

Problèmes biologiques et médicaux posés par l'utilisation des ondes ultra-courtes du radar

II. PROBLÈMES MÉDICAUX (Protection et surveillance du personnel exposé (*))

Roland-Paul DELAHAYE (**)

(Manuscrit reçu le 3 décembre 1976)

1. DISCUSSION DES FAITS EXPÉRIMENTAUX

Faut-il considérer que toutes les expérimentations animales qui démontrent la gravité de certains troubles apparus après exposition aux ondes ultra-courtes sont extrapolables avec certitude à l'homme ?

Ces 30 dernières années, des milliers de personnes ont été exposées aux ondes ultra-courtes. Il paraît donc naturel de s'interroger sur les effets exacts de ces ondes radar sur l'homme. De nombreux auteurs avec H. BOITEAU [7, 8] remarquent qu'il existe une disproportion flagrante entre la gravité de certains faits observés chez l'animal et l'innocuité fréquente chez l'homme. Plusieurs faits expliquent partiellement ces contradictions.

1.1. LES CONDITIONS PARTICULIÈRES DE L'EXPÉRIMENTATION

Tous les animaux présentant des signes d'atteinte grave sont exposés à des densités de puissance élevées et dans des conditions expérimentales particulières :

— rapprochement des animaux ou des organes à irradier à quelques centimètres de l'antenne;

(*) La première partie de cet article a paru dans *Radioprotection*, 1977, vol. 12, n° 3, pp. 199-216.

(**) Service de Radiologie, Hôpital Bégin, 69, avenue de Paris, 94160 Saint-Mandé et École d'Application du Service de Santé pour l'Armée de l'Air, Paris.

— maintien des animaux dans une immobilité complète de telle façon que les ondes ultra-courtes irradient de façon continue la même région de la même surface corporelle.

Pour l'homme, ces conditions semblent assez exceptionnelles mais, en matière de protection, cette éventualité, même rarissime, ne doit pas être éliminée.

1. 2. LA DIFFICULTÉ D'EXTRAPOLER LES RÉSULTATS DES EXPÉRIMENTATIONS ANIMALES A L'HOMME

Il importe, remarque judicieusement H. BOITEAU [7] d'admettre avec réserve ces extrapolations, surtout en matière de régulation thermique. En effet, les petits animaux à fourrure possèdent un système thermorégulateur médiocre inférieur à celui de l'homme. SETH et MICHAELSON [90] notent que le corps humain possède l'un des meilleurs mécanismes de régulation thermique de toutes les espèces animales. Il peut rapidement adapter et maintenir l'homéostasie thermique dans de sévères conditions de stress.

Pour les travailleurs, le problème véritable consiste à éviter une exposition à des densités de puissance dangereuses et les normes de sécurité doivent tenir compte des données établies à partir des expérimentations animales.

2. ENQUÊTES EFFECTUÉES CHEZ L'HOMME ET OBSERVATIONS CLINIQUES

Il faut distinguer les études entreprises aux U.S.A. et en Europe Occidentale d'une part et d'autre part en U.R.S.S. et en Europe de l'Est.

2. 1. RECHERCHES AUX U.S.A. ET EN EUROPE OCCIDENTALE

2. 1. 1. Aux U.S.A., plusieurs études intéressent le personnel de stations radar et de laboratoires de recherches. C.I. BARRON et A. BARAFF [2, 3] de la Lockheed Aircraft Corporation, fabricant d'émetteurs radar de grande puissance dirigent pendant 5 ans une étude clinique intéressant 226 personnes travaillant sur des radars en fonctionnement et 88 personnes non exposées. Les auteurs n'ont pu recueillir de données précises sur les niveaux d'énergie, la durée et la fréquence des périodes d'exposition, car les conditions de travail sont extrêmement variables. Ils ont seulement pu établir que les irradiations varient de l'exposition accidentelle de quelques minutes à un travail de 4 heures au voisinage immédiat d'une antenne en fonctionnement. Certains techniciens travaillent dans ces conditions depuis 3, 4 et même 13 ans dans un cas. La puissance de crête de l'émetteur le plus puissant dépasse légèrement 1 MW.

Les troubles subjectifs relevés au cours de l'enquête sont dans l'ensemble assez discutés. 25 p. cent des employés déclarent qu'ils éprouvent une *sensation de chaleur* au visage, au cou et parfois aux mains lorsqu'ils se trouvent dans le champ du radar. Quelques-uns se plaignent de *bourdonnements d'oreille* quand ils travaillent à proximité d'une antenne émettant avec une forte puissance dans la bande S. Des travaux récents [29] démontrent que les ondes ultra-courtes induisent des effets acoustiques dans le système auditif des mammifères. D'autres employés signalent l'existence d'une *fatigue anormale*, de céphalées, de douleur à l'intérieur des globes oculaires. Certains constatent qu'il se produit des *décharges* entre leurs plombages dentaires s'ils se trouvent à proximité des émetteurs.

Les résultats de l'enquête médicale et ceux des examens pratiqués périodiquement à des intervalles de 6, 12, 24 mois ne mettent pas en évidence de manifestations pathologiques significatives dans la fraction du personnel exposé aux ondes ultra-courtes. Le pourcentage d'affections aiguës ou chroniques est identique à celui du groupe témoin non exposé. La descendance est aussi nombreuse dans l'un ou l'autre groupe.

2.1.2. En 1969, dans le rapport du Surgeon General de l'U.S.A.F., on remarque que, depuis 1947, l'U.S. Air Force Medical Service n'a pas reçu de documentation évidente et sûre concernant une exposition accidentelle aux ondes ultra-courtes [70].

2.1.3. J. J. McLAUGHLIN [49] rapporte un cas de décès observé chez un homme de 42 ans qui a travaillé pendant 30 min à 3 m d'une antenne radar. La mort survient dans les jours qui suivent. Il faut dire que ce décès a été beaucoup étudié par de nombreux auteurs américains. La tendance générale qui ressort des publications écrites ou des questions orales est que cet homme n'est pas mort des suites de l'exposition prolongée mais plutôt d'une autre affection (appendicite ?). Il n'y a pas eu de contrôle nécropsique.

2.1.4. L. MIRO [62] rapporte une étude portant sur 67 personnes employées dans des stations radar de l'armée de l'air française et soumises à l'action des ondes ultra-courtes et sur 36 témoins se trouvant par intermittence, 1 à 6 heures par jour, dans la zone d'action du radar. On a pratiqué un interrogatoire clinique, un examen hématologique (numération globulaire, formule leucocytaire, hématoците, résistance globulaire aux solutions hypotoniques). Chez 21 personnes exposées, MIRO note la fréquence de troubles subjectifs (céphalées, asthénie, bourdonnements d'oreille), de crises sudorales avec sensation de chaleur. Mais en raison de la vie en plein air et des densités de puissance extrêmement faibles, il hésite à affirmer que, seuls, les effets thermiques entrent en jeu dans la genèse de ces troubles. L'élévation de la résistance globulaire se rencontre chez 94 p. cent des sujets exposés et L. MIRO se demande s'il ne s'agit pas d'effets spécifiques.

2.1.5. R. JOLY, SERVANTIE et coll. (C.E.R.B. Toulon) [38] ont effectué des enquêtes parmi le personnel des bases aéronavales de Giens, Hyères, Cuers et de porte-avions. Il s'agissait de sujets exposés très épisodiquement ou très bien protégés. Les enquêtes biologiques et cliniques sont négatives.

B. SERVANTIE et P. E. TYLER [88] signalent le cas d'un ingénieur travaillant un matin sur un aérien parabolique émettant un rayonnement en bande X ($\lambda = 3$ cm). Quand il avait « trop chaud à la tête », il s'écartait du champ électromagnétique pour se refroidir. En fin d'après-midi, il a présenté des céphalées importantes puis un syndrome méningé nécessitant une hospitalisation de 1 mois.

2.1.6. J. MITCHELL et coll. [68, 69] ont attiré l'attention sur la possibilité de perturbations de certains types de stimulateurs cardiaques, en particulier lors des visites de contrôle sur les aéroports (recherche d'armes). En effet, les détecteurs, très sensibles, utilisant les ondes ultra-courtes, peuvent entraîner un arrêt du stimulateur cardiaque, et certains accidents (bradycardie intense, arrêt cardiaque) ont été rapportés aux U.S.A. La Federal Aviation Administration qui a financé ces études recommande à son personnel de ne pas examiner les porteurs de stimulateurs avec des appareils à ondes ultra-courtes. Des affiches rappellent également aux malades de signaler aux agents de contrôle le port de stimulateur cardiaque. Les mêmes mesures sont prescrites dans tous les aéroports européens. Il est vraisemblable, et des modèles expérimentaux existent déjà, que les stimulateurs cardiaques seront prochainement insensibles à l'action des ondes ultra-courtes.

2.2. RECHERCHES ENTREPRISES EN U.R.S.S.

Les médecins soviétiques signalent des troubles réversibles chez les techniciens exposés pendant plusieurs mois à de faibles densités de puissance (inférieures à 10 mW/cm^2).

2.2.1. A. G. PANOV [74, 77] distingue trois variétés de *troubles neuro-végétatifs* :

- *syndrome asthénique* : fatigabilité anormale, irritabilité, céphalées, nausées, anorexie;
- *syndrome dystonique cardio-vasculaire* (bradycardie, hypotension, modifications de l'E.C.G. : arythmie sinusale);
- *syndrome diencéphalique* : somnolence, insomnie, troubles sensoriels (diminution de l'odorat), modifications de l'E.E.G.

Ces trois syndromes seraient dus à l'action nocive des ondes ultra-courtes soit directement sur les centres nerveux en particulier sous-corticaux, soit indirectement par microstimulation (micro-échauffement).

2.2.2. F. A. KOLESNIK et coll. [44] décrivent des *troubles endocriniens* :

- légère hypothyroïdie pouvant s'accompagner d'une hyperplasie de la thyroïde;
- hyposécrétion d'hormone adénocorticotrope (ACTH) par l'hypophyse entraînant une insuffisance surrénalienne.

MILROY et MICHAELSON [60] ont exposé des rats à des ondes ultra-courtes de 2450 MHz, à différentes valeurs de densité de puissance, et n'ont pas observé de modifications fonctionnelles ou structurales de la thyroïde.

Des troubles sanguins très variables sont observés : anémie, lymphopénie, différence de mobilité électrophorétique des protéines plasmatiques, perturbations immunitaires (PETROV et SUBOTTA [76]).

2.2.3. M. P. TROYANSKI [95] signale l'apparition d'éosinophilie, de variations du temps de coagulation. Il semble que ces différentes anomalies soient labiles, rapidement réversibles. Elles traduisent, peut-être, les stades évolutifs d'une adaptation en plusieurs phases.

2.2.4. *Critiques américaines*

Les chercheurs américains, avec H. P. SCHWAN [85], MICHAELSON [55, 57], critiquent ces observations soviétiques. Ils remarquent :

- la présence de résultats souvent contradictoires,
- l'insuffisance des études statistiques réalisées,
- l'absence d'indications chiffrées concernant les paramètres du rayonnement et les tests cliniques,
- la subjectivité de la plupart des effets observés.

Les enquêtes réalisées aux U.S.A. et en Europe Occidentale se sont toutes révélées négatives pour des densités de puissance inférieures à 10 mW/cm^2 .

Existe-t-il une véritable corrélation entre les syndromes observés en U.R.S.S. et l'action des ondes ultra-courtes ? Actuellement, on ne peut pas répondre affirmativement à cette question. Il est impossible de réaliser une analyse statistique des résultats soviétiques, compte tenu de la subjectivité des effets et de la pauvreté technique en matière de dosimétrie. Pour évaluer le risque avec une précision correcte, il sera nécessaire, dans les travaux ultérieurs, d'établir un parallèle entre les observations cliniques à long terme et l'importance de l'exposition aux ondes ultra-courtes.

2.2.5. Il faut signaler l'intérêt de l'observation de P. DOURY, P. BOISSELIER et J. G. BERNARD [22]. Un technicien de radar, âgé de 45 ans, travaille dans un atelier pendant 3 années et est soumis à l'action de 2 radars : 1 300 MHz, puissance de crête 500 kW et 3 000 MHz, puissance de crête 250 kW. Il présente une altération profonde de l'état général (amaigrissement), un déséquilibre neuro-végétatif intense (avec épisodes tachycardiques, angoisses, lipothymies, hypersudation), un syndrome d'hypercoagulabilité sanguine avec thromboses veineuses multiples, un syndrome de dysfonctionnement endocrinien caractérisé par une insuffisance antéhypophysaire dissociée. Toutes ces manifestations ont progressivement régressé après que le malade ait été soustrait à l'action des ondes ultra-courtes et placé sous l'influence d'un traitement hormonal et anticoagulant.

3. CATARACTES HUMAINES ET EXPOSITION AUX ONDES ULTRA-COURTES

Ce problème a suscité de nombreux travaux. Malheureusement, beaucoup d'observations cliniques prêtent à discussion.

3.1. BASES EXPÉRIMENTALES

Des cataractes chez l'animal apparaissent après exposition aiguë ou chronique. Il faut tenir compte de plusieurs facteurs qui sont particulièrement importants :

- la densité de puissance,
- la fréquence d'émission.

3.1.1. *La densité de puissance*

Chez l'animal, la densité de puissance — seuil d'apparition de la cataracte pour les expositions aiguës — est de 100 mW/cm^2 . Pour les expositions chroniques, les opinions des différents chercheurs sont contradictoires. Les uns estiment que la densité liminaire serait inférieure à celle d'une exposition aiguë. Les autres, devant les incertitudes existant sur les effets cumulatifs des ondes ultra-courtes sur le cristallin, pensent qu'il est prématuré de fixer des valeurs-seuils applicables en cas d'expositions répétées.

3.1.2. *La fréquence d'émission*

Les ondes ultra-courtes dont la fréquence est comprise entre 2 000 et 3 000 MHz produisent chez l'animal des cataractes qui se localisent à la partie postérieure du cristallin. Pour les fréquences comprises entre 3 000 et 10 000 MHz, les opacités du cristallin siègent dans la partie antérieure. Les fréquences inférieures à 1 000 MHz ne seraient pas cataractogènes, la densité de puissance créant une cataracte étant supérieure à celle qui est létale.

3.2. ÉTUDES CHEZ L'HOMME

Il faut distinguer les publications de cas observés chez des techniciens des études d'ensemble chez le personnel exposé.

3.2.1. F. G. HIRSCH et J. T. PARKER [32] rapportent un cas de cataracte bilatérale survenu chez un homme âgé de 32 ans. Ce technicien travaille dans un laboratoire spécialisé : ondes ultra-courtes modulées de longueur d'onde comprise entre 9 et 18 cm (fréquence 2 000-3 000 MHz) avec une puissance de 100 W. Au cours du travail, le visage est au niveau d'un plan coïncidant avec le bord de l'antenne où la densité de puissance est supérieure à 100 mW/cm^2 . La cataracte est bilatérale et à gauche, il existe une choroïdite et des opacités du corps vitré. F. G. HIRSCH (1970) revoit ce malade : la cataracte droite est stable. Par contre, à gauche, il y a eu ablation du cristallin, mais il persiste une uvéite chronique et une choroïdite. La plupart des auteurs ayant étudié ce cas estiment qu'il n'y a pas de preuve absolue. On ignore si le malade n'avait pas une uvéite et une choroïdite antérieures à l'exposition. De plus, il n'y avait pas eu d'examen du cristallin à l'examen médical d'admission.

3.2.2. Des cas épars sont publiés en U.R.S.S., en particulier par SIMKOVITCH et SHILYAEV [91] qui observent une cataracte bilatérale chez un homme âgé de 22 ans, exposé à des ondes ultra-courtes ($10 \text{ cm} < \lambda < 12 \text{ cm}$) depuis 2 mois. Là, comme dans le cas rapporté par KURZ et EINAUGLER [45], il n'existe pas de documents concernant des examens pratiqués avant l'exposition.

3.2.3. Les travaux de ZARET [103-104] sont plus intéressants. Il compare les cataractes apparues chez 475 sujets exposés de 11 installations civiles et militaires des U.S.A. à 359 sujets témoins. Il trouve qu'il existe une augmentation significative du nombre de cataractes chez les sujets exposés. Il étudie 42 cas (11 avancés et 31 latents). Avec les observations décrites par HIRSCH et PARKER [32], SIMKOVITCH et SHILAYEV [91], ZARET essaie de réaliser une synthèse clinique de la cataracte induite par les ondes ultra-courtes. Il décrit une progression des lésions qui atteignent plus la partie postérieure du cristallin que l'antérieure. ZARET estime que l'aspect général ressemble à celui de la cataracte survenue après exposition prolongée aux infrarouges.

3.2.4. S. F. CLEARY et B. S. PASTERNAK [13] ont examiné 1945 anciens combattants de la II^e Guerre Mondiale et de la guerre de Corée, anciens techniciens de radar, atteints de cataractes. Ils comparent les données cliniques avec celles de 2 164 anciens combattants non exposés et atteints de cataractes. Ils ne mettent pas en évidence d'élévation significative du taux des cataractes chez le personnel exposé.

Dans une autre publication [14] ces mêmes auteurs font une analyse statistique de 736 travailleurs exposés et de 559 témoins. Toutes ces personnes sont porteuses de cataractes plus ou moins importantes dans les deux groupes.

Le nombre d'opacités croît de façon significative :

- avec la durée et le degré de l'exposition,
- avec l'âge.

CLEARY et PASTERNAK estiment que l'exposition aux ondes ultra-courtes favoriserait le vieillissement du cristallin.

L. T. ODLAND [70] commandant l'U.S. Air Force Radiological Health Laboratory de Wright Patterson rapporte les résultats d'une enquête effectuée dans l'U.S. Air Force sur une période de 10 ans (1959-1968 inclus). On a comparé le nombre de cas de cataractes apparues par année et par tranche d'âge. Ce nombre, compte tenu des variations statistiques, est relativement stable. L. T. ODLAND conclut que la cataracte induite par les ondes ultra-courtes demeure exceptionnelle et qu'il y a peu d'observations valables.

3.2.5. Depuis 1963, l'armée de l'air française avec G. PERDRIEL et J. CHEVALERAUD [75] s'est particulièrement intéressée à ce problème. Il n'a pas été constaté de cataractes formellement imputables à l'action des ondes ultra-courtes chez le personnel examiné avant le début de carrière et surveillé régulièrement chaque année. Le bilan ophtalmologique obligatoire chez tous les techniciens radar antérieurement à la prise de fonction où existe le risque d'exposition exige *un examen à la lampe à fente* par un ophtalmologiste. Ce dernier note la topographie et la morphologie des opacités congénitales du cristallin. G. PERDRIEL remarque que même chez les sujets jeunes, l'opacification du cristallin relève de causes diverses, indépendantes de l'action de tout rayonnement.

En conclusion : les cataractes chez les techniciens des radars peuvent apparaître dans certaines conditions anormales. Il s'agit d'un *risque* mais,

actuellement, aucune observation colligée dans la littérature ne comporte de documents antérieurs à l'exposition aux ondes ultra-courtes. On conçoit donc la nécessité, dans les visites d'admission et de surveillance du personnel, de surveiller attentivement l'état du cristallin.

4. PROTECTION CONTRE LES ONDES ULTRA-COURTES DU RADAR

4.1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Les buts de la protection de l'homme contre les ondes ultra-courtes sont d'empêcher l'apparition de manifestations aiguës et de limiter au maximum les risques des effets tardifs.

La prévention des manifestations aiguës est, dans la plupart des circonstances, facile. L'élimination des conséquences des effets tardifs paraît plus difficile, étant donné les discussions passionnées concernant l'importance relative des effets thermiques et non thermiques.

S. M. MICHAELSON [55, 57] avec la plupart des auteurs américains remarque que les effets thermiques ont été démontrés de façon certaine, mais que les manifestations dues aux effets non thermiques semblent surtout subjectives. Cette opinion ne nous paraît pas devoir être adoptée dans sa totalité. La publication de l'observation de DOURY et coll. [22] d'une part, la position — peut être doctrinale — des auteurs soviétiques paraissent bien démontrer l'existence d'une symptomatologie particulière. De plus, il faut tenir compte de l'augmentation de puissance des émetteurs et de la mise en service, dans le public, de fours fonctionnant avec les ondes ultra-courtes.

La quantification des réponses biologiques à un facteur d'agression comme les ondes ultra-courtes est un problème complexe car de nombreuses variables interviennent :

- la fréquence des ondes ultra-courtes,
- la densité de puissance,
- le type d'émission (pulsée ou continue),
- la durée d'exposition,
- la forme générale du corps et son orientation dans le faisceau,
- les conditions d'environnement (température, humidité, vitesse de l'air circulant),
- l'espèce animale.

Ces différents facteurs agissent les uns sur les autres dans des conditions qui sont loin d'être déterminées parfaitement. *La réponse d'un sujet à une exposition dépend donc de l'intégration de toutes ces données et de son état physiologique.*

4.2. EFFETS THERMIQUES DES ONDES RADAR ET ÉLABORATION DES RÈGLES DE PROTECTION

L'élévation de température dans le corps au cours de l'exposition aux ondes ultra-courtes dépend des facteurs suivants :

- fréquence des ondes radar,
- densité de puissance,
- durée de l'exposition,
- partie du corps exposée et surface intéressée,
- efficacité de la thermorégulation,
- épaisseur de la peau et du tissu sous-cutané.

Ces différentes variables déterminent le pourcentage d'énergie absorbée dans les différents tissus du corps humain.

Chez un homme soumis à des ondes radar, l'application de 100 W sur une surface de 100 cm² entraîne une augmentation de température de 5°C durant les 5 premières minutes d'exposition.

L'augmentation de 1°C par minute correspond à une densité de puissance de 0,1 à 1 W/cm².

Dans les expositions partielles et dans des conditions normales d'environnement, il se produit un équilibre entre l'énergie absorbée dans la partie exposée, et le taux d'énergie véhiculée en dehors de cette partie exposée. Il apparaît un accroissement du débit sanguin des parties froides du corps vers les parties chaudes. L'hyperthermie s'élimine par évaporation, radiation et convection. Quand la thermorégulation est défaillante, la température croît. Le taux de chaleur que peut transférer un homme vers l'extérieur, dans des conditions normales, est de 0,01 W par cm² de surface corporelle, avec possibilité d'augmenter d'un facteur 10 dans certains cas. L'homme peut absorber entre 100 et 1000 W sans augmentation de sa température centrale.

Une exposition localisée ou généralisée à une densité de puissance de 100 mW/cm² ou plus entraîne une hyperthermie ou des lésions d'organe tels que l'œil et le testicule (chez l'animal).

Compte tenu de l'existence de nombreuses variables et de leur imbrication, on a adopté un coefficient de sécurité de 10. En 1953, H. P. SCHWANN a proposé à l'U.S. Navy le niveau de densité de puissance de 10 mW/cm². Il s'agit d'un niveau de densité de puissance moyenne. Cette valeur a été adoptée par l'U.S. Army, l'U.S. Air Force, l'U.S. Navy, l'OTAN et de nombreux pays européens.

L'instruction ministérielle française concernant le personnel militaire des trois Armées (Terre, Air, Mer) est également basée sur cette valeur de densité de puissance moyenne.

4.3. RÉGLEMENTATION DES FORCES ARMÉES FRANÇAISES

L'instruction ministérielle 1531/2/DCSSA/AST du 30 avril 1968 a défini les normes de sécurité applicables dans les trois armées françaises. Ces normes de

sécurité sont établies en fonction de deux facteurs sur lesquels, dans la pratique, il est le moins difficile d'intervenir :

- la densité de puissance moyenne,
- la durée d'exposition (en général facilement contrôlable).

Les limites de sécurité actuellement fixées sont les suivantes :

- pour une exposition égale ou supérieure à 1 heure : 10 mW/cm²,
- pour des durées d'exposition brèves, le temps d'exposition autorisé pour chaque période est donné par la formule :

$$T_p = \frac{6000}{W^2},$$

T_p , temps d'exposition autorisé, exprimé en minute; W , densité de puissance moyenne dans la zone à occuper, exprimée en mW/cm².

La dernière formule ne s'applique qu'aux densités de puissance moyenne comprises entre 10 mW/cm² et 100 mW/cm².

Il n'est pas possible de contrôler des expositions limitées de moins de 2 min.

Pour les lieux de repos et lieux publics (mess, réfectoires) il serait souhaitable de ne pas dépasser 1 mW/cm².

4.4. COMPARAISONS AVEC LES AUTRES RÉGLEMENTATIONS

Remarquons que les normes retenues par les forces armées françaises ont été retenues par l'OTAN, l'U.S. Navy, l'U.S. Army et l'U.S. Air Force, par de nombreux pays européens [55, 57, 73, 97].

4.4.1. La réglementation civile américaine [97]

Le Comité de l'American National Standards Institute tient compte plus précisément du facteur temps. Ces normes ne s'adressent qu'aux expositions d'ondes ultra-courtes dont la fréquence varie de 10 à 100 000 MHz :

- pour des durées supérieures à 1 heure : densité de puissance inférieure à 10 mW/cm²;
- pour des durées plus courtes, la densité d'énergie est limitée, à 1 mWh/cm² on compte alors en fraction de 0,1 heure, ce qui donne, par exemple, pour les densités de puissance :

- 10 mW/cm² pour 0,1 h,
- 100 mW/cm² pour 0,01 h,
- 600 mW/cm² pour 0,1 min.

4.4.2. Réglementations soviétiques [53,57]

Beaucoup plus sévères que celles adoptées généralement dans les pays occidentaux, elles auraient été déterminées d'après des enquêtes épidémiologiques portant sur le personnel exposé professionnellement. Les effets non

thermiques des ondes ultra-courtes ont une grande probabilité d'action sur les capacités opérationnelles des techniciens (rendement, jugement, vigilance) et pourraient, selon les auteurs soviétiques, agir sur leur santé [77].

Pour une exposition permanente : inférieure à $0,01 \text{ mW/cm}^2$; pour moins de 2 heures par jour : inférieure à $0,1 \text{ mW/cm}^2$; pour 15 à 20 min de séjour, avec port de lunettes de protection : inférieure à 1 mW/cm^2 .

La réglementation polonaise est encore plus sévère [17].

4.4.3. Réglementation tchèque

Les normes de sécurité se rapprochent de celles utilisées par les soviétiques. Elles établissent une différence selon le mode d'émission, continu ou pulsé, le premier étant considéré comme moins nocif que le second.

TABLEAU

Fréquences	Techniciens		Public	
	A	B	A	B
30 kHz à 30 MHz.....	400	50	120	5
30 MHz à 300 MHz.....	80	10	24	1
300 MHz à 300 GHz émission continue.....	200	$25 \cdot 10^{-3}$	60	$2,5 \cdot 10^{-3}$
300 MHz à 300 GHz émission pulsée.....	80	$10 \cdot 10^{-3}$	24	$1 \cdot 10^{-3}$

A, Produit de la durée de séjour (en heures) par la valeur maximale du champ électrique (en volt/mètre) ou de la densité de puissance (en $\mu\text{W/cm}^2$).

B, Valeur maximale du champ électrique (en volt/mètre).

4.4.4. Réglementations européennes

Des réunions organisées dans le cadre de la Communauté européenne (1973) et de l'Organisation Mondiale de la Santé (1971) essaient de mettre au point des textes de recommandations pour les utilisateurs des ondes ultra-courtes. Certains pays, comme la France, ne possèdent pas de réglementation pour le personnel civil.

5. RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES POUR LA PROTECTION (d'après des documents de l'OTAN)

— Éviter les sols durs (ciments, asphalte) et la proximité de toutes surfaces réfléchissantes (métallique par exemple) qui entraînent des réflexions importantes du faisceau incident. Un sol absorbant (gazon) ou des panneaux absorbants entre les appareils est recommandable.

— Il faut éviter tout lieu de stationnement ou d'entraînement situé dans des zones balayées par plusieurs faisceaux.

— Il faut proscrire toute exposition directe au faisceau surtout celle des yeux (manipulations de réglage et mise au point) et prévoir le port de lunettes spéciales (à treillis métallique incorporé). Les personnes devant s'exposer à des densités de puissance élevée devraient porter un vêtement protecteur. Mais B. SERVANTIE et P. E. TYLER [88] remarquent qu'il est difficile de fabriquer un vêtement protecteur résistant, souple et aéré, et permettant l'élimination de la chaleur dégagée par l'individu. De plus, à partir de certaines densités de puissance, en régime pulsé, il risque de se former des arcs électriques entre les fils métalliques de la trame du tissu, ce qui entraîne la détérioration du vêtement. B. SERVANTIE et P. E. TYLER estiment qu'actuellement les vêtements protecteurs ne peuvent constituer qu'une solution exceptionnelle.

— Les constructeurs et les utilisateurs doivent préciser pour chaque cas et pour chaque nouveau matériel les conditions d'émission et les zones dangereuses qui en résultent [38].

Rappelons que là où les ondes ultra-courtes délivrent une densité de puissance comprise entre 10 mW/cm^2 et 100 mW/cm^2 , il existe un danger virtuel. Dans ces zones classées « stationnement interdit », pour les durées d'exposition brèves, le temps d'exposition autorisé, pendant chaque période d'une heure, est donné par la formule $T_p = 6\,000/W^2$.

Ces zones doivent être balisées. Si la densité de puissance est supérieure à 100 mW/cm^2 , la zone doit être classée zone très dangereuse.

6. PERSONNEL EXPOSÉ

Est considéré comme exposé aux risques des ondes ultra-courtes tout sujet qui se trouve :

- soit dans une zone où la densité de puissance est supérieure à 100 mW/cm^2 , quelle que soit la durée d'exposition;
- soit dans une zone où la densité de puissance est inférieure à 100 mW/cm^2 mais qui y séjourne pendant un temps supérieur à celui fixé par les normes.

Peuvent être exposés, c'est-à-dire courir un risque, non seulement le personnel radariste mais également :

- le personnel dont le poste de travail est balayé en permanence par le faisceau d'un aérien;
- le personnel occasionnellement soumis à un faisceau de forte intensité;
- le personnel dont le lieu de repos se trouve dans le champ d'un émetteur.

L'utilisateur, avec l'aide du constructeur, détermine par calcul ou par méthode directe la densité de puissance moyenne des ondes ultra-courtes pour juger du risque existant et mettre en place les moyens de protection éventuellement nécessaires (écrans, lunettes et balisage des zones dangereuses). L'efficacité de ces moyens aura pour conséquence la diminution du nombre de personnes exposées et par là, le nombre de sujets à examiner systématiquement.

7. SURVEILLANCE MÉDICALE DU PERSONNEL EXPOSÉ (d'après l'instruction ministérielle 1531 du 30 avril 1968)

7.1. GÉNÉRALITÉS

Les examens médicaux ont pour but :

- de dépister les manifestations dues aux ondes radar,
- de fournir des éléments d'appréciation sur le plan médico-militaire,
- d'apporter des données d'ordre clinique dûment contrôlées à une question médicale en pleine évolution.

La surveillance intéresse tout le personnel exposé. Elle est systématique, par exemple, pour les mécaniciens radaristes de l'Armée de l'Air. Pour les autres personnels, le service médical tient compte des éléments indispensables permettant de juger le risque couru à savoir :

- la densité de puissance moyenne du poste de travail,
- la durée de la période d'exposition.

Les propositions de retrait temporaire ou définitif du personnel des postes exposés ne sont soumises à la décision du Commandement qu'après bilan médical des intéressés dans un hôpital des Armées.

7.2. NATURE DES EXAMENS PRATIQUÉS

Les examens pratiqués seront de 3 ordres :

- examen général,
- examen ophtalmologique,
- examen hématologique.

7.2.1. Examen général

Cet examen général s'attache, en particulier, au dépistage des divers troubles d'ordre neuro-végétatif et notamment au contrôle de la stabilité cardio-vasculaire et de l'aptitude générale à l'effort. Il devra faire l'objet de conclusions très prudentes quant au rapport de cause à effet entre ondes radar et troubles éventuellement observés ou allégués. Il y aura lieu de tenir compte, dans ce domaine, de l'aspect permanent ou transitoire de ces troubles et de leur évolution, selon que le sujet chez lequel ils auraient été constatés, demeure ou non exposé.

En cas de permanence ou *a fortiori*, d'aggravation des symptômes observés, le sujet sera mis en observation dans un hôpital des Armées.

7.2.2. Examen ophtalmologique

Il comprendra :

- une mesure de l'acuité visuelle sans correction et après correction éventuelle,

— un examen du cristallin à la lampe à fente, après dilatation pupillaire réalisée à l'aide d'un mydriatique d'action limitée dans le temps (du type mydriaticum) et après s'être assuré, chez les sujets âgés de plus de 40 ans, qu'il n'existe pas d'hypertonie oculaire. Toute opacification constatée (d'aspect congénital ou non) doit être relevée sur un schéma comportant une coupe frontale et une coupe sagittale du cristallin,

- un examen du fond d'œil,
- éventuellement, un examen du champ visuel et du sens chromatique.

7.2.3 *L'examen hématologique* comprendra une numération globulaire et une formule leucocytaire.

7.3. PÉRIODICITÉ DES EXAMENS

Pour les détecteurs et mécaniciens radaristes, les examens prescrits seront pratiqués à l'entrée à l'école, au cours de l'année suivant la sortie de l'école, par la suite tous les 2 ans.

Pour les autres personnels exposés de façon permanente, les examens ont lieu avant le début de service au poste présentant un risque et ensuite tous les 2 ans.

Pour le personnel accidentellement exposé, les examens, prescrits aussitôt que possible, sont répétés selon une cadence dépendant de la symptomatologie clinique, de son importance et de son évolution.

7.4. EXPLOITATION DES RÉSULTATS

Une fiche individuelle est établie et jointe au dossier médical des intéressés.

CONCLUSION

L'énergie des ondes ultra-courtes crée des problèmes de sécurité pour les êtres humains. Il importe de respecter les consignes de protection et d'instruire le personnel des stations radar, des laboratoires de recherche, des ateliers d'entretien des dangers virtuels et des mesures de prévention.

Les prochaines années verront probablement le développement et la mise en service d'appareils de mesure polyvalents et simples. En effet, il faut souligner que les moyens de mesure de la densité de puissance (bolomètres) ne permettent pas, pour l'instant, de mesurer simultanément plusieurs sources d'ondes ultra-courtes.

Avec R. JOLY et B. SERVANTIE, notons qu'il faut continuer l'étude de ces effets biologiques pour déterminer aussi exactement que possible les risques réels encourus en fonction des circonstances.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BARANSKI S. Effect of chronic microwawe irradiation on the blood forming system of guinea pigs and rabbits. *Aerospace Med.*, 1971, **42**, 1196-1199.
- [2] BARRON C. I., LOVE A. A., BARAFF A. A. Physical evaluation of personal exposed to microwawe emanations. *J. Aviat. Med.*, 1955, **26**, 442-452.
- [3] BARRON C. I., BARAFF A. A. Medical considerations of exposure to microwawes (radar). *J. A. M. A.*, 1958, **168**, 1194-1199.
- [4] BENITTE A. C. Les effets biologiques du radar. *Concours Med.*, 1966, **88**, 3667-3680.
- [5] BERTHARION G., SERVANTIE B., JOLY R. Action d'un rayonnement électromagnétique de très haute fréquence sur la substance réticulée et les noyaux thalamiques chez le rat blanc. Essai d'interprétation du mécanisme d'action de l'atteinte corticale. *Centre d'études et de recherches biophysiques appliquées à la Marine*, Toulon, 1971, Rapport 71-17.
- [6] BERTHARION G., SERVANTIE B., JOLY R. Electrocardiographic modification after exposure to microwawe fields on the white rat (preliminary results). *J. Microwave Power*, 1971, **6**, 62-63.
- [7] BOITEAU H. Les effets biologiques des ondes radar. *Rev. Corps Santé*, 1960, **1**, 637-652.
- [8] BOITEAU H. L'action biologique des ondes radar. *Méd. Réserve*, 1963, **59**, 1-9.
- [9] BOYSEN J. E. Hyperthermic and pathologic effect of electromagnetic radiation. *Arch. Industr. Hyg.*, 1953, **7**, 516-525.
- [10] BUSCO R., COMIGNANI L. Nozioni attuali circa gli effetti delle onde radar sugli organismi viventi ed i relativi mezzi di protezione. *Rev. Med. Aeron. Spaz.*, 1967, **30**, 469-528.
- [11] CARPENTIER R. L., LIVSTONE E. M. Evidence for non-thermal effect of microwawe radiation: abnormal development of irradiation insect pupae. *IEEE Trans. Microwave Theory and Techn.*, 1971, MTT **19**, 173-178.
- [12] CLEARY S. F., PASTERNAK B. S., BEEBE G. W. Cataract incidence in radar workers. *Arch. Environ Health*, 1965, **11**, 179-182.
- [13] CLEARY S. F., PASTERNAK B. S. Lenticular changes in microwawe workers, a statistical study. *Arch. Environ. Health.*, 1966, **12**, 23-29.
- [14] COOK H. F. The pain threshold for microwawe and infrared radiation. *Brit. J. Physiol.*, 1952, **118**, 1-11.
- [15] COOK H. F. A physical investigation of heat production in human tissues when exposed to microwawes. *Brit. J. Appl. Phys.*, 1952, **3**, 1-6.
- [16] COOPER T., PINAKATT T., JELLINEK M., RICHARDSON A. W. Effects of adrenalectomy, vagotomy and ganglionic blockade on the circulatory response to microwawe hyperthermia. *Aerospace Med.*, 1962, **33**, 794-798.
- [17] CZERSKI P., SIEKIERZYNSKI M., GIDYNSKI A. Health surveillance of personal occupationally exposed to microwawe. I. Theoretical considerations. — II. Functional disturbances. *Aerospace Med.*, 1975, **45**, 1137-1143; 1143-1145.
- [18] DAILY L. E. A clinical study of the results of exposure of laboratory personel to radar and high frequency radio. *U. S. Navy Med. Bull.*, 1943, **41**, 1052-1065.
- [19] DAILY L., WAKIM K. C., HERRICK J. F., PARKHILL E. M. Effects of microwawe diathermy in the eye. *Amer. J. Ophthalmol.*, 1952, **35**, 1001-1007.
- [20] DELAHAYE R. P., LAPEYRE J. Manifestations pathologiques liées à l'emploi du radar. Dans : *Traité d'ergonomie militaire appliquée à l'artillerie*, Paris, Éditions du Ministère des Armées, 1968, 50-55.

- [21] DELAHAYE R. P. Biophysique appliquée à l'aéronautique. *Cours de l'école d'application du Service de Santé pour l'Armée de l'Air*. Paris, 1975, Tome III. Structure de l'atmosphère, radar.
- [22] DOURY P., BOISSELIER P., BERNARD J. G. Effets pathologiques sur l'homme des rayonnements UHF des aériens radars. *Sem. Hôp. Paris*, 1970, **46**, 2681-2683.
- [23] ELUL R. Dependence of synaptic transmission on protein electrometabolism of nerve cells : a possible electrokinetic mechanism of learning. *Nature*, 1966, **210**, 1127-1131.
- [24] EVRARD E. Les effets biologiques des hyperfréquences du radar. *Bruxelles Med.*, 1960, **1**, 777-784.
- [25] FREY A. H., SIEFERT E. Pulsed modulated UHF energy illumination of heart associated with change in heart rate. *Life Sc.*, 1968, **7**, 505-512.
- [26] FREY A. H. Biological function as influenced by low power modulated R. F. energy. *IEEE Trans. Microwave Theory and Techn.*, 1971, MTT **19**, 153-164.
- [27] GORDON Z. V. Biological effects of microwaves of low intensity. *Med. Electron. Biol. Eng.*, 1963, **1**, 67-68.
- [28] GUSAROV D. V. Influence d'un champ UHF sur l'entraînement physique d'animaux expérimentaux. *Voenno Medits. Zh.*, 1971, **3**, 61-66 (traduction C.E.R.S.T.).
- [29] GUY A. W., CHUNG KWANG CHOU. Microwave induced acoustic effects in mammalian auditory systems. Dans : Radiation Hazards, *AGARD Lectures Series* No. 78, 1976, 7/1-7/15.
- [30] HERRICK J. F., KRUSEN F. H. Certain physiologic and pathologic effects of microwaves. *Electr. Eng.*, 1953, **72**, 239-244.
- [31] HINES H. N., RANDALL J. E. Possible industrial hazards in the use of microwave radiation. *Electr. Eng.*, 1952, **71**, 879-885.
- [32] HIRSCH F. G., PARKER J. T. Bilateral lenticular opacities occurring in a technician operating a microwave generator. *Arch. Indust. Hyg.*, 1952, **6**, 512-517.
- [33] HOEFT L. O. Thermal effects of microwaves. *Aerosp. Med.*, 1965, **35**, 621-622.
- [34] HOWLAND J. W., THOMPSON R. A. E., MICHAELSON S. M. Biomedical aspects of microwave irradiation of mammals. Dans : *Biologic effects of microwave radiation*. New York, Plenum Press, 1961, vol. 1, 261-291.
- [35] IMG C. G., THOMPSON J. D., HINES H. M. Testicular degeneration as a result of microwave irradiation. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 1948, **69**, 382-386.
- [36] JOLY R. L'émission électromagnétique T. H. F. des aériens radars; *Trav. Sécurité*, 1967, **9**, 390-395.
- [37] JOLY R. Effets biologiques et danger éventuel des rayonnements UHF des aériens radar. *Arch. Mal. Prof. Méd. Trav.*, 1968, **29**, 121-130.
- [38] JOLY R., PLURIEN G., SERVANTIE B., DROUET J. Effets biologiques et physiopathologiques éventuels des rayonnements électromagnétiques UHF des aériens radar. *Rev. Corps Santé*, 1969, **10**, 239-259.
- [39] JOLY R., SERVANTIE B. Émissions radar et sécurité. *Travail Humain*, 1970, **33**, 311-314.
- [40] JOLY R., SERVANTIE B. Effets biologiques des rayonnements électromagnétiques UHF (radars). Dans : *Biophysical problems*, AGARD CP 95, 1971, C 9-1 C 9-14.
- [41] KAPLAN I. T. Absence of heart rate effects in rabbits during low level microwaves irradiation. *IEEE Trans. Microwave Theory Techn.*, 1971, MTT **19**, 168-173.
- [42] KEPLINGER M. L. Proceedings of the 2nd Triservice conference on biological effects of microwave energy, July 1958 (cité par H. Boiteau [7]).

- [43] KLEIN M. J., MILHAUD C. L. Effets des hyperfréquences sur le système nerveux central. Effets de l'irradiation par des rayonnements électromagnétiques centimétriques et décimétriques sur l'électrocorticogramme du primate et du rat. Mémoire de Recherche, *Centre de Recherche de Médecine aéronautique*, Paris, 1976, 30 p.
- [44] KOLESNIK F. A., MALYSHEV V. M., MURASHEV B. F. Troubles du système endocrinien lors de l'action chronique d'un champ UHF. *Voenno Medits. Zh.*, 1967, 7, 39-41 (traduction C.E.R.S.P.).
- [45] KURZ G. H., EINAUGLER R. B. Cataracts secondary to microwawe radiation. *Amer. J. Ophthalmol.*, 1968, 66, 866-867.
- [46] LINDMAN B. I., COHN C. *Air Surg. Bull.*, 1945, 2, 448- (cité par H. Boiteau).
- [47] MCAFEE R. D. Physiologic effects of thermode and microwawe stimulations of perinherphal nerves. *Amer. J. Physiol.*, 1962, 203, 347-378.
- [48] MCGREGOR R. J. A model of responses to activations by axodendritic synapses. *Biophys. J.*, 1968, 8, 305-318.
- [49] McLAUGHLIN J. J. Death from microwawe radiations (radar). *Calif. Med.*, 1957, 86, 336-339.
- [50] MICHAELSON S. M., THOMPSON R. A. E., ODLAND L. T., HOWLAND J. W. The influence of microwawe on ionizing radiation exposure. *Aerospace Med.*, 1963, 34, 111-115.
- [51] MICHAELSON S. M., THOMPSON R. A. E., EL TAMANI, SETH H. S., HOWLAND J. W. The hematologic effects of microwawe exposure. *Aerospace Med.*, 1964, 35, 824-829.
- [52] MICHAELSON S. M., THOMPSON R. A. E., QUINLAN W. J. Effects of electromagnetic radiation on physiologic responses. *Aerospace Med.*, 1967, 38, 293-298.
- [53] MICHAELSON S. M., DODGE C. H. Soviet views on the biological effects of microwawes. an analysis. *Health Phys.*, 1971, 21, 108-111.
- [54] MICHAELSON S. M. Biomedical aspects of microwawe exposure. *Amer. Indust. Hyg. Ass. J.*, 1971, 32, 338-345.
- [55] MICHAELSON S. M. Microwawe exposure safety standards, physiologic and philosophic aspects. *Am. Indust. Hyg. Ass. J.*, 1972, 33, 156-174.
- [56] MICHAELSON S. M. Pathologic effects of exposure to microwawes. Dans : Radiation Hazards, *AGARD Lectures Series No. 78*, 1976, 2-1 2-7.
- [57] MICHAELSON S. M. Protection guides and standards for microwawe exposure. Dans : Radiations Hazards, *AGARD Lectures Series No. 78*, 1976, 12-1 à 12-6.
- [58] MILROY W. C., MICHAELSON S. M. Biologic aspects of microwawe radiation. *Health Phys.*, 1971, 20, 567-575.
- [59] MILROY W. C., MICHAELSON S. M. Microwawe cataractogenesis, a critical revue of the literature. *Aerosp. Med.*, 1972, 43, 67-75.
- [60] MILROY W. C., MICHAELSON S. M. Thyroïd pathophysiology of microwawe radiation. *Aerosp. Med.*, 1972, 43, 1126-1131.
- [61] MIROL L. Le radar et les effets biologiques de l'exposition aux ondes ultra-courtes. Paris, *Centre d'Enseignement et de Recherche de Médecine Aéronautique*, Rapport de Recherche, 1961, 35 p.
- [62] MIRO L. Modifications hématologiques et troubles cliniques observés chez le personnel exposé aux ondes émises par le radar. *Rev. Méd. Aérosp.*, 1962, 1 (4), 16-17.
- [63] MIRO L., HATLAN H., ARNAUD Y., DELTOUR G., LOUBIERE R. Note sur la radioprotection exercée par les ondes ultra-courtes vis-à-vis des bactéries. *Rev. Méd. Aérosp.*, 1965, 4 (16), 21.
- [64] MIRO L., LOUBIERE R., PFISTER A. Recherche sur les lésions viscérales observées des souris et des rats, exposés aux ondes ultra-courtes. Étude particulière des effets de ces ondes sur la reproduction de ces animaux. *Rev. Méd. Aérosp.*, 1965, 4 (14), 37-39.

- [65] MIRO L., LOUBIERE R., PFISTER A. Modifications morphologiques et métaboliques observées expérimentalement sous l'action des champs électromagnétiques HF. *Rev. Méd. Aérop.*, 1966, **5** (17), 9-13.
- [66] MIRO L., DELAHAYE R. P. Action biologique des ondes radar. *Rev. Milit. gén.*, 1967, **6**, 83-101.
- [67] MIRO L., DELTOUR G., PFISTER A., KAISER R. Difficulté à circonscrire les ondes dangereuses pour le personnel autour des aériens radar. *Rev. Méd. Aérop.*, 1970, **9** (33), 7-8.
- [68] MITCHELL J. C., HURT W. D., WALTERS W. H. III, MILLER J. K. Empirical studies of cardiac pacemaker interference. *Aerosp. Med.*, 1971, **45**, 189-195.
- [69] MITCHELL J. C. Electromagnetic interference of cardiac pacemakers. Dans : Radiation Hazards, *AGARD Lectures Series No. 78*, 1976, p. 10-1 à 10-10.
- [70] ODLAND L. T. Observations on microwave hazards to U.S. Air Force personnel. *J. Occup. Med.*, 1972, **14**, 544-547.
- [71] OSBORN C. M. Microwave radiation heating of human and animal tissues by means of HF. *J.A.M.A.*, 1948, **137**, 1036-1038.
- [72] OSIPOV Y. A., cité d'après PETROV I. R.
- [73] PALMISANO N. A., PECZENIK A. Some considerations of microwave hazards exposure criteria. *Milit. Med.*, 1966, **131**, 611-618.
- [74] PANOV A. G. Symptomatology, classification et expertise des effets produits par un champ d'ondes UHF sur l'homme, *Voenna Medits., Zh.*, 1966, **9**, 13-16 (traduction C.E.R.S.T.).
- [75] PERDRIEL G., CHEVALERAUD J. Communication personnelle.
- [76] PETROV I. R., SUBOTTA A. G. Action des ondes électromagnétiques UHF sur l'organisme. *Voenna Medits. Zh.*, 1966, **2**, 16-21 (traduction C.E.R.S.T.).
- [77] PETROV I. R. Influence of microwave radiation on the organism of man and animals. Rapport NASA TT-708, 1972 (traduction d'après un ouvrage publié à Léningrad en 1970).
- [78] PRESMAN A. S., LEVITINA N. A. The non-thermal effect of microwaves on the systolic rhythms of animals (en russe). *Byull. Eksp. Biol.*, 1960, 53-59.
- [79] PRESMAN A. S., LEVITINA N. A. The non-thermal action of microwaves on the heart rate of animals. I. Actions of continuous waves. — II. Action of pulsed microwaves. *Byull. Eksp. Biol.*, 1962, **54** (1), 41-44; (2) 29-42.
- [80] PRESMAN A. S. Electromagnetic fields and life. New York, *Plenum Press*, 1970.
- [81] RICHARDSON A. W., DUANE T. D., HINES H. M. Experimental lenticular opacities produced by microwave irradiation. *Arch. Phys. Med.*, 1948, **24**, 765-769.
- [82] RICHARDSON A. W., DUANE T. D., HINES H. M. Experimental cataracts produced by 3 centimeter pulsed microwave irradiation. *Arch. Ophthalmol.*, 1951, **45**, 382-386.
- [83] SCHWAN H. P., LI K. Hazards due to total body irradiation by radar. *Proc. I.R.E.*, 1956, **44**, 1572-1581.
- [84] SCHWAN H. P., PIERSOL G. M. The absorption of electromagnetic energy in body tissues, a review and critical analysis. Part I. Biophysical aspects. — Part. II. Physiologic and clinical aspects. *Amer. J. Phys. Med.*, 1954, **33**, 371-404; 1955, **34**, 425-448.
- [85] SHWAN H. P. Interaction of microwave and radiofrequency radiation with biological systems. *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techn.*, 1971, MTT **19** (2), 146-152.
- [86] SEGAL J. R. Surface change of giant axones of squid and lobster. *Biophys. J.*, 1968, **8**, 470-489.
- [87] SERVANTIE B., JOLY R. Radar. Recherche biologique et médecine du travail. *Gazette Hop. Civ. Mil.*, 1970, **31**, 797-798.

- [88] SERVANTIE B., TYLER P. E. Les champs électromagnétiques non ionisants, facteurs d'environnement en milieu militaire. *Centre d'Études et de Recherches Biologiques appliquées à la Marine*. Toulon, 1975, Rapport 75-21.
- [89] SHER L. D., SCHWANN H. P. Mechanical effects of A. C. fields on particles dispersed in a liquid; biologic complications. Electromedical Division, Philadelphia. *O.N.R., Report No. 47*, 1963.
- [90] SETH H. S., MICHAELSON S. M. Microwave hazards evaluation. *Aerosp. Med.*, 1964, **35**, 734-739.
- [91] SIMKOVITH I. S., SHILYAEV V. G. Cité d'après MILROY W. C., MICHAELSON S. M. [59].
- [92] SZENT-GYORGYI S. A. Molecules, electrons and biology. *Trans. N. Y. Acad. Sc.*, 1969, **31**, 334-340.
- [93] THOMPSON R. A. E., MICHAELSON S. M., HOWLAND S. W. Modification of X irradiation lethality in mice by microwaves. *Radiat. Res.*, 1965, **24**, 631-635.
- [94] THOMPSON R. A. E., MICHAELSON S. W. Microwave radiation and its effect on response to X radiation. *Aerospace Med.*, 1967, **38**, 254-255.
- [95] TROYANSKI M. P. Bilans de santé des spécialistes travaillant avec des générateurs UHF. *Voenna Medits. Zh.*, 1967, **7**, 30-35 (traduction C.E.R.S.T.).
- [96] TYAGIN N. V. Changes in the blood of animals subjected to a UHF field. *Voenna Med. Akad.*, 1957, **73**, 116 (cité d'après Petrov [77]).
- [97] TYLER P. E. Biologic effects of non-ionizing radiation. *Ann. New York Acad. Sc.*, 1975 **247**, 194-218.
- [98] VAN UMMERSEN C. A. The effect of 2 450 M. C. radiation on the development of chick embryo. *Proc. 4th Triservice Conference on the Biological effects of microwave radiation*, New York, Plenum press, 1961, **1**, 201-219.
- [99] VOGELMAN J. H. Physical and electrical characteristics of microwave hazard. *12th Annual Conference on electrical techniques in medicine and biology*. Report RADC-TR-59-227, 1959.
- [100] WEBBS S. J., BOOT A. D. Absorption of microwave by micro-organisms. *Nature*, 1969, **222**, 1199-1200.
- [101] WEI L. Y. A new theory of nerve conductions. *IEEE Spectrum*, 1966, **3**, 123-127.
- [102] WILLIAMS D. B., MONAHAN J. P., NICHOLSON W. J., ALDRICH J. J. Biologic effects of studies on microwave radiations: time and power thresholds for the production of lens opacities by 12,5 cm microwaves. *Arch. Ophthalmol.*, 1955, **54**, 863-874.
- [103] ZARET M., EISENBUD M. Preliminary results of studies of the lenticular effects of microwaves among exposed personal. *Proc. 4th Ann. Triservice Conference on the Biological effects of microwave radiation*. New York, Plenum Press, 1961, 293-308.
- [104] ZARET M., CLEARY S., PASTERNAK B., EISENBUD M. Occurrence of lenticular imperfections on the eyes of microwave workers and their association with environmental factors. New York University, Report RADC-TN-61-226, 1961.