travail est d'application et prévoit donc un examen médical d'embauche dont les modalités sont spécifiées à l'article 125 de ce même Règlement Général pour la Protection du Travail.

Les ondes laser sont citées à l'annexe II de ce même article 124 dans la liste des agents nocifs : il s'agit du groupe II de la liste, c'est à dire celui où figurent les agents physiques susceptibles de provoquer des maladies professionnelles. La rubrique 2.9 s'intitule : ondes laser.

Le médecin du travail doit effectuer un examen dirigé pour les yeux et le législateur n'a pas fixé de seuil d'exposition pour les travailleurs exposés.

Ces travailleurs, soumis à l'examen d'embauche le sont également aux examens médicaux périodiques puisqu'ils sont repris à l'annexe II à l'article 124 de ce règlement général pour la protection du travail. Il sont aussi considérés comme étant exposés à des risques de maladies professionnelles. Il s'en suit qu'ils pourraient, par exemple, en cas d'affection oculaire ou de brûlure provoquées par un rayonnement laser, obtenir le bénéfice de la réparation sur la base de la législation concernant les dommages causés par les maladies professionnelles.

Lors de l'examen médical périodique, l'examen dirigé est centré sur les yeux et la périodicité de l'examen est annuelle, c'est à dire au moins annuelle. Le médecin ayant le droit et

et éventuellement le devoir de modifier cette périodicité pour la rendre plus fréquente. Le travailleur a, quant à lui, toujours la possibilité de demander au médecin du travail une consultation spontanée pour des symptômes qu'il attribue à ses conditions de travail.

CONCLUSION

La connaissance précise des phénomènes physiques mis en oeuvre ainsi que celles des conséquences biologiques susceptibles d'être provoquées par l'utilisation du laser ont permis de mettre au point des méthodes efficaces de prévention des risques. Celles-ci doivent être prévues dès la conception des appareils ou des dispositifs. L'expérience acquise montre que, pour autant que les normes soient correctement appliquées, l'homme est en mesure de maîtriser cette nouvelle nuisance industrielle. Dans la pratique, la bonne résolution des problèmes posés nécessite la collaboration effective des employeurs, des personnes préposées à la sécurité et à l'hygiène et des travailleurs exposés.

REFERENCES

- (1) GOLDMAN, L., Lasers, extrait de Encyclopédie de Médecine, d'Hygiène et Sécurité du Travail, B.I.T., Genève 1974, pp. 911-913.
- (2) Overviews on nonionizing radiation. International Radiation Protection Association, April 1977, Printed by U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, -Ohio, U.S.A.
- (3) PEPERSACK, J.P., Rayonnement laser et médecine du travail. Cahiers de médecine du travail, vol.XIII, n°1, 1976, 21-40
- (4) POWELL, C.H., ROSE, V.E., Lanier, M.E., Occupational survey of the use of lasers in the United States. "Ergonomics and physical environmental factors"-Occupational safety and health series, n° 21, pp.212-218, International Labour Office - Geneva 1970.
- (5) SANTUCCI, G.F., Protection laser - Radioprotection, 12, 2, Dunod 1977, pp. 143-157.
- (6) WILKENING, G.M., The potential hazards of laser radiation "Ergonomics and physical environmental factors"-Occupational safety and health series, n° 21, pp.192-211, International Labour Office- Geneva 1970.

SAMENVATTING.

De auteur geeft een overzicht van de beroepsrisico's verbonden aan het verbruik van de laser straling, na herhaling van de fysische eigenschappen, de factoren die zijn emissie kenmerken, zijn toepassingen en de mechanismen van zijn biologische uitwerking. Worden verder in het licht gesteld : de veiligheids- en hygiëne maatregelen, het medisch toezicht van de blootgestelde werknemers en de gebruikelijke normen bij de toepassing van deze stralen.

ABSTRACT.

After reviewing the physical properties, the factors influencing the emission, the applications and biological action mechanism of laser radiation, the author describes the professional risks bound to the utilization of this radiation. A further description follows of the security and hygiene measures, the medical control of exposed workers and the actual utilization norms.

ZUSAMMENFASSUNG.

Der Autor gibt einen Überblick über die mit der Benutzung von Laser-Strahlung verbundenen Berufsrisiken, nachdem er ihre physikalischen Eigenschaften, die Emission charakterisierenden Faktoren, die Anwendungen und die Mechanismen der biologischen Einwirkung in Erinnerung gerufen hat. Weiterhin werden die Sicherheits- und Hygienemaßnahmen, die medizinische Überwachung der bloßgestellten Arbeiter und die benutzten Gebrauchsnormen betrachtet.

RADIOPROTECTION ET RADAR : ASPECTS PRATIQUES.

Prof. Dr J.P. PEPERSACK,
Service Médical S.A.B.C.A. (Société Anonyme de Constructions Aéronautiques)
Chaussée de Haecht, 1470,
1130 Bruxelles.

RESUME.

L'auteur fait part de son expérience dans le domaine de la radioprotection radar. Il expose les mesures et normes de sécurité à appliquer lors de l'adaptation préventive des postes de travail et du follow-up des personnes exposées.

Le problème de la prévention des accidents liés à l'utilisation des rayonnements "radar" s'est posé pour moi de façon très concrète dès 1961, en tant que responsable de la surveillance médicale de techniciens d'aviation occupés au montage, à l'intégration sur avion et à l'entretien de radars de navigation.

Vous savez que ces rayonnements, bien focalisés, sont vecteurs d'une énergie qui peut être très considérable. Si bien qu'après avoir connu l'essor que l'on sait dans le domaine de la navigation maritime et aérienne, puis dans celui des télécommunications, ils ont été utilisés comme source d'énergie thermique pour activer des réactions chimiques par effet thermodynamique, pour durcir des colles et sécher des bois dans l'industrie des polystratifiés, pour stériliser des échantillons pharmaceutiques etc... C'est pourquoi les problèmes de prévention doivent être pris au sérieux.

Commençons tout d'abord par éradiquer un préjugé tenace. Il s'agit, bien entendu, d'un rayonnement qui, de par sa valeur quantique faible, est non ionisant. La confusion qui règne en ce domaine est liée à un détail technologique qu'il importe de rappeler ici : ces ondes radar sont conduites de l'émetteur à l'antenne et de l'antenne au récepteur par des conducteurs tubulaires appelés "guides d'ondes". Le récepteur étant sensible à des densités de puissance très faibles par rapport aux niveaux d'émission, il convient de le protéger contre tout accident susceptible de le "griller". Cette protection est assurée par un "I.R. Tube" (Transmit Receive Tube) ainsi que vous pouvez le voir sur les diés que je vous projette en ce moment, placé sur le guide d'ondes en amont du récepteur. Il s'agit en fait d'une enceinte ionisée, contenant deux pointes ne qui provoque un court-circuit par étincelage lors des excursions de puissance.

L'ensemble réalise en fait un interrupteur automatique de sécurité.

La pré-ionisation est assurée par des radioisotopes des plus divers (Co ⁶⁰ - Kr ⁸⁵ - Ra ²²⁶ etc...)

Ils constituent un risque de radioactivité.

Ce risque est très minime si l'on considère l'irradiation externe, ainsi qu'en témoignent les nombreuses mesures que nous avons réalisées, mais peut revêtir une certaine gravité lors d'une radiocontamination après bris d'un tube. Le risque est à ce moment déterminé par l'activité incorporée, et la radiotoxicité de l'élément en cause.

Il convient, sur le plan pratique, de driller les techniciens quant aux mesures d'urgence à prendre pour éviter toute contamination, ou pour en limiter les effets.

Mais, rappelons le, il s'agit d'un risque radioactif indépendant de la radiation radar proprement dite, qui n'est pas ionisante.

Pour nos mesures aux postes de travail, nous utilisons des bolomètres, reposant sur le principe suivant : un solénoïde placé dans un champ d'hyperfréquence est le siège d'un courant induit et s'échauffe par effet Joule, ce qui modifie sa résistance au passage d'un courant continu appliqué à ses extrémités.

L'étalonnage de l'appareil permet d'apprécier les densités de puissance du champ en fonction des variations de passage du courant.

Il est évident que l'antenne et le circuit doivent être adaptés à la longueur d'onde incidente et que la mesure d'un rayonnement pulsé pose des problèmes particuliers. Je vous projette maintenant des images d'appareillages pour vous montrer notamment la nécessité d'adapter le récepteur et l'antenne à la longueur d'onde du rayonnement.

Il y aurait beaucoup à dire au sujet de ces mesures, et notamment au sujet de la nécessité d'étudier non seulement le rayonnement incident direct, mais aussi le rayonnement réfléchi, dont l'origine est parfois inattendue.

La sommation en un lieu d'un rayonnement incident et réfléchi peut donner naissance à une " zone chaude " tout à fait imprévue.

Ainsi qu'on vous l'a dit, un des dangers , sinon le danger majeur, résulte de l'effet thermique.

Il découle du fait que des molécules électriquement polarisées et de faible inertie sont susceptibles de vibrer à l'unisson des champs d'hyperfréquences.

C'est ainsi que la molécule d'eau est capable de vibrer jusqu'à $20 \cdot 10^9$ cycles par seconde !

(Voici une représentation de la molécule bipolaire).

Il en résulte une transformation de l'énergie électromagnétique incidente en énergie mécanique puis thermique.

On observera donc une fièvre artificielle, voire des brûlures, chez le sujet exposé.

Le corollaire de ce phénomène est que la pénétrabilité d'un rayonnement incident sera d'autant plus faible que le tissu irradié est plus riche en molécules capables d'entrer en résonance, c'est à dire d'absorber l'énergie radiante.

L'effet thermique est lié à la " mean power " ou puissance moyenne.

Je vous projette maintenant des diapos qui illustrent le phénomène d'orientation électromagnétique car, sur le plan pratique, il faut savoir que cet effet a été incriminé pour expliquer certaines cataractes chez les sujets exposés et que le dépistage des altérations du cristallin fait partie des examens systématiques auxquels ces techniciens sont soumis. De quoi s'agit-il ? Des particules inertes (polystyrène par ex.) de faible diamètre (env. 1μ), placées dans un champ d'hyperfréquence, s'orientent selon les lignes de force du champ.

Le même phénomène d'observe avec des grains de féculé de pomme de terre, qui se placent en chaîne, tandis que le grand axe de chaque grain s'oriente également selon les lignes de force.

Des euglènes, placées dans les mêmes conditions vont migrer selon les lignes de force (migration " east-west ").

Pour une variation donnée de la longueur d'onde, toutes autres variables restant bloquées, la migration se fixe " north-south ", c'est à dire perpendiculairement à la direction primitive.

Ce phénomène d'orientation se retrouve chez les amibes, les planaires et certains poissons, si bien qu'on a pensé l'utiliser pour augmenter le rendement de la pêche hauturière.

Un troisième phénomène intéressant est l'effet de saturation diélectrique.

Il découle, en fait, du précédent.

L'irradiation d'une solution détermine l'orientation électromagnétique des chaînes latérales des molécules qui cessent de la sorte d'être disponibles pour les réactions d'hydratation.

Il en résulte une précipitation du produit en solution, comme si cette dernière était saturée.

L'effet d'orientation et l'effet de saturation semblent plutôt liés à la puissance de crête du rayonnement (" peak power ").

Sur le plan pratique et de la prévention il convient de savoir que la pénétration du rayonnement dans l'organisme vivant dépend de plusieurs facteurs dont la nature physico-chimique de la cible, les rapports entre la longueur d'onde incidente et le diamètre de la cible, l'état de sa surface (réflexion), l'importance et la nature du tissu adipeux sous-cutané.

En règle générale, les longueurs d'ondes inférieures à 10 cm (fréquences $> 3 \cdot 10^9$ Hz) vont libérer leur énergie dans la peau et le tissu sous-cutané, c'est-à-dire dans des structures riches en fibres thermosensibles.

Ce rayonnement sera donc perçu par le travailleur dans la mesure où il détermine une libération calorifique suffisante.

En dépit des règles de sécurité qui interdisent cette pratique, certains travailleurs tendent la main dans le faisceau d'émission pour s'assurer du fonctionnement des appareils !

Par contre, les longueurs d'ondes supérieures à 30 cm (fréquences \leftarrow 1 G Hz) détermineront une libération thermique maximale en profondeur, dans des structures où les fibres thermosensibles sont pratiquement inexistantes et où les problèmes de thermolyse se posent avec d'autant plus d'acuité que l'augmentation de température survient loin de la surface du corps et sans signal rapidement perceptible par l'individu.

Pour ces longueurs d'ondes, les mesures de prévention seront donc particulièrement strictes.

On comprend que dans ce cas, des accidents graves puissent survenir.

Il faut ajouter qu'il existe des " zones chaudes " imprévues déterminées par la sommation d'un rayonnement incident et réfléchi; le plan de réflexion peut être un plan de clivage anatomique, une aponévrose, une interface os-muscle par exemple.

Des lésions peuvent résulter de ces circonstances inattendues.

Je ne vous résumerai pas le tableau clinique qui a déjà été évoqué aujourd'hui, mais je rappellerai que, parmi les très nombreuses publications, celle de HIRSCH (1952 - Cataracte bilatérale et chororétinite unilatérale d'évolution très rapide après exposition professionnelle) et celle de MAC LAUGHLIN (1957 - Mort par perforation intestinale post-irradiation accidentelle) sont suffisantes pour mettre à la raison ceux qui auraient tendance à minimiser l'importance du risque, voire à le nier.

Ajoutons également que dans certains pays la " névrose des ondes micrométriques " est reconnue comme maladie professionnelle depuis de longues années.

Les quelques diapos que je vous projette maintenant se rapportent à des expérimentations sur l'animal et montrent des lésions irréversibles par effet thermique.

A cette occasion, je dois vous signaler que la cataracte pourrait avoir également une origine non thermique et être liée aux microtraumatismes et tensions internes au sein du cristallin, résultant de l'effet d'orientation. Certains auteurs ont, par ailleurs, évoqué des perturbations des processus oxydo-réducteurs (chute de la teneur en acide ascorbique tissulaire).

C'est ainsi que nous en arrivons à parler du seuil de danger, car, comment faire de la prévention sans évoquer ce problème. Des expérimentations déjà classiques ont utilisé l'oeil comme organe-test, notamment en raison de la facilité d'examen et aussi de sa situation superficielle qui permet une bonne approximation de la dose délivrée.

Il a été établi qu'une exposition à une densité de puissance

d' $\frac{1}{10}$ watt/cm² pendant un temps prolongé n'était pas cata-

ractogène.

De même, une irradiation globale de $\frac{2}{10}$ watt/cm² n'est pas

hyperthermisante pour l'organisme en général.

Le testicule, par contre, est plus sensible. Une exposition

à $\frac{1}{100}$ watt/cm² donne des lésions de maturation des sperma-

zoïdes, mais elles sont parfaitement réversibles, semblables à celles observées après un bain chaud, et ne doivent pas être prises en considération.

Il convient de tenir compte de la charge de travail (V O₂) et des circonstances microclimatologiques (pouvoir de refroidissement au niveau du poste de travail) pouvant

entraîner des troubles de thermolyse, si bien qu'une marge de sécurité s'impose, laquelle ramène le seuil classique à

$$\frac{1}{100} w/cm^2 \text{ pour des expositions de longue durée. Ce niveau}$$

étant censé ne donner ni hyperthermie, ni lésions oculaires, tandis que les altérations du spermiogramme sont réversibles.

Ce seuil a été celui de l'USAF en 1958 notamment.

On notera qu'il s'agit d'une norme pour exposition permanente.

Les normes occidentales actuelles reposent sur les conclusions du rapport Pattishal (USA 1958), sur des publications des Bell. Tel. Laboratoires (1960), des travaux publiés par l'USAF (1964) et la US Army (1965) ainsi que par l'USA Standard Institute (1966).

Elles peuvent se résumer par deux formules qui ont le mérite de nous proposer une relation mathématique élémentaire entre la densité de puissance reçue et le temps d'exposition acceptable.

$$\text{Première formule : Tps acceptable} = \frac{6000}{w^2} \quad \text{où le temps est}$$

exprimé en minutes pour chaque période de 60 minutes, et où w est la densité de puissance en mw/cm^2 .

Cette relation est valable pour des expositions entre 10 et 100 mw/cm^2 .

Exemple : niveau d'exposition : 10 mw/cm^2

$$\frac{6000}{10^2} = 60 \text{ minutes (/heure) : exposition continue.}$$

Autre exemple : exposition à 55 mw/cm^2

$$\frac{6000}{55^2} = 2 \text{ (minutes par heure) .}$$

$$\text{Deuxième formule : Tps acceptable} = \frac{1mw/h/cm^2}{x mw/cm^2}$$

où le temps est exprimé en heures par période de $\frac{1}{10}$ heure.

Exemple : exposition à 30 mw/cm^2

$$\frac{1 \text{ mw/h/cm}^2}{30 \text{ mw/cm}^2} \approx \frac{1}{30} \text{ h, soit 2 minutes par période de six minutes.}$$

Autre exemple : exposition : 10 mw/cm^2

$$\frac{1 \text{ mw/h/cm}^2}{10 \text{ mw/cm}^2} = \frac{1}{10} \text{ h, soit 6 minutes par période de six minutes}$$

= exposition continue.

Le rapport de l'USA Standard Inst. a prouvé que la formule est applicable pour les fréquences de 10 M Hz à 100 G Hz c'est-à-dire les longueurs d'ondes de 3 mm à 30 m.

Cette seconde formule a été adoptée lors de la réunion d'experts qui s'est tenue à l'Institut Curie à Paris, début 1979 sous la présidence du Professeur JAMMET, et à l'initiative de la Commission des Communautés Européennes.

En cas d'émission pulsée, c'est la " mean power " qu'il faut considérer et intégrer dans la formule.

Les résultats sont susceptibles d'être revus et adaptés lors de conditions climatologiques exceptionnelles, en fonction de la " température effective ".

A titre d'information, voici des normes (citées par Miro) adoptées en U.R.S.S. :

1 mw/cm^2 : exposition permise 15 à 20 minutes/jour

$\frac{1}{10} \text{ mw/cm}^2$: exposition permise plus de 2 heures/jour

$\frac{1}{100} \text{ mw/cm}^2$: exposition permise : permanente.

La discordance avec les normes occidentales est frappante. Peut-être faut-il avancer comme explication que les physiologistes russes, héritiers de Pavlov, ont utilisé comme critère les modifications expérimentales des réflexes conditionnés chez l'animal, lesquelles apparaîtraient en effet pour des densités de puissance très faibles.

La prévention.

Une tendance actuelle est de catégoriser les travailleurs en s'inspirant de la législation de radioprotection (radiations ionisants). C'est ainsi qu'on considère d'une part les " travailleurs professionnellement exposés ", pour lesquels les normes reprises par les 2 formules ci-dessus sont de rigueur, et d'autre part les " travailleurs non professionnellement exposés " chez lesquels l'exposition devrait toujours être $\leq 1\text{mw/cm}^2$ quelle que soit la durée de l'exposition.

Cette tendance est loin d'être partagée par tous.

L'éducation et l'information du personnel professionnellement exposé s'impose.

Il convient d'autre part d'organiser les postes de travail afin d'éviter toute surexposition.

Cette organisation exige souvent une étude ergonomique assez poussée si l'on veut éliminer tout imprévu.

Témoin la dia que je vous projette : l'étude des gestes et la rationalisation des opérations a permis le travail sur une antenne en émission sans surexposition des techniciens.

Les " zones chaudes " c'est-à-dire où un risque d'exposition $> 10 \text{mw/cm}^2$ peut exister, seront localisées et balisées (par analogie, on parle de " zones contrôlées "). Dans ces zones, on s'inspirera des formules ci-dessus pour organiser les temps de travail.

On accordera une attention particulière à l'existence possible de rayonnements croisés ou d'échos susceptibles de créer des zones chaudes imprévues. L'implantation judicieuse des antennes et l'utilisation éventuelle de panneaux absorbants peuvent s'imposer dans certains cas.

Certains tests seront réalisés en " chambre sourde " ou avec " dummy load " c'est-à-dire en garnissant le guide d'onde d'une charge absorbante.

Les mesures de rayonnement exigent l'utilisation d'un appareillage adapté à la longueur d'onde et capable d'intégrer l'énergie reçue en cas de rayonnement pulsé.

C'est sur ces mesures que repose essentiellement la prévention des surexpositions.

Le calcul théorique de l'énergie dispersée ne peut suffire (formation de " lobes "; ondes réfléchies imprévues).

Dans des cas exceptionnels, des travailleurs professionnellement exposés appelés à dépasser les normes d'exposition seront équipés de vêtements et de verres protecteurs qui réfléchissent le rayonnement incident.

En climat chaud, ces vêtements protecteurs posent des problèmes de thermolyse.

L'examen médical périodique sera complété par une biomicroscopie de cristallin et par toute autre investigation jugée utile en fonction du risque particulier...

L'examineur devra éviter de créer des troubles iatrogènes ou de suggérer la possibilité de malaises, lesquels sont alors systématiquement imputés au radar qui a tendance à devenir le bouc émissaire responsable de tous les maux imaginaires ou réels présentés par le travailleur.

Notons qu'il ne faut pas confondre les cataractes induites par le rayonnement qui nous occupe aujourd'hui (qui sont souvent situées au niveau de la membrane postérieure) avec les autres types d'opacité et notamment les opacités congénitales qui sont dispersées au sein du cristallin ou qui résultent de dépôts iriens au niveau de la cristalloïde antérieure.

Concluons par trois souhaits :

- 1.- il serait utile de disposer d'études plus précises concernant les variations du seuil de danger en fonction de la longueur d'onde
- 2.- des observations quantifiables et suffisamment nombreuses au sujet des expositions " sub-liminales " seraient du plus haut intérêt (recherche de la lésion biologique élémentaire)
- 3.- la conception d'un dosimètre intégrateur, aisément porté par le travailleur, permettrait de faciliter le contrôle et de progresser dans l'étude des relations de cause à effet entre les degrés d'exposition et les effets physiopathologiques.

Disons pour terminer que les normes de sécurité reprises dans les deux formules citées plus haut ont semblé à la fois nécessaires et suffisantes dans la pratique quotidienne visant à assurer la sécurité des travailleurs.

Leur stricte observance au niveau des postes de travail étudiés pendant de nombreuses années nous a permis d'éviter tout accident ou toute altération de santé décélable soit lors des examens individuels, soit à l'occasion d'enquêtes épidémiologiques concernant les groupes de travailleurs exposés.

SAMENVATTING.

De auteur geeft een overzicht van zijn ervaring op het gebied van de normen en veiligheidsmaatregelen die dienen getroffen te worden voor de preventieve aanpassing van de werkposten en voor de follow-up van de blootgestelde arbeiders.

ABSTRACT.

The author, on basis of his experience in radar-radioprotection, exposes the standard and security norms and recommendations to be applied for the preventive adaptation of the work-areas as well as for the follow-up of the exposed workers.

ZUSAMMENFASSUNG.

Der Autor gibt eine Übersicht über seine Erfahrungen auf dem Gebiet des Radar-Strahlenschutzes.
Er legt die Schutzmassnahmen und Normen dar, die zur vorsorglichen Anpassung der Arbeitsplätze und der Überwachung der exponierten Werk tätigen anzuwenden sind.