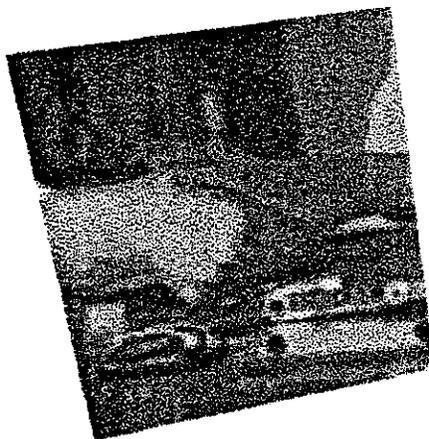


**Machines industrielles
chauffant par perte diélectrique
ou par effet d'induction -
nature, méthode de mesure et
contrôle des radiofréquences**



BILANS DE CONNAISSANCES

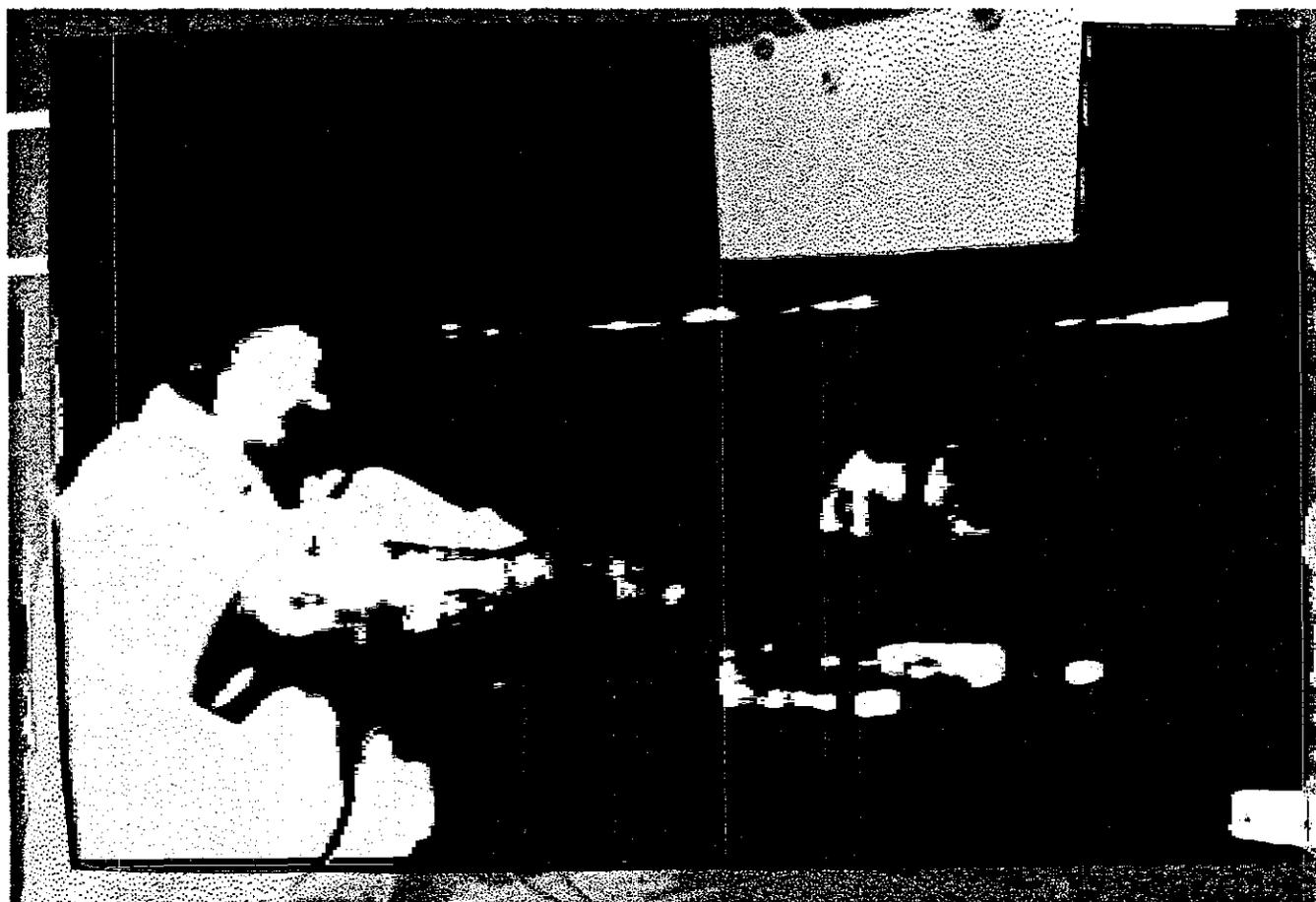
Lambert Laliberté

Boût 1992

B-038



RAPPORT



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

**Machines Industrielles
chauffant par perte diélectrique
ou par effet d'induction -
nature, méthode de mesure et
contrôle des radiofréquences**

Lambert Laliberté
Programme soutien analytique, IRSST

BILANS DE CONNAISSANCES

RAPPORT

REMERCIEMENTS

Nous remercions Madame France Constantineau-Lafontaine pour sa collaboration à la dactylographie et à la mise en page du présent document, Madame Dominique Desjardins pour la réalisation de nombreux dessins et tous les membres de l'Institut et des autres organismes qui ont de près ou de loin collaboré à la révision du présent ouvrage.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
AVANT-PROPOS	v
CHAPITRE I - Fonctionnement des machines industrielles utilisant les radiofréquences. .	1
1.1 Introduction	1
1.2 Machines chauffant par perte diélectrique	1
1.3 Machines chauffant par effet d'induction	5
CHAPITRE II - Les radiofréquences et leurs effets	9
2.1 Nature des radiofréquences	9
2.2 Effets biologiques des radiofréquences	23
2.2.1 Effets thermiques	23
2.2.1.1 Effets de l'exposition de l'oeil	25
2.2.1.2 Effets neuroendocriniens	26
2.2.1.3 Système nerveux et effets comportementaux	26
2.2.1.4 Effets sur le système hématologique et les cellules immunocompétentes	27
2.2.1.5 Effets génétiques et autres au niveau des systèmes cellulaires	28
2.2.1.6 Effet sur la reproduction et le développement	28
2.2.2 Effets athermiques	29
CHAPITRE III - Métrologie des champs de radiofréquences	31
3.1 Aspects généraux	31
3.2 Instrumentation	34
3.3 Méthode de mesure	43
CHAPITRE IV - Mesures de contrôle	53
4.1 Blindage - aspects généraux	54
4.2 Installation de cavaliers de shuntage et mise à la terre des machines chauffant par perte diélectrique	57
4.3 Avantages d'isoler les opérateurs d'une mise à la terre	63
4.4 Modèle de blindage	64
CHAPITRE V - Conclusion et recommandations	66
RÉFÉRENCES	67
BIBLIOGRAPHIE	70

LISTE DES FIGURES

	Page
FIGURE 1 : Principe d'opération des soudeuses industrielles par perte diélectrique. . .	2
FIGURE 2 : Principe d'opération des sécheuses industrielles par perte diélectrique. . .	4
FIGURE 3 : Principe d'opération des machines industrielles chauffant par induction. . .	8
FIGURE 4 : Illustration du champ de force électrique E entre deux charges de même signe (a) et deux charges de signe contraire (b)	10
FIGURE 5 : Illustration du champ de force magnétique H.	11
FIGURE 6 : Spectre électromagnétique	14
FIGURE 7 : Exposition uniforme due à une onde plane	20
FIGURE 8 : Exposition non-uniforme due à des réflexions	21
FIGURE 9 : Représentation des champs de forces en champ éloigné	22
FIGURE 10 : Instrument de mesure pour l'évaluation de la fréquence de l'onde émise .	36
FIGURE 11 : Instruments de mesure pour l'évaluation de l'intensité des champs électriques et magnétiques	37
FIGURE 12 : Estrade galvanométrique pour la mesure du courant de corps induit et/ou du courant de contact.	39
FIGURE 13 : Exemple d'utilisation du galvanomètre de courant de contact avec une soudeuse par perte diélectrique.	40
FIGURE 14 : Exemple d'utilisation du galvanomètre de courant de contact avec une table mobile.	41
FIGURE 15 : Détecteur "maison" de champ électrique	42
FIGURE 16 : Cadre de mesure d'une surface fonctionnellement équivalente à celle du corps humain utilisé pour la mesure du champ électrique	46
FIGURE 17 : Mise à la terre des points électrisés sur une soudeuse par perte diélectrique opérant à 27,12 MHz	60
FIGURE 18 : Mise à la terre des points électrisés sur une table tournante métallique utilisée dans certaines usines, pour la fabrication des piscines.	61
FIGURE 19 : Prise de mise à la terre pour une soudeuse par perte diélectrique.	62
FIGURE 20 : Exemple de blindage du champ électrique	65

LISTES ANNEXES

	Page
ANNEXE 1 : Fréquences Industrielles, Scientifiques et Médicales	71
ANNEXE 2 : Liste partielle des fabricants de soudeuses et sécheuses par perte diélectrique	73
ANNEXE 3 : Liste des métiers où l'usage d'appareils à hautes fréquences peut être requis	76
ANNEXE 4 : Recommandations 1991 de Santé et Bien-être social Canada pour une exposition aux radiofréquences	80
ANNEXE 5 : Limites ANSI pour le courant induit et le courant de contact	82
ANNEXE 6 : Exemple du calcul de l'exposition corrigée et de la durée d'exposition permise	84
ANNEXE 7 : Autres formules utiles	92
ANNEXE 8 : Calculs détaillés pour obtenir la formule de la valeur corrigée pour 6 minutes	94
ANNEXE 9 : Calculs détaillés pour obtenir la formule de la durée d'exposition actuelle durant une période de 6 minutes	101
ANNEXE 10: Article 51 de la loi sur la santé et la sécurité du travail au Québec	104
ANNEXE 11: Mesures d'expositions	107

AVANT-PROPOS

Ce guide se veut avant tout un outil d'information sur les radiofréquences permettant aux inspecteurs, hygiénistes et techniciens du réseau de la santé au travail de comprendre la problématique reliée à ces agresseurs.

Bien que ce document se veuille un guide pratique sur les méthodes de prévention et de correction, il nous apparaît important d'inclure des considérations théoriques concernant les propriétés et les effets biologiques de cette énergie et le fonctionnement des machines industrielles chauffant par perte diélectrique ou par effet d'induction.

Ce symbole  indique au lecteur les points les plus importants du présent guide.

Dans le cas de renvois de bas de page, "note" est utilisée exceptionnellement avec le chiffre ² afin de ne pas confondre avec une valeur au carré.

Le chapitre 1 présente un aperçu du fonctionnement des machines industrielles chauffant par perte diélectrique ou par effet d'induction. Comme l'énergie radiofréquence (r.f.) est à la base du fonctionnement de ces machines, une explication de ses propriétés et de ses effets biologiques est donné au chapitre 2. Compte tenu des effets thermiques néfastes des r.f. à dose élevée, le chapitre 3 présente les instruments de mesure et la méthode à employer pour leur évaluation. Le chapitre 4 énumère les différentes mesures de contrôle pour minimiser les expositions aux r.f. Enfin, le chapitre 5 renferme la conclusion et donne des recommandations.

CHAPITRE I - Fonctionnement des machines industrielles utilisant les radiofréquences.

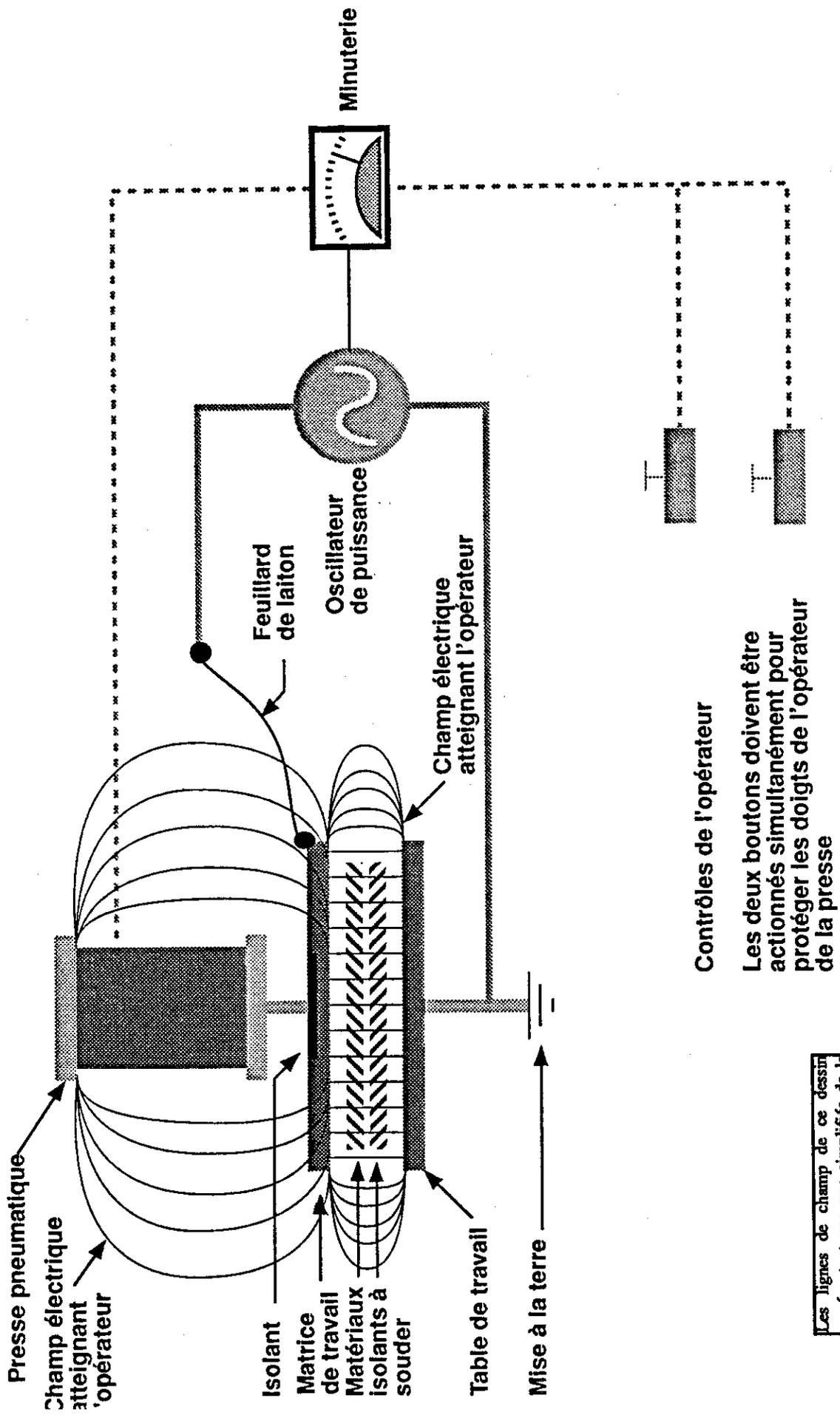
1.1 Introduction

Les machines industrielles chauffantes ont été introduites vers 1945 au Québec. Nous n'avons trouvé aucune source qui nous permettrait de quantifier le nombre d'unités en utilisation. Ces machines se divisent en deux groupes : celles chauffant par perte diélectrique, dans un matériau isolant, sous l'action du champ électrique dominant généré entre deux plaques parallèles et celles chauffant par effet d'induction, dans un matériau conducteur, sous l'action du champ magnétique dominant circulant dans une ou des spires. Un champ électrique accompagne toujours un champ magnétique et un champ magnétique accompagne toujours un champ électrique lorsqu'il s'agit de charges en mouvement, c'est à dire de courant. Sans blindage, les deux champs sont indissociables. De plus, le type d'électrode branché au générateur radiofréquence (r.f.), impose au courant et au voltage qui s'y développent, des contraintes qui forcent l'intensité de l'un des champs à excéder de plusieurs ordres de grandeur l'autre champ. On parle alors de champ dominant.

1.2 Machines chauffant par perte diélectrique

La perte diélectrique est l'énergie dépensée par le champ électrique pour polariser les atomes et les molécules au sein du matériau non-conducteur et pour orienter les dipôles électriques nouvellement créés et ceux déjà existants. En effet, le champ électrique tend à orienter tous les dipôles dans un sens puis une fraction de seconde plus tard, lorsque la polarité du champ électrique a changé, à les orienter dans la direction opposée.

L'alignement des dipôles électriques des atomes et des molécules ne parvient pas toujours à suivre la polarité du champ électrique en parfaite synchronisation mais peut accuser un retard dû à un phénomène appelé "relaxation" auquel nous ne nous attarderons pas car il déborde du cadre de la présente étude. Il n'en demeure pas moins que la friction inter-atomique et inter-moléculaire développera une telle chaleur que les matériaux sécheront ou fusionneront ensemble selon l'application. L'échauffement est alors proportionnel au carré de l'intensité du champ électrique et proportionnel à la fréquence utilisée [1].



Les lignes de champ de ce dessin représentent une vue simplifiée de la réalité et ne sont dessinées que pour indiquer au lecteur la configuration générale du champ.

FIGURE 1 : Principe d'opération des soudeuses industrielles par perte diélectrique.

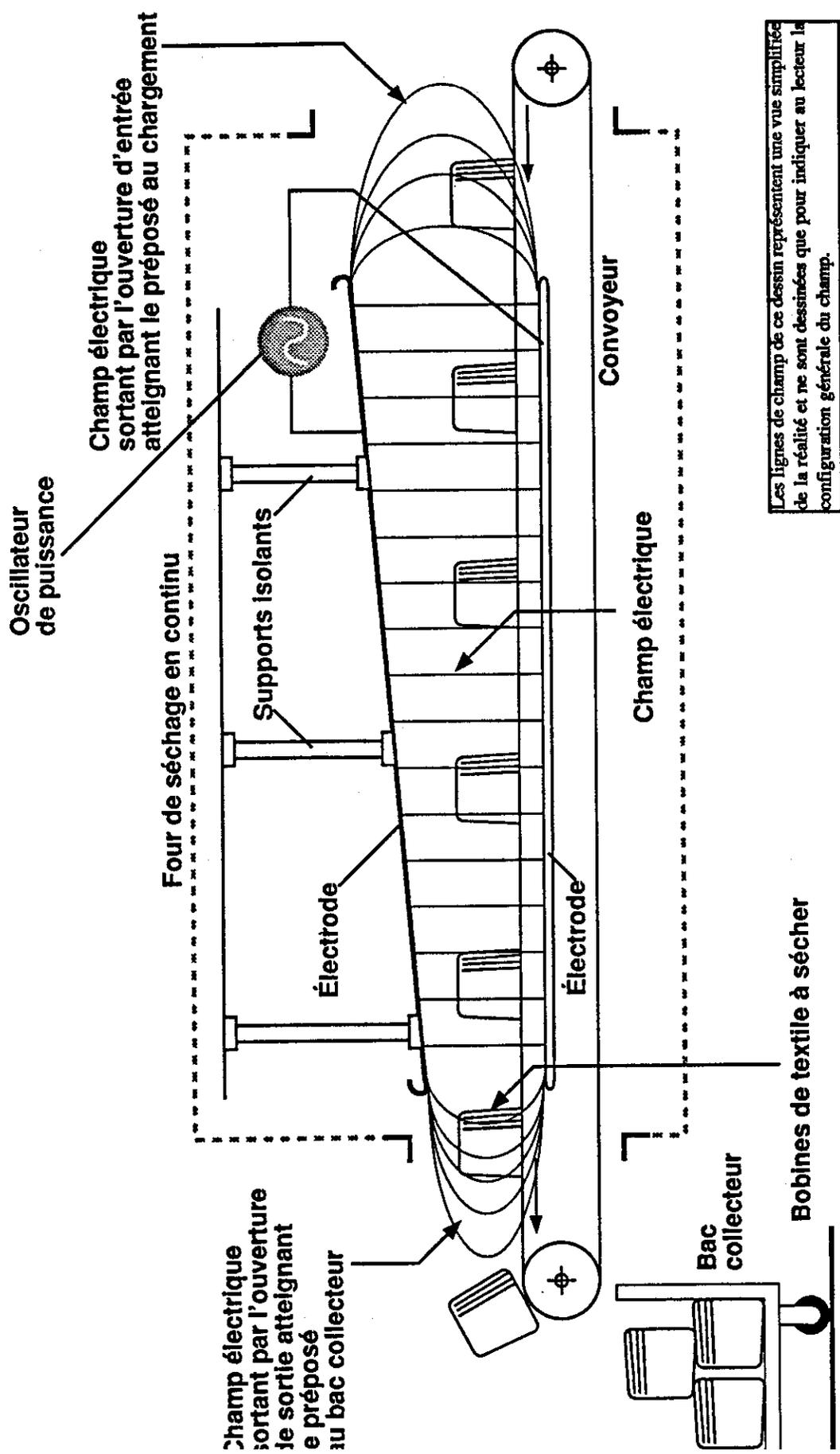
Les machines chauffantes par perte diélectrique (Figure 1) font appel à des électrodes qui ont l'aspect de deux plaques parallèles (ou d'un ensemble de plaques parallèles) dans le cas des sècheuses et d'une plaque et d'un mouton à estamper dans le cas des soudeuses, entre lesquelles se développe un champ électrique à haute fréquence. La vaste majorité des machines faisant appel au principe de chauffage par perte diélectrique sont des soudeuses de matériaux à base de polymères. Dans ce type de machine l'une des plaques forme la table de travail sur laquelle l'on dépose les matériaux à souder. Elle est reliée au bâti de la machine qui est lui-même relié à la terre afin d'éviter tout choc électrique¹ pour l'opérateur. Une borne de sortie du générateur lui est reliée. L'autre électrode est mobile et est actionnée par un cylindre pneumatique servant à compresser les matériaux pour favoriser leur fusionnement sous l'action de la chaleur. Elle est reliée à l'autre borne de sortie du générateur de haute fréquence par l'entremise d'un ou deux feuillets de laiton qui assureront un parcours très peu résistant au courant de haute fréquence. Son potentiel radio-fréquence (r.f.) d'opération varie entre 800 et 1500 volts [2].

À cette électrode mobile, le manufacturier rattache la matrice de travail, c'est à dire, un ensemble de barreaux métalliques reliés à une base et disposés de façon à épouser la forme du produit fini. Cette matrice servira à former les joints de soudure entre les couches des matériaux, car tout objet métallique concentre le champ électrique et accentue son effet thermique.

Une des applications les plus courantes des sècheuses par perte diélectrique est le séchage des fibres de textile par un effet moins prononcé que pour les soudeuses mais soutenu de chaleur et sans l'utilisation de presse. Un tel four de séchage à action continue est illustré à la figure 2.

Les dispositifs fonctionnant par perte diélectrique font appel à des puissances s'échelonnant entre 100 W et 200 kW et des fréquences se situant entre 2 et 120 MHz ou plus [2]. La plupart opèrent aux fréquences ISM (Industrielles, Scientifiques, Médicales) (annexe 1) où il n'y a aucune restriction de puissance. Ces fréquences sont réservées par l'Union Internationale des Télécommunications et la fréquence la plus commune est de 27,12 MHz.

¹ Beaucoup de machines, à cause de l'absence de blindage ou à cause d'une absence de mise à la terre r.f., causent de nombreux chocs aux opérateurs. Le courant de contact qui s'établit entre la main ou un doigt de l'opérateur et un objet métallique chargé par la présence d'un champ électrique, et donc incorrectement mis à la terre ou carrément non mis à la terre, devrait respecter les valeurs recommandées aux annexes 4 et 5.



Les lignes de champ de ce dessin représentent une vue simplifiée de la réalité et ne sont dessinées que pour indiquer au lecteur la configuration générale du champ.

FIGURE 2 : Principe d'opération des sécheuses industrielles par perte diélectrique.



Beaucoup de machines opèrent à côté de ces fréquences. Le ministère des communications les tolère si aucune interférence avec d'autres services n'est rapportée.

Ces machines sont utilisées pour sécher, chauffer, fondre ou traiter thermiquement les plastiques, les fibres, le caoutchouc ou les colles thermodurcissables. Le rendement thermique de ces unités est élevé puisque l'énergie est concentrée directement aux zones désirées.



Ne confondez pas les soudeuses fonctionnant avec les r.f. et les soudeuses ou scelleuses thermiques chauffées par un filament électrique. Ces dernières sont petites et ne possèdent pas de générateur r.f. L'utilisation la plus répandue de ces machines est le scellage des sacs d'emballage en plastique. Un tube fluorescent ou une ampoule au néon (qui émettent de la lumière lorsqu'ils sont placés dans un champ électrique intense à cause de l'excitation de leurs atomes de gaz) placés à côté de la scelleuse électrique n'émettront aucune lumière confirmant l'absence de champ électrique significatif. Il est utile également, de consulter la liste de fabricants de machines utilisant les r.f. à l'annexe 2 pour voir si le nom du manufacturier de la machine s'y trouve ce qui peut vous donner un indice additionnel quant à son principe de fonctionnement.

Des utilisations plus particulières de ces machines sont: la fabrication d'articles de plastique tels les jouets, les contenants à l'épreuve de l'eau, les imperméables, les couvre-sièges; la lamination du bois et le formage de contreplaqué-; les opérations de gaufrage et de séchage du textile, du papier, du plastique et du cuir; le thermo-durcissage des matériaux plastiques, des résines et des colles [3].



Beaucoup de machines chauffantes, non blindées, causent des interférences dans les ordinateurs, circuits téléphoniques, intercom, communications mobiles des services publiques, radio et t.v. etc. Voilà des raisons additionnelles qui inciteront les manufacturiers à blinder leurs machines.

1.3 Machines chauffant par effet d'induction

L'effet d'induction consiste en l'induction d'un courant de basse ou de très basse fréquence à l'intérieur d'un matériau conducteur par l'action d'un champ magnétique de même fréquence. Comme il ne s'agit pas d'un parfait conducteur, il s'en suivra une perte par effet Joule qui

entraînera une augmentation de la température du matériau à souder ou à traiter. L'échauffement est alors proportionnel au carré de l'intensité du champ magnétique et à la racine carrée de la fréquence du générateur [1].

Les machines chauffant par induction (Figure 3) utilisent une seule électrode en métal tel que le cuivre. Ces machines utilisent une spire ayant la forme d'un "U" (elles peuvent également avoir plusieurs spires) parcourue à la fois par un courant de haute fréquence et par de l'eau qui sert de réfrigérant, puisque la spire elle-même subit un effet thermique. Les extrémités de cette spire sont filetées et munies d'écrous de façon à former un joint étanche avec le système de refroidissement et un joint électrique avec le générateur de courant haute fréquence. Les pièces à traiter sont introduites à l'intérieur de la spire lorsque c'est possible sinon elles sont placées à proximité de la spire. Généralement, aucune presse associée à ce genre de machine ne se retrouve en milieu industriel. La fréquence du courant qui circule dans l'électrode règle la profondeur de pénétration du courant induit dans la pièce à traiter. Ainsi, plus la fréquence est basse, plus la pénétration est grande et la profondeur du traitement thermique peut ainsi être dosée en fonction de la fréquence. Il est donc très important de mesurer la fréquence d'opération de ces machines puisque le niveau d'exposition maximal est fonction de la fréquence.

Le chauffage par induction fait appel à des puissances s'échelonnant entre 1 kW et 1 000 kW et des fréquences allant de 50 kHz à 500 kHz. Les machines à induction ne sont pas restreintes aux fréquences ISM. Ce type de machines se retrouve pour les opérations de brassage, de soudage, de recuit, de trempe, de dégazage, de fusion, de séchage etc... [1]. (Voir l'annexe 3 pour l'inventaire des diverses utilisations des radiofréquences dans l'industrie).



Les travailleurs oeuvrant près des machines chauffantes peuvent être inconscients de leur exposition aux radiofréquences (r.f.), car l'énergie émise par les soudeuses peut pénétrer profondément dans le corps sans activer les thermorécepteurs situés dans le premier millimètre de la peau [4].

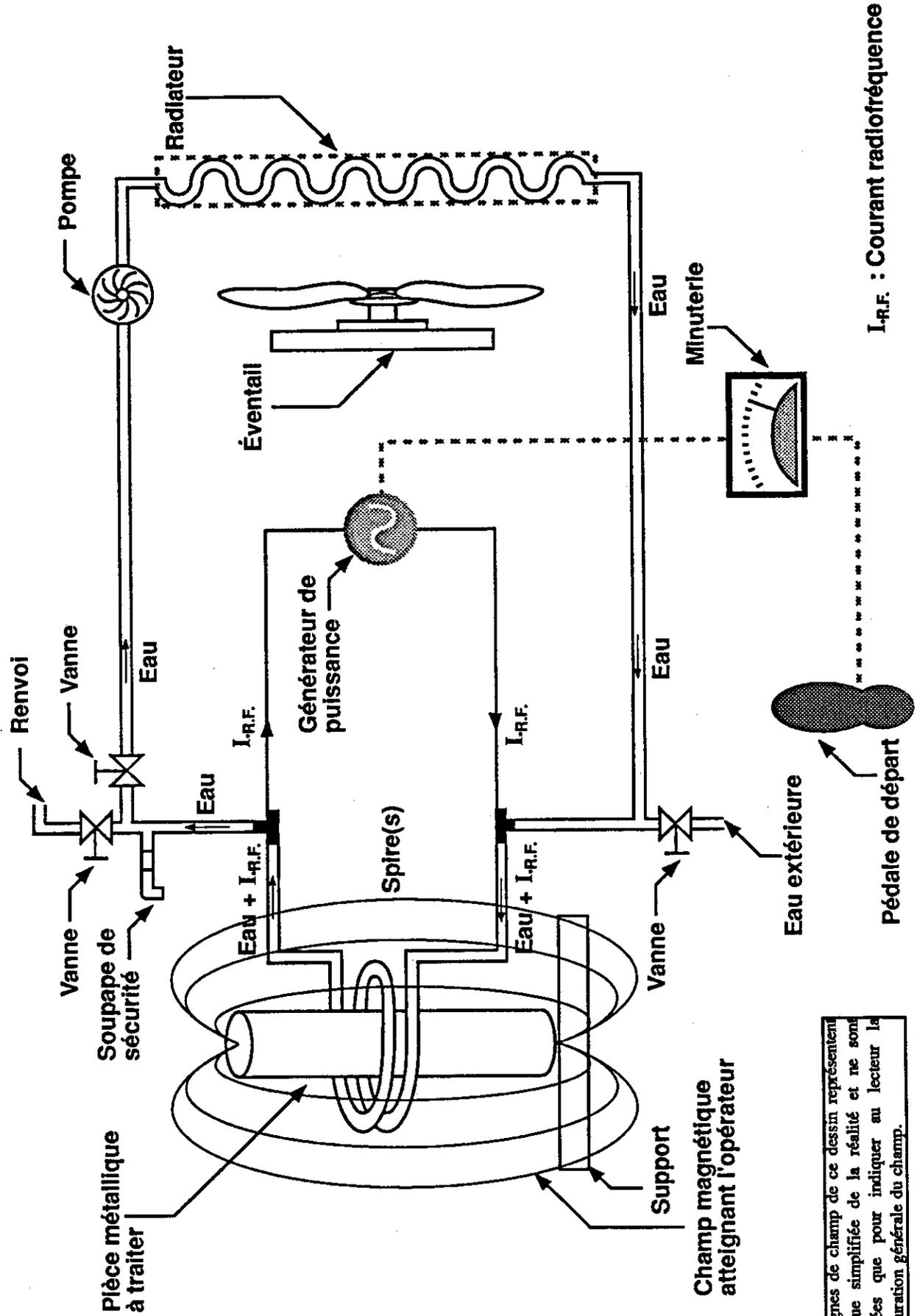
La source principale d'émission non désirée de radiofréquences se situe au niveau de l'électrode mobile ou de la spire généralement non blindée. Des sources d'émissions de moindre importance se retrouvent aux alentours du boîtier du générateur. D'autres sources proviennent des points électrisés situés sur la structure métallique de la machine et de la table

tournante¹ de travail lorsque celle-ci est constituée de métal. Toute structure métallique avoisinante peut renforcer l'exposition aux radiofréquences par leur nature réfléchissante.



Un danger possible d'exposition aux rayons X existe près des lampes amplificatrices à l'intérieur du boîtier du générateur car ces lampes font appel à un faisceau électronique qui bombarde une plaque métallique portée à un très haut potentiel afin d'atteindre une très grande puissance. L'impact des électrons sur la plaque métallique transformera une bonne partie de l'énergie cinétique des électrons en rayonnement X. Il est important de s'assurer que la machine est opérée avec les portes du générateur fermées. Certaines entreprises déjouent les mécanismes de verrouillage de sécurité installés sur les portes du générateur et laissent celles-ci ouvertes afin de favoriser la ventilation du générateur.

¹ Il s'agit de table circulaire d'environ 10 m de diamètre sur laquelle on dépose la très grande toile de polymère servant à constituer le fond d'une piscine.



Les lignes de champ de ce dessin représentent une vue simplifiée de la réalité et ne sont pas assurées que pour indiquer au lecteur la configuration générale du champ.

FIGURE 3 : Principe d'opération des machines industrielles chauffant par induction.

CHAPITRE II - Les radiofréquences et leurs effets

2.1 Nature des radiofréquences

Un champ électromagnétique est produit par une ou des charges électriques en mouvement et comprend un champ électrique jumelé à un champ magnétique.

Un *champ électrique* est une région de l'espace exerçant une force (représenté par le vecteur \vec{E}) d'attraction ou de répulsion sur toute charge électrique introduite dans ce champ. Un champ électrique est donc créé par des charges et exerce une force sur des charges. Les lignes de force électrique (purement imaginaires) représentent l'intensité et la direction du champ électrique en différents points de l'espace lorsqu'on y introduit des charges. La direction positive du champ est donnée par la direction de la force que subit une charge positive placée dans le champ. Ainsi, les lignes sont rentrantes pour des charges négatives et sortantes pour des charges positives. Les lignes convergent vers des charges de polarité contraire et divergent des charges de même polarité (figure 4). Si la densité de ces charges ne varie pas, le champ électrique est statique. (Ex. Les charges fixées sur un chandail de laine engendrent un champ électrique statique. Son champ de force est analogue au champ gravitationnel). Si la densité des charges varie, le champ électrique est variable et si la densité et/ou la polarité des charges varie de façon cyclique, alors le champ sera alternatif (ex. le champ autour des conducteurs électriques rattachés au réseau de distribution à 50 ou 60 Hz).

S'il existe une différence de densité de charges entre deux zones d'un milieu conducteur, un déplacement de charges s'établit dans le milieu de façon à rétablir l'équilibre de la densité des charges tout comme le mouvement du liquide placé dans des vases communicants tente de rétablir l'équilibre des niveaux. Ce courant électrique génère un champ magnétique autour du milieu conducteur. Le *champ magnétique* est une région de l'espace où s'exerce une force (représenté par le vecteur \vec{H}) qui est capable de modifier la trajectoire de particules chargées. Un champ magnétique est donc créé par un courant et exerce une force sur un courant. Les lignes de force magnétique (purement imaginaires) représentent l'intensité et la direction du champ magnétique en différents points de l'espace (figure 5). Contrairement au champ électrique qui est issue d'un monopole (charge positive ou négative), le champ magnétique n'a pas de point de départ ou d'arrivée car il ne possède pas de monopole positif (pôle nord) ou

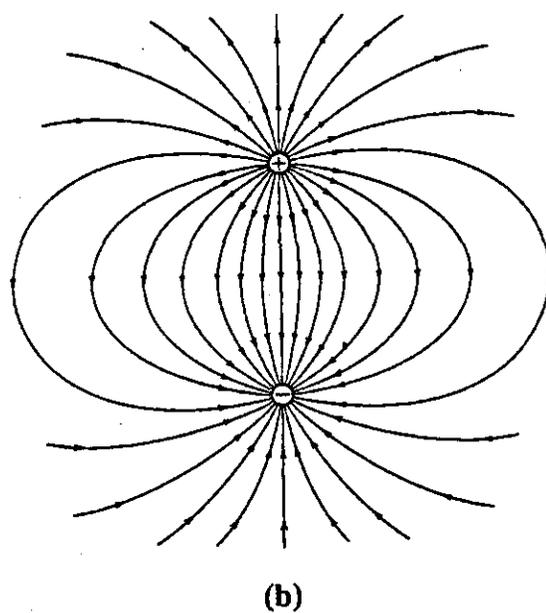
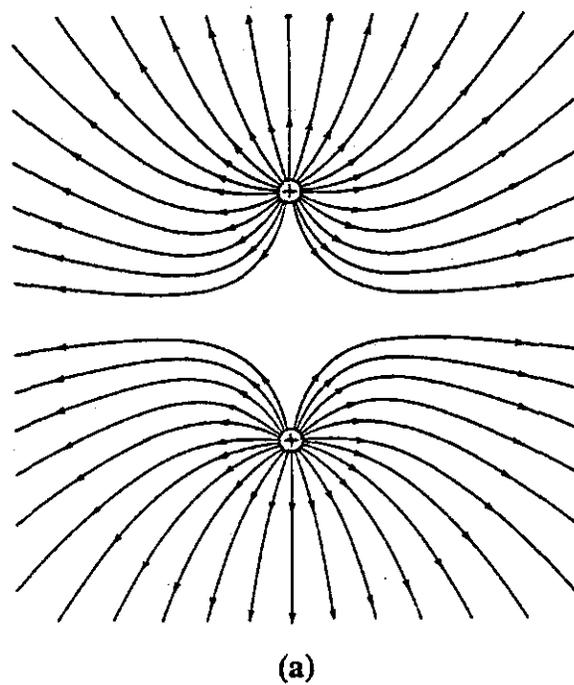
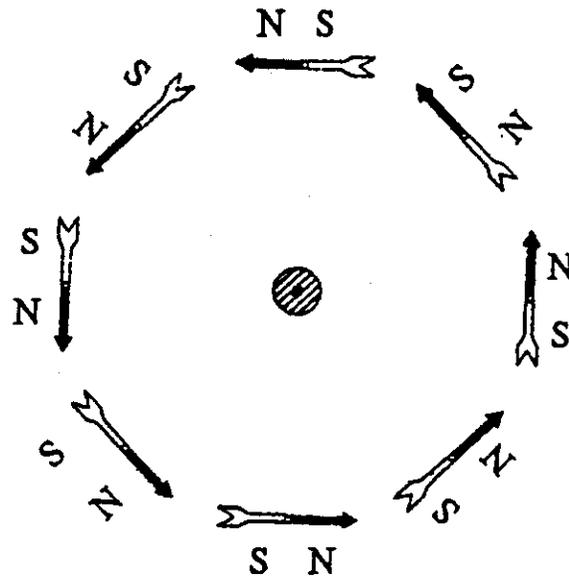


FIGURE 4 : Illustration du champ de force électrique E entre deux charges de même signe (a) et deux charges de signe contraire (b).



Note 1: Le champ illustré est celui créé autour d'un fil dans lequel les charges positives (courant conventionnel) se dirigent vers nous.

Note 2: L'aiguille d'une boussole, placée n'importe où autour du conducteur, assume la direction indiquée si un courant sortant circule dans le fil. Le sens de l'aiguille s'inverse si le courant s'inverse.

FIGURE 5 : Illustration du champ de force magnétique H.

négatif (pôle sud) à l'état libre. Un aimant peut être coupé en deux un très grand nombre de fois sans jamais parvenir à isoler un seul des pôles. Dès que le barreau aimanté est coupé en son centre pour enlever l'un des pôles, un nouveau pôle de signe contraire réapparaît aussitôt.

Les lignes de force décrivent des boucles concentriques et perpendiculaires à la direction du courant. La direction du champ magnétique est donnée par la loi du tire-bouchon. Le sens du courant conventionnel (non électronique) indique le sens dans lequel un tire-bouchon doit s'enfoncer et le sens de rotation de la poignée qui cause cet enfoncement donne le sens de la rotation de la force magnétique.

Si un courant circule toujours dans la même direction avec la même intensité, on parle alors de courant continu (c.c.). Le courant continu produit un champ magnétique constant autour du conducteur. Si la densité de charges fluctue ou si la polarité des charges alterne périodiquement, alors le courant variera ou changera de sens périodiquement. On parle alors de courant variable ou alternatif (c.a.) qui engendre des champs électrique et magnétique variables ou alternatifs.

Ces deux champs se combinent et deviennent un champ électromagnétique. Une des propriétés du champ électromagnétique est de propager ses champs de forces électrique et magnétique sans fin dans l'espace. La propagation de ces champs de force dans l'espace crée une perturbation du milieu et *le déplacement de cette perturbation s'appelle une onde électromagnétique.*

L'onde électromagnétique se propage dans l'espace jusqu'à ce qu'elle soit absorbée, réfléchie, transmise ou diffractée par des objets. L'amplitude de chacun des deux champs qui la composent s'atténue selon l'inverse de la distance. La densité de puissance de l'onde, qui est le produit vectoriel des deux champs, s'atténue selon l'inverse du carré de la distance.

Les champs électromagnétiques se caractérisent par:

- . les intensités des champs électrique $|\vec{E}|$ en Volts_{rms}/mètre et magnétique $|\vec{H}|$ en Ampères_{rms}/mètre¹;
- . la fréquence d'oscillation (f) des champs électromagnétiques en Hertz;

¹ Aux fréquences inférieures à 30 kHz, l'unité tesla (T) de densité de champ magnétique est plus fréquemment utilisée. De plus, 1T = 10⁴ Gauss et dans un médium tel que l'air: 1T = 7,96 X 10⁵ A/m et 1 A/m = 1,26 X 10⁶ T.

- leur longueur d'onde (λ) en mètre.

Selon leur fréquence, les ondes électromagnétiques ont différentes applications. Le spectre électromagnétique est illustré à la figure 6.

Deux zones spéciales existent autour d'une source électromagnétique dont les dimensions sont beaucoup plus petites que la longueur d'onde: en deçà et au delà d'une distance de $1,6 \lambda^1$. Lorsque l'opérateur d'une machine se situe en deçà de $1,6 \lambda$ (par exemple $17,6$ ^{note 2} mètres dans le cas des soudeuses par perte diélectrique dont la majorité opère à $27,12$ MHz) il est dans un espace appelé *champ proche ou zone d'induction*. Dans cette zone, l'intensité des champs électrique et magnétique varie rapidement en fonction de l'éloignement de la source: le champ dominant s'atténue selon l'inverse du cube de la distance alors que son champ complémentaire s'atténue selon l'inverse du carré de la distance. Le champ électrique, représenté par le vecteur \vec{E} , n'est pas nécessairement perpendiculaire au champ magnétique, représenté par le vecteur \vec{H} ; le rapport de l'intensité du champ électrique à l'intensité du champ magnétique n'est pas homogène dans cette zone.

Dans le but d'établir des recommandations, les chercheurs s'efforcent d'évaluer la puissance véhiculée par les champs électromagnétiques. Une densité de puissance qui excède la recommandation peut causer un échauffement du tissu exposé (un facteur de sécurité de dix a été inclus dans la recommandation). La densité de puissance, représentée par le vecteur \vec{S} en W/m^2 , aussi appelé vecteur de Poynting, s'obtient par le produit vectoriel des deux champs \vec{E} en V/m et \vec{H} en A/m . La difficulté apparaît au moment d'évaluer l'angle entre le champ électrique et le champ magnétique pour pouvoir effectuer le produit vectoriel. Comme c'est une tâche assez complexe et parfois impossible, la valeur efficace³ des deux champs est plutôt évaluée. Les recommandations de Santé et Bien-être social Canada spécifient les intensités efficaces des champs électrique et magnétique en V_{rms} / m et en A_{rms} / m respectivement. Pour

¹ Le changement se fait en réalité de façon progressive. Le champ éloigné apparaît à $\lambda / 2\pi$ de distance de la source et s'établit clairement à $10 (\lambda / 2\pi)$ alors que le champ proche commence son agonie à $\lambda / 2\pi$ et disparaît, à toute fin pratique, à $10 (\lambda / 2\pi)$. L'espace entre $\lambda / 2\pi$ ou $\lambda / 6$ et $10 (\lambda / 2\pi)$ ou $1,6 \lambda$ est donc une zone de transition entre le champ proche et le champ éloigné. Pour fin de mesure, nous considérerons cette zone de transition comme faisant partie du champ proche.
Référence: [6] et Gardiol, Fred. Traité d'électricité. Volume III - Électromagnétisme. Presses polytechniques romandes, CH-1015 Lausanne, p 149, 1989.

² La longueur d'onde λ nous est donnée par :
$$\lambda = c / f$$

où f : fréquence en hertz de la source (ici $27,12 \times 10^6$ Hz).
 λ : longueur d'onde en mètres.
 c : vitesse de la lumière (et de l'onde radio) dans l'air (3×10^8 m/s).

³ La valeur efficace (rms) d'un signal, ayant une forme quelconque (sinusoïde, dent de scie, impulsion, etc.), correspond à un nouveau signal ayant une valeur continue capable de développer la même puissance (même échauffement dans les tissus) que le signal variable original. Il s'agit de la racine carrée de la valeur moyenne de l'intensité au carré évaluée sur la période du signal. Le champmètre effectue tous ces calculs sauf la racine carrée. Il affiche le résultat en V_{rms}^2 / m^2 ou en A_{rms}^2 / m^2 .

ces raisons, le champ électrique et magnétique doit donc être mesuré indépendamment lorsque nous sommes en champ proche.



En hygiène industrielle, les mesures sont effectuées à 99% en champ proche et vous devez toujours mesurer les champs électrique et magnétique pour bien quantifier l'exposition. Si vous étiez situés en champ éloigné, vous ne commettriez aucune erreur de mesure en évaluant les deux champs. Il y a tout simplement redondance des mesures.

Une personne située en champ proche, ne subit pas une exposition uniforme à la surface de son corps. La proximité de la source empêche qu'il y ait une exposition uniforme du corps tout comme une personne placée tout près d'une lampe. La présence de réflexions multiples des champs sur les structures métalliques environnantes créent des zones de construction positives et négatives (patron de moiré). Il est donc nécessaire, dans un tel cas, de prendre des lectures à plusieurs points à l'endroit où se trouvait la personne et d'en faire une moyenne. Cette valeur sera approximativement égale à une exposition uniforme qui aurait eu lieu en champ éloigné. Cette mesure est nécessaire afin de pouvoir comparer une valeur d'exposition en champ proche avec la recommandation qui est faite pour une exposition uniforme, en champ éloigné.

Quelques mots sur la notion de champ dominant. Le type d'électrode (deux plaques parallèles ou une spire) rattaché au générateur radio fréquence, impose au courant r.f. des contraintes qui dictent l'intensité de chacun des champs présents autour des électrodes. En effet, entre deux plaques parallèles séparées par un isolant, il ne peut y circuler un fort courant par rapport à la forte différence de tension qui peut exister entre les deux plaques. Quant à une spire, c'est presque un court-circuit. Il existe donc un très fort courant par rapport à la faible tension qui existe à ses bornes.

Comme l'intensité du champ électrique dépend principalement de l'amplitude de la tension et comme l'intensité du champ magnétique dépend principalement de l'amplitude du courant, la situation suivante se présente:

- Pour deux plaques parallèles, une différence de tension très élevée coexiste à un courant relativement faible. Par conséquent, le champ électrique est très élevé et le champ magnétique est faible. Le champ électrique domine le champ magnétique car il le dépasse de plusieurs ordres de grandeur.

- Pour une spire, un courant très élevé coexiste avec une tension relativement faible. Par conséquent, le champ magnétique est très élevé et le champ électrique est faible. Le champ magnétique domine le champ électrique car il le dépasse de plusieurs ordres de grandeur.

Il existe également un terme appelé densité de puissance équivalente de champ éloigné qui consiste à convertir la valeur du champ électrique en V/m obtenue en champ proche en mW/cm^2 , en supposant que le rapport entre l'intensité des champs électrique et magnétique est de $377 \Omega^1$, soit l'impédance d'une onde en champ éloigné (onde plane).

Il ne s'agit là que d'une façon comparative d'exprimer le champ électrique puisque la densité de puissance réelle est mal évaluée car le rapport entre l'intensité des champs électrique et magnétique n'est pas nécessairement de 377Ω en champ proche. Pour effectuer des comparaisons au niveau de l'intensité du champ électrique, il n'y a pas véritablement d'erreur puisque l'intensité du champ électrique au carré en champ proche et l'intensité du champ électrique au carré en champ éloigné sont toutes deux divisées par le même facteur de 3770Ω ^{note 2} pour obtenir la densité de puissance en mW/cm^2 .

Ce terme se rencontre fréquemment car pratiquement toute la recherche, antérieure à 1970, sur les effets biologiques des champs électromagnétiques, a été effectuée avec des ondes planes permettant d'obtenir des expositions uniformes avec des appareils de petites tailles. Les fréquences étudiées allaient de 900 à 10 000 MHz [7], afin d'obtenir dans un espace restreint, une exposition à une onde plane. Ainsi la vaste majorité des données sur les effets biologiques se réfère aux ondes planes.

Il devient donc indispensable de transformer l'intensité du champ électrique mesuré en champ proche, en densité de puissance de champ éloigné que l'on comparera avec la densité de puissance de l'onde plane utilisée lors d'une expérience sur des tissus ou cellules.

Le champ électrique est le principal responsable de l'échauffement des tissus aux fréquences

¹ Des V/m divisés par des A/m donnent un rapport appelé impédance de l'onde. Elle est exprimée en ohms (Ω).

² $P(\text{mW}/\text{cm}^2) = E^2(\text{V}^2/\text{m}^2)/(377 \Omega \times 10)$ où 377Ω est l'impédance du milieu dans lequel évolue une onde plane et où le facteur 10 est nécessaire pour exprimer la puissance en mW/cm^2 . Voir aussi la première page de l'annexe 8.

supérieures à 10 MHz et pratiquement tous les effets biologiques qui ont été étudiés sont reliés à l'échauffement des tissus¹. La discussion des effets biologiques sera repris à la section 2.2.

Depuis, des expériences ont démontré l'importance des dimensions des tissus exposés, de leur forme ainsi que de la polarisation de l'onde d'exposition. C'est pourquoi les chercheurs ont introduit le terme de Taux Spécifiques d'Absorption TSA (Specific Absorption Rates: SAR) qui tient compte des points mentionnés précédemment en spécifiant la puissance absorbée (et non irradiée) par unité de masse des tissus exposés (W/kg). Il est préférable d'évaluer le TSA qui représente beaucoup mieux la réalité que l'intensité d'exposition. Malheureusement, les techniques d'évaluation du TSA sont très complexes. Mais avec l'évolution rapide de la puissance de calcul des ordinateurs personnels, des programmes seront éventuellement disponibles.

En champ proche, l'onde électromagnétique n'a pas acquis les propriétés spécifiques qui en feront une onde plane. En effet, l'onde ne sera plane qu'à une distance supérieure à $1,6 \lambda$ de la source, s'il n'y a pas d'obstacles (figure 7). Cette zone s'appelle *champ éloigné ou zone de rayonnement*. Comme à l'intérieur d'un bâtiment il y a toujours de nombreux obstacles à la propagation d'une onde, la certitude de se trouver en champ éloigné n'est jamais acquise, même si la distance de la source respecte la condition ci-haut mentionnée (figure 8). La condition ne peut être satisfaite qu'en étant à l'extérieur du bâtiment et dans une zone dégagée d'obstacles.



Une onde plane, qui n'existe qu'en champ éloigné (de la source), donne une exposition uniforme s'il n'y a pas de réflexions sur ses objets environnants (voir les figures 7 et 8). Notez qu'à une distance suffisamment grande de la source, la courbure du front d'onde a tendance à disparaître et la "vague" d'énergie électromagnétique qui frapperait une personne est presque droite. Ainsi, tout le corps subit une même intensité d'onde au même moment: l'exposition est uniforme sur tout le corps. Parce que le front d'onde est droit, la même intensité de champs se retrouve le long du front d'onde, il s'en suit que les maxima d'intensités du champ électrique coïncident avec les maxima du champ magnétique.

¹ Beaucoup d'études entreprises durant les dernières vingt années tentent de démontrer l'existence d'interaction directe d'un champ électrique faible avec le mécanisme de fonctionnement de la cellule (surtout sa membrane) sans, pour autant, causer un échauffement des tissus.

Au moment où l'onde est plane, le rapport entre l'intensité du champ électrique et l'intensité du champ magnétique, s'établit à 377 ohms dans l'air ou le vide¹, constituant un équilibre stable en tout point de l'espace. L'intensité des champs s'atténue comme l'inverse de la distance, le rapport demeurant à 377 ohms. De plus, le champ électrique est perpendiculaire et en phase² au champ magnétique et tous deux sont perpendiculaires à la direction de propagation de l'onde (figure 9). La densité de puissance exprimée en W/m² est le produit vectoriel des deux champs. Ce produit se calcule facilement puisque l'angle entre les deux champs est toujours de 90 degrés.

Si nous avons à mesurer la puissance d'une onde électromagnétique dans l'air, il suffirait de mesurer l'une de ses composantes pour connaître l'autre car le rapport du champ électrique au champ magnétique est de 377 ohms. Ainsi, en ne mesurant que le champ électrique, nous pouvons en déduire la puissance présente car nous savons que $P(\text{mW}/\text{cm}^2) = E^2(\text{V}^2/\text{m}^2)/(377 \Omega \times 10)$ ou en ne mesurant que le champ magnétique car $P(\text{mW}/\text{cm}^2) = H^2(\text{A}^2/\text{m}^2) \times (377 \Omega \div 10)$, (les opérations " $\times 10$ " et " $\div 10$ " permettent d'exprimer la puissance en mW/cm²) opérations que nous ne pourrions pas faire si nous étions en champ proche. C'est justement de cette façon que fonctionnent les instruments qui mesurent la puissance. Règle générale, c'est le champ électrique qui est mesuré.

¹ Le rapport sera différent dans un autre médium.

² L'intensité des deux champs passe par le maximum et le minimum en même temps.

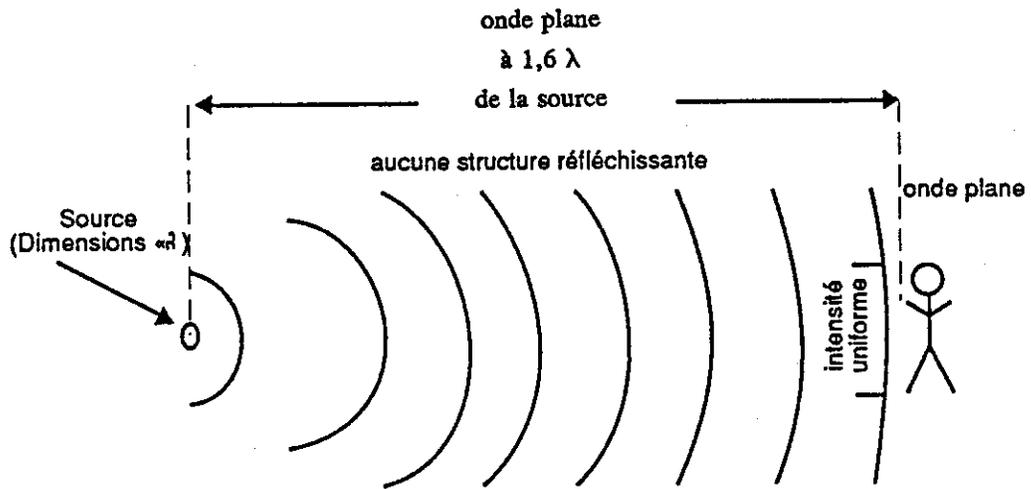


FIGURE 7 : Exposition uniforme due à une onde plane.

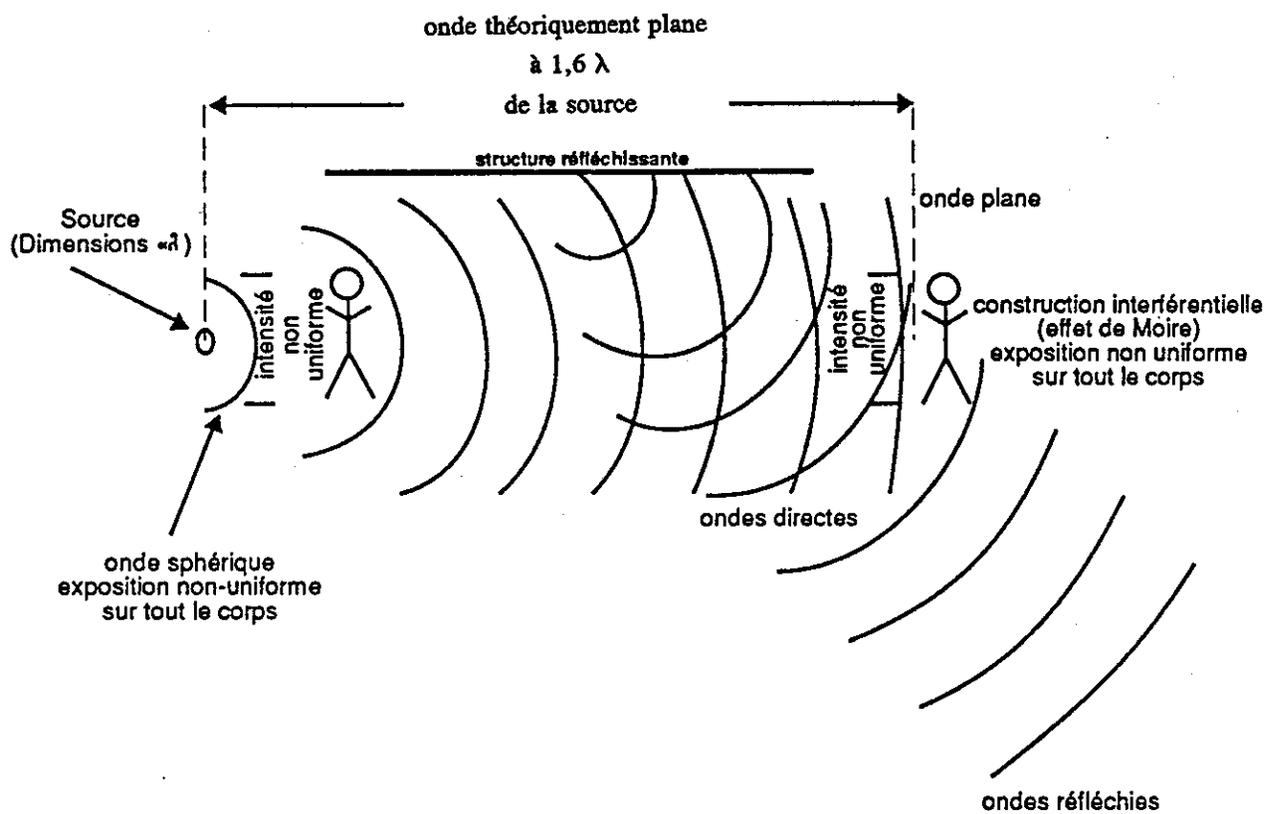
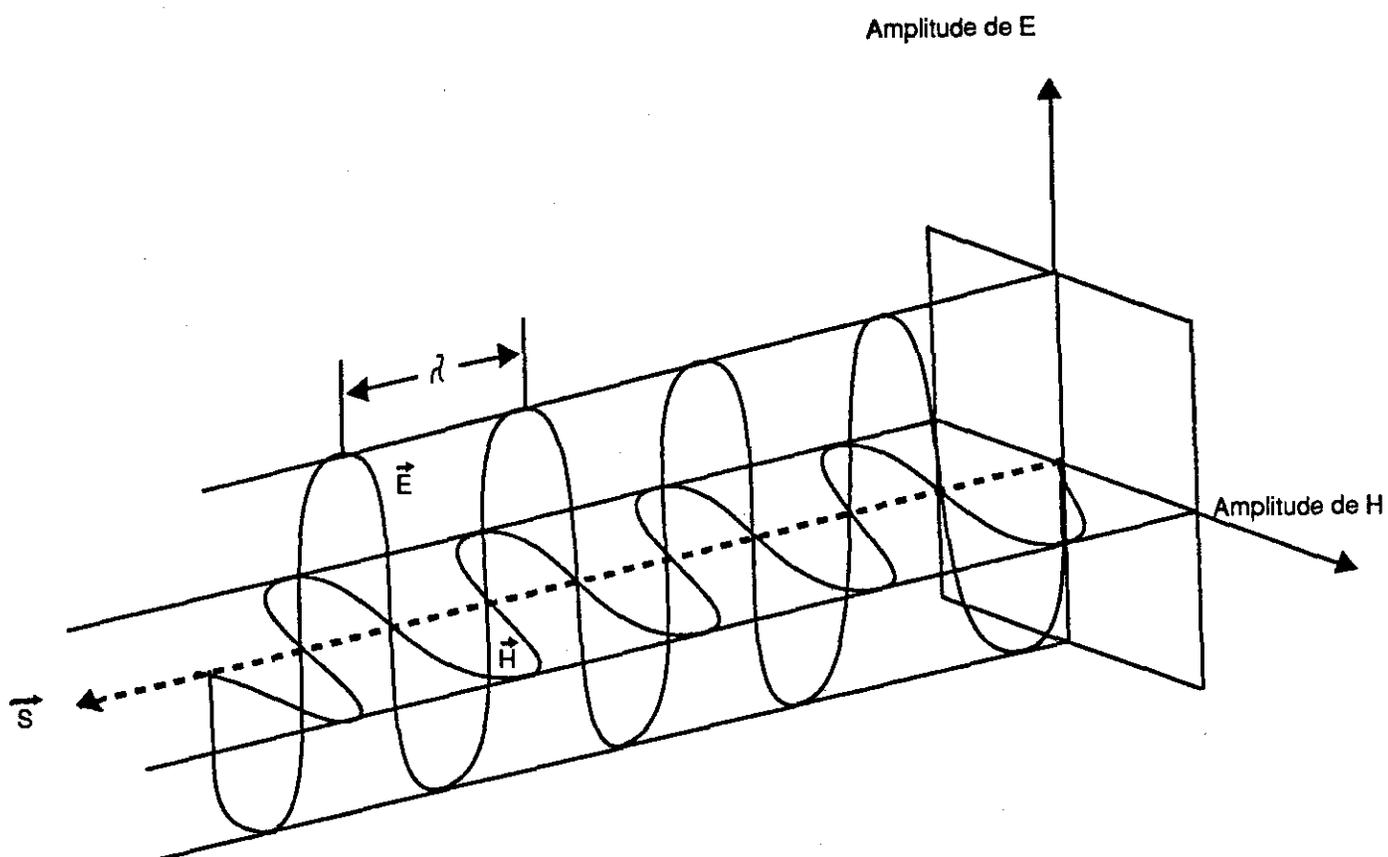


FIGURE 8 : Exposition non-uniforme due à des réflexions.



En champ éloigné E et H sont toujours perpendiculaires entre eux et en phases.

Le vecteur \vec{S} représente la densité de puissance de l'onde ($\vec{E} \times \vec{H}$) et sa direction est celle de la propagation de l'onde.

FIGURE 9 : Représentation des champs de forces en champ éloigné.

2.2 Effets biologiques des radiofréquences

2.2.1 Effets thermiques¹

Les systèmes biologiques constituent des diélectriques dissipatifs caractérisés par une conductibilité limitée. Les pertes proviennent du mouvement des ions libres et de la rotation des molécules. Il y a donc interaction entre un milieu biologique et les ondes électromagnétiques qui s'y propagent, d'où un transfert d'énergie. Il en résulte un affaiblissement du champ et une augmentation de l'énergie cinétique des molécules constituant le milieu, autrement dit un échauffement de ce milieu. L'importance de l'affaiblissement du champ dépend des propriétés diélectriques du milieu qui varient en fonction de la fréquence du champ incident. Selon la théorie de Schwann, parmi les effets mis en évidence dans les systèmes biologiques, le plus important réside dans le dégagement de chaleur, mais des interactions directes sont possibles entre le champ et les membranes, les biopolymères et les liquides organiques.

Le *Taux d'Absorption Spécifique (TAS)* est égal, par définition, au taux d'énergie absorbé par unité de masse de l'objet exposé. Dans le cas de champs sinusoïdaux stationnaires, le TAS est proportionnel à la conductivité (σ) du tissu et au carré du champ électrique (\vec{E}) et inversement proportionnel à la masse spécifique du tissu.

Étant donné que le TAS dépend de l'intensité du champ électrique interne, il peut être utilisé sans préjuger de la nature du mécanisme d'interaction responsable des effets biologiques. Cela tient au fait que c'est l'intensité du champ électrique interne qui décrit quantitativement l'interaction. Néanmoins, d'autres facteurs peuvent aussi intervenir, par exemple la fréquence et la modulation du champ rayonné, qui sont susceptibles d'influer fortement sur les effets biologiques. Il faudra toujours, outre le TAS, prendre en considération la nature du champ rayonné.

Le TAS n'est pas une mesure de température. La température est fonction du TAS, mais elle dépend aussi des propriétés thermiques du tissu absorbant (dimension et forme qui influencent l'irradiation de la chaleur, la conductivité thermique qui communique la chaleur aux tissus voisins et l'irrigation sanguine qui retire la chaleur).

¹ Organisation Mondiale de la Santé. Critère d'hygiène de l'environnement 16 - Fréquences radioélectriques et hyperfréquences. O.M.S. Genève 1981.

Le TAS ne peut être utilisé à lui seul pour extrapoler les effets constatés sur un système biologique à un autre ou pour extrapoler les effets biologiques à une fréquence différente de celle où ils ont été observés.

De nombreux effets biologiques et pathophysiologiques ont été attribués à l'élévation de température tissulaire sous l'effet de l'absorption de l'énergie des micro-ondes (300 MHz à 300 GHz)¹. Des effets thermiques aboutissant à des lésions graves ou à la mort ont été étudiées chez un certain nombre d'animaux d'expérience. L'absorption de l'énergie des micro-ondes se traduit souvent par une hausse de température. Si l'ampleur de cette hausse excède les capacités du système de thermorégulation de l'organisme, qui devient incapable de dissiper la chaleur, il se produit une hyperthermie, génératrice de lésions diverses, de brûlures, hémorragies, nécroses tissulaires suivies de la mort.

L'ampleur des lésions dépend de la sensibilité thermique du tissu en cause. Quand l'exposition du corps est partielle, on constate une résistance aux lésions thermiques plus élevée dans les tissus très vascularisés qui assurent une dissipation plus efficace de la chaleur. Chez un animal soumis expérimentalement aux micro-ondes, la mort dépend non seulement de la quantité d'énergie absorbée, mais également du taux d'absorption, du système de thermorégulation de l'animal, de son état physiologique et de l'environnement.

L'influence des conditions ambiantes sur l'hyperthermie résultant de l'exposition à des micro-ondes agit de la façon suivante:

- a) l'augmentation de la température ambiante et de l'hygrométrie renforce la contrainte thermique,
- b) l'augmentation de la vitesse de l'air affaiblit la contrainte thermique

La répétition de l'exposition entraîne une adaptation physiologique conformément à l'enchaînement classique: contrainte - adaptation - fatigue.

¹ Les expériences ont été effectuées avec des micro-ondes (exposition uniforme avec des ondes planes) qui vont de 300 MHz à 300 GHz mais n'oubliez pas que pour des fréquences beaucoup plus basses, les effets thermiques sont toujours présents, il s'agit tout simplement d'exposition à des champs réactifs qui ne sont plus tellement uniformes. Il devient donc difficile de calculer l'énergie déposée dans les tissus.

Sur le plan physiologique, l'énergie absorbée peut provoquer une stimulation thermique locale ou des effets macroscopiques sur les différents organes selon le niveau d'exposition.

2.2.1.1 Effets de l'exposition de l'oeil

Au sujet des effets de l'exposition de l'oeil aux micro-ondes (300 MHz à 300 GHz), les conclusions suivantes peuvent être tirées :

a) au-dessus de 500 MHz, des opacités peuvent être déterminées au niveau de l'oeil quand la densité de puissance excède 150 mW/cm^2 si la durée d'exposition est suffisamment longue;

b) bien qu'aucune lésion oculaire n'ait été signalée aux fréquences inférieures à 500 MHz, il n'est pas possible d'exclure cette possibilité;

c) les lésions oculaires provoquées par les micro-ondes semblent être principalement d'origine thermique, les deux principaux facteurs de contrainte aboutissant à la lésion étant les gradients de température à l'intérieur de l'oeil et la vitesse d'échauffement;

d) la valeur minimale de la densité de puissance (seuil) nécessaire à chaque durée d'exposition pour déterminer une cataracte n'est pas linéaire. À chaque fréquence, il existe apparemment un seuil (150 mW/cm^2) pour la densité de puissance au-dessous duquel l'exposition, même continue, ne détermine aucune lésion oculaire. Il est donc exclu qu'une cataracte puisse être déterminée par une exposition chronique peu intense.

e) des rayonnements de même densité de puissance moyenne semblent présenter la même capacité de déterminer une cataracte, qu'ils prennent la forme d'impulsions ou d'ondes entretenues. Cependant, des effets ne sont pas à exclure dans le cas d'impulsions à faible rapport d'utilisation et à facteur de crête élevé;

f) la cataracte peut résulter d'une exposition répétée à des densités de puissance inférieures au seuil. Pour qu'un tel effet cumulatif se produise, il faut que les niveaux utilisés soient suffisamment élevés pour qu'une lésion légère mais persistante n'ait pas le temps d'être entièrement réparée avant l'exposition suivante. Par contre, quand les expositions successives sont suffisamment éloignées pour qu'il y ait réparation dans l'intervalle, aucune lésion

cumulative n'est observée.

2.2.1.2 Effets neuroendocriniens

a) Les micro-ondes déterminent des altérations endocriniennes qui sont peut-être dues à la stimulation du système hypothalamo-hypophysaire, par des interactions thermiques au niveau de l'hypothalamus, des niveaux adjacents d'organisation, de l'hypophyse, de la glande endocrine en cause ou de l'organe cible.

b) Étant donné l'homéostasie assurée au niveau de l'appareil neuroendocrinien, des altérations transitoires à ce niveau ne doivent pas être assimilées à des altérations pathologiques.

c) Il existe suffisamment de données abondantes pour conclure que la réaction de l'appareil neuroendocrinien aux micro-ondes dépend de la fréquence de la densité de puissance, de la durée d'exposition et de la partie de l'organisme qui est exposée.

d) L'absence d'uniformité dans la distribution de l'énergie des micro-ondes à l'intérieur de l'organisme semble être un facteur important qui influe sur la réaction du système neuroendocrinien.

e) Plusieurs éléments de l'appareil neuroendocrinien présentent une sensibilité extrême à la température ambiante, de sorte que les effets provoqués par des micro-ondes à faible densité d'énergie peuvent s'expliquer par une sensibilité à de petites variations de température.

f) D'après les données disponibles, il semble qu'une interaction directe entre les micro-ondes et divers éléments de l'appareil neuroendocrinien ne soit pas à exclure.

2.2.1.3 Système nerveux et effets comportementaux

Les études consacrées aux effets des ondes radioélectriques et des micro-ondes sur le système nerveux montrent que l'exposition à de faibles densités de puissance provoque apparemment, dans certains cas, des modifications décelables. Elles semblent démontrer : que lorsque l'intensité est suffisamment élevée (supérieure à 1-5 mW/cm²), un échauffement non uniforme

de divers organes critiques intervient chez divers animaux d'expérience; pourtant, il n'est pas possible actuellement d'exclure la possibilité d'autres mécanismes. En outre, il est difficile d'évaluer l'importance des effets comportementaux provoqués par les micro-ondes car les corrélations quantitatives entre les effets thermiques produits aux faibles densités de puissance et les réactions observées au niveau physiologique ou psychologique ne sont généralement pas connues.

2.2.1.4 Effets sur le système hématologique et les cellules immunocompétentes

La présente section sur les effets des micro-ondes à ce double niveau peut se résumer comme suit :

a) La modification du nombre des globules rouges ou blancs semble dépendre de la dose appliquée. Dans la plupart des études où l'on a fait des observations positives, les effets sont apparemment imputables à la contrainte thermique imposée par l'irradiation.

b) Des expositions répétées à une densité de puissance inférieure ou égale à 5 mW/cm^2 sont apparemment sans effet sur l'ensemble des caractéristiques du sang périphérique. Les effets signalés en cas d'exposition à 15 mW/cm^2 ou plus varient selon le système biologique exposé et sont en général réversibles après l'arrêt de l'exposition.

c) La réaction aux micro-ondes du système hématopoïétique est notablement différente de la réaction de ce système à l'élévation de la température ambiante, même quand ces deux types d'exposition se traduisent par une hausse identique de la température rectale. Cette différence peut être attribuée au manque d'uniformité dans la répartition de l'énergie des micro-ondes à l'intérieur de l'organisme ainsi qu'à la plus grande profondeur atteinte et à l'échauffement plus rapide.

d) Il est démontré qu'une stimulation lymphocytaire et certains effets sur la réaction obtenue interviennent dans certaines conditions expérimentales, spécialement en cas d'exposition à des impulsions de façon répétée ou prolongée à une densité de puissance suffisamment élevée.

2.2.1.5 Effets génétiques et autres au niveau des systèmes cellulaires

Plusieurs conclusions sont possibles :

a) Des aberrations chromosomiques et des altérations de la mitose peuvent être provoquées par les micro-ondes aux densités de puissance élevées où les mécanismes thermiques ont un rôle indéniable. Pourtant, étant donné la multitude des rapports contradictoires à ce sujet, on peut douter que de tels effets interviennent aux densités de puissance plus faibles.

b) Les études aux niveaux cellulaire et infra-cellulaire sont importantes pour la compréhension des mécanismes fondamentaux d'interaction. Les aberrations chromosomiques et les altérations de la mitose constituent a priori des indications précoces d'altérations biologiques et peuvent traduire non pas une atteinte génétique de l'organisme en cause, mais une réaction d'une tissu spécifique.

c) Des études récentes sur la prolifération cellulaire et la capacité de synthèse de l'ADN, indiquent que des densités de puissance suffisantes pour provoquer des lésions thermiques sont indispensables pour que ces effets se manifestent. En témoignent les expériences sur les effets comparés de l'exposition aux micro-ondes et de l'immersion dans un bain-marie. L'exposition des animaux aux fréquences de résonance (par exemple 2450 MHz dans le cas de la souris) devrait normalement provoquer des effets pour de plus faibles densités de puissance puisqu'une proportion plus élevée du rayonnement incident est absorbé et transformé en chaleur.

2.2.1.6 Effet sur la reproduction et le développement

En résumé, l'irradiation par des micro-ondes peut affecter la reproduction et le développement. Ces deux aspects sont particulièrement sensibles aux contraintes thermiques mais il n'est pas possible d'exclure que des effets spécifiques soient imputables à d'autres causes que l'échauffement. Aux densités de puissance qui provoquent des hausses de température, l'exposition aux micro-ondes se traduit chez les animaux d'expérience par des lésions au niveau des testicules, en particulier une altération de la spermatonécrose. Dans une mise au point sur

cette question, Baranski & Czerski¹ ont conclu qu'aucun effet grave n'était à escompter tant que la densité de puissance n'atteint pas 10 mW/cm². Les différences importantes qu'on observe selon que les effets thermiques sont produits par les micro-ondes ou par d'autres méthodes d'échauffement, peuvent être attribuées à des différences dans la distribution spatiale de l'échauffement interne et dans la vitesse d'échauffement. Les effets exercés sur le développement semblent dépendre, de façon critique, de la durée d'exposition aux micro-ondes, ce qui rend difficile la comparaison des données expérimentales.

2.2.2 Effets athermiques

L'absorption de l'énergie des radiofréquences peut également résulter en des effets athermiques sur les cellules ou les tissus. Ces effets sont dus à des champs d'intensité plus faible que ceux qui causent habituellement les effets thermiques. Même s'il existe de nombreux désaccords concernant les résultats des études effectuées à ce jour dans ce domaine, il y a suffisamment d'indices pour nous sensibiliser aux effets potentiels qui sont suspectés. En fait, il y a peu de données sur les effets biologiques des rayonnements r.f. sur les êtres humains. Les résultats d'études expérimentales réalisées avec des animaux et sur des cellules peuvent fournir des renseignements utiles [9].

Des effets ont été rapportés concernant des cellules ou des chromosomes qui ont été exposés, mais ces études ont été fortement critiquées puisque le système utilisé causait un stress thermique aux espèces étudiées [10]. La croissance et le développement des cellules ont été affectés, mais également par des effets thermiques. Il en est de même pour les gonades qui sont particulièrement sensibles aux variations de température [11,12].

Certaines études ont montré des effets sur le fonctionnement des glandes endocrines suite à une exposition aux radiofréquences de différentes intensités. Si physiologiquement certaines réactions sont prévisibles, d'autres effets observés nécessiteront des recherches ultérieures, surtout en ce qui concerne les sécrétions de l'hypophyse, de l'hypothalamus, de la thyroïde et de la médullo-surrénale (adrénaline). Une partie du problème réside dans la difficulté de

¹ Baranski, S. et Czerski, P. Biological Effects of Microwaves. Stroudsburg, Dowden, Hutchinson et Ross, 1976, 234 pp.

dissocier ces effets de ceux induits par le stress et par la réaction thermique qui peut être engendrée [13]. La sévérité de la réaction biologique reste à évaluer [14].

Selon différentes recherches, il semble que l'exposition aux radiofréquences cause initialement une stimulation générale du système immunitaire, mais si l'exposition continue, l'effet de stimulation disparaît. Ceci suggère une phase d'adaptation. Ces perturbations du système immunitaire pourraient n'avoir aucune signification clinique [13].

Des études relatives aux caractères des réflexes conditionnés, à la composition chimique du sang et à l'immunologie n'ont pu démontrer clairement des effets reliés à l'exposition aux radiofréquences [11,12].

CHAPITRE III - Métrologie des champs de radiofréquences

3.1 Aspects généraux

L'évaluation de l'exposition aux radiofréquences autour de machines industrielles chauffantes doit se faire en mesurant la fréquence, l'intensité efficace (rms) des champs électrique et magnétique de même que le courant de corps induit chez les opérateurs et le courant de contact de la main ou d'un doigt avec le châssis de la machine et les autres objets métalliques environnants. Ces valeurs sont alors comparées avec leurs recommandations respectives données aux annexes 4 et 5.

Il est préférable d'évaluer l'exposition des opérateurs en tenant compte de la contribution des champs en provenance des machines avoisinantes.

Les recommandations fournies en annexe 4 sont spécifiées pour des champs non perturbés. Les mesures de champs électriques devront donc être faites sans la présence de l'opérateur (champ libre) puisque tout corps conducteur concentre le champ électrique. Le champ magnétique n'est pas affecté par le corps humain. Le champ électrique à l'intérieur du corps (qui cause le courant de corps induit) revêt plus d'importance que celui à l'extérieur. Il est directement responsable de l'échauffement des tissus. Il est inférieur au champ à l'extérieur du corps car il est fortement atténué par la forme, l'orientation et la nature de nos tissus. L'effet est d'autant plus prononcé que la fréquence est élevée.

Il existe un lien entre le champ à l'extérieur du corps et celui à l'intérieur mais il change en fonction de la morphologie de chaque personne. Parmi l'ensemble des trois principaux champs électriques induits dans le corps selon les trois principaux axes du corps, nous pouvons présentement évaluer le champ vertical à l'intérieur du corps. Les charges qui sont mises en mouvement par ce même champ sont mesurées à la frontière corps-terre. Ce courant peut être mesuré en plaçant sous les pieds des opérateurs ou d'un mannequin normalisé, un dispositif de mesure intégré dans une estrade portative que nous appellerons *estrade galvanométrique*¹.

¹ Un cerceau de ferrite sur lequel sont enroulées de nombreuses spires de fil reliées à un voltmètre peut également être utilisé pour mesurer ce courant. Le cerceau se place autour du corps de l'opérateur ou d'un mannequin normalisé exposé aux radiofréquences.

Notez que ce dispositif ne nous permet pas de mesurer les courants horizontaux ni dans le sens de la largeur ni dans le sens de la profondeur du corps. D'autres dispositifs faisant appel à des électrodes de contact en surface de la peau sont présentement à l'essai pour tenter d'évaluer ces courants horizontaux.

Parmi toutes les structures du corps que traverse le courant vertical, les chevilles sont les plus susceptibles d'éprouver un échauffement car la section de tissus conducteurs à cet endroit est très faible. L'os, considéré comme un mauvais conducteur, occupe presque tout l'espace. La section conductrice d'une cheville est seulement de 9 cm^2 alors que la section totale des tissus conducteurs et non conducteurs de la cheville est de 45 cm^2 [16]. La densité des charges dans les tissus autour de l'os s'accroît donc substantiellement puisqu'elles ne peuvent passer dans l'os, ce qui peut occasionner une élévation de température. Les chercheurs se sont donc basés sur la limite d'énergie thermique que pouvaient supporter les tissus conducteurs des chevilles pour en arriver à une limite de 200 mA de courant vertical induit dans le corps de sorte qu'il n'y ait que 100 mA qui circule à travers chaque cheville [ANSI C95.1-1991]. Les recommandations actuelles (ANSI et IRPA) demandent que ce courant soit moyenné sur 1 seconde seulement mais cette valeur est controversée et il est possible qu'elle soit portée à 6 minutes selon la fréquence du courant.

Pour ce qui est des courants de contact passant par les mains, les poignets sont similaires aux chevilles pour leur faible densité de tissus conducteurs. Le courant devra être limité dans chaque poignet à 100 mA [ANSI C95.1-1991].

L'estraße galvanométrique peut mesurer non seulement le courant de corps induit par la composante verticale du champ électrique mais aussi le courant de contact avec un objet métallique chargé par l'action du champ électrique. Ainsi, on pourra mesurer respectivement le courant induit plus le courant de contact lorsque la main de l'opérateur ou du mannequin de mesure touche à la table de travail et le courant induit lorsque les doigts de l'opérateur ne touchent à rien. Par simple soustraction, le courant de contact pourra en être déduit.



Le champ électrique extérieur n'induit pas de courant important dans les doigts. Le courant dans les doigts provient d'un contact de ceux-ci avec la machine ou d'un autre objet électrisé isolé plus ou moins de terre.

Il est par contre préférable d'effectuer cette dernière mesure en utilisant un galvanomètre de courant de contact car cette mesure n'expose plus personne à subir un courant potentiellement dangereux (peut causer une brûlure à un doigt si le courant dépasse 200 mA).

Par contre, l'utilisation d'un mannequin normalisé avec l'estrade galvanométrique élimine tout risque pour l'hygiéniste ou l'opérateur.



L'estrade galvanométrique introduit une résistance de mesure de faible valeur entre les pieds de l'opérateur et le plancher, modifiant ainsi les conditions initiales du milieu. Une erreur de lecture, fournie par le fabricant de l'estrade, devra être considérée lors de la lecture du courant induit. Cet instrument utilise une diode pour la détection du courant induit. Celle-ci doit opérer dans une zone bien particulière pour évaluer le courant efficace (rms) induit. Dans cette zone, la diode évalue le carré du courant. Lorsque les signaux sont forts, la détection sort de la zone souhaitée de la diode et un microprocesseur doit simuler mathématiquement cette zone. Or, si deux signaux de fréquences différentes et de fortes intensités sont présents en même temps, l'instrument surévaluera la mesure car le carré du signal A plus le carré du signal B n'est plus A^2+B^2 comme il aurait été si les signaux avaient été faibles mais devient égal à $A^2+2AB+B^2$ car c'est le microprocesseur qui effectue le calcul mathématique. $2AB/A^2+B^2$ est la surévaluation¹. Il est donc important de faire la lecture du courant induit lorsque les autres soudeuses n'émettent pas de champs ou qu'elles soient suffisamment loin pour ne pas enregistrer de lecture sur le cadran de l'instrument. Une modulation ou un grand nombre d'harmoniques présentes avec la porteuse surévaluera également la mesure pour les mêmes raisons. Seule une mesure de courant induit limitrophe au seuil prescrit devra faire l'objet d'un contrôle à l'analyseur de spectre pour évaluer cette éventualité. Les courants de couplage qui circulent de l'opérateur vers la machine sont négligés lors de cette mesure. L'erreur introduite par l'utilisation d'un mannequin devra également être considérée.

L'estrade galvanométrique rend la mesure du champ électrique secondaire, du moins jusqu'à sa limite supérieure de 100 MHz. En effet, les mesures sur le terrain démontrent que, dans la majorité des cas, les mesures de courant induit sont décisives par rapport au respect des recommandations par opposition aux mesures d'exposition aux champs électrique ou magnétique

¹ Communication de l'auteur avec Monsieur Robert Johnson, Loral Microwave Narda, N.Y., U.S.A. fabricant d'estrades galvanométriques.

dans le cas d'expositions où les champs électriques dominant (soudeuses et sècheuses entre autres)¹.

Si la recommandation pour le courant induit est satisfaite, vous devez tout de même mesurer les champs électrique et magnétique, de même que les courants de contact, pour vous assurer que les recommandations sont respectées, mais dans la grande majorité des cas (pour des opérateurs non-isolés de terre), vous constaterez que lorsque les courants induits respectent les recommandations, les champs seront en accord avec les recommandations.

En résumé, la mesure du courant induit est d'abord faite car elle ne nuit pas à la production puisque l'opérateur continue son travail en étant debout sur l'estrade. De plus, elle prend très peu de temps à effectuer et ne nécessite aucune connaissance particulière. S'il y a dépassement des recommandations, vous avez suffisamment matière pour recommander des mesures préventives (blindage). Lors d'une seconde visite, si le courant induit est respecté, vous procédez alors à la mesure des champs et du courant de contact. C'est en ce sens que la mesure des champs est secondaire à celle du courant induit.

3.2 Instrumentation

Les instruments de mesure doivent pouvoir mesurer la fréquence du générateur, la durée d'une exposition et d'une non-exposition, les champs électrique et magnétique, évaluer le courant de corps induit et le courant de contact de la main. Les valeurs sont comparées avec les recommandations de Santé et Bien-être social Canada qui se trouvent à l'annexe 4 et les recommandations de courants induit et de contact à l'annexe 5.

Un *fréquence*mètre portatif (Figure 10) sert à mesurer la fréquence du générateur afin de s'assurer que les sondes des champmètres utilisées couvriront les bonnes fréquence à analyser. De plus, comme beaucoup de recommandations font appel à la fréquence des champs et des courants induits pour le calcul des limites d'exposition, il est important de bien l'évaluer.

¹ Communication de l'auteur avec Monsieur Tim Hitchcock, C.I.H., IBM, U.S.A.

Un *chronomètre* actionné de visu par le préposé aux mesures, permet de mesurer les durées d'exposition et de non-exposition.

Un *champmètre électrique* de qualité doit faire la somme vectorielle des trois composantes électriques afin de calculer la résultante du champ alors qu'un *champmètre magnétique* doit pouvoir faire de même avec les composantes magnétiques. Les manufacturiers NARDA, RAHAM, HOLADAY et GENERAL MICROWAVE sont les fabricants les plus connus d'instruments de mesure pour les champs électromagnétiques.

Deux champmètres Holaday sont illustrés à la figure 11. Ces instruments sont composés d'une série de fonctions tel un commutateur de retenue mémorisée de valeur crête, un commutateur de sélection d'échelle, un indicateur de l'état des batteries, un signal lumineux de dépassement, un signal de sortie audio et une sortie pour enregistreur qui peut être très utile pour mesurer la durée des temps de marche et d'arrêt du générateur r.f. Les sondes électriques et magnétiques sont isotropes, c'est-à-dire qu'elles répondent uniformément aux champs en provenance de toutes les directions. La sonde électrique comprend trois dipôles courts orientés selon trois axes orthogonaux afin que l'instrument puisse évaluer le module du vecteur champ électrique qui peut prendre n'importe quelle orientation dans l'espace. Le champmètre électrique effectue l'opération suivante:

$$\left| E_{\text{total}} \right|_{\text{affiché}}^2 = |E_x|_{\text{rms}}^2 + |E_y|_{\text{rms}}^2 + |E_z|_{\text{rms}}^2$$

La sonde magnétique est formée de trois bobines de faibles diamètres orientées également selon les trois axes orthogonaux [17]. Le champmètre magnétique effectue l'opération:

$$\left| H_{\text{total}} \right|_{\text{affiché}}^2 = |H_x|_{\text{rms}}^2 + |H_y|_{\text{rms}}^2 + |H_z|_{\text{rms}}^2$$

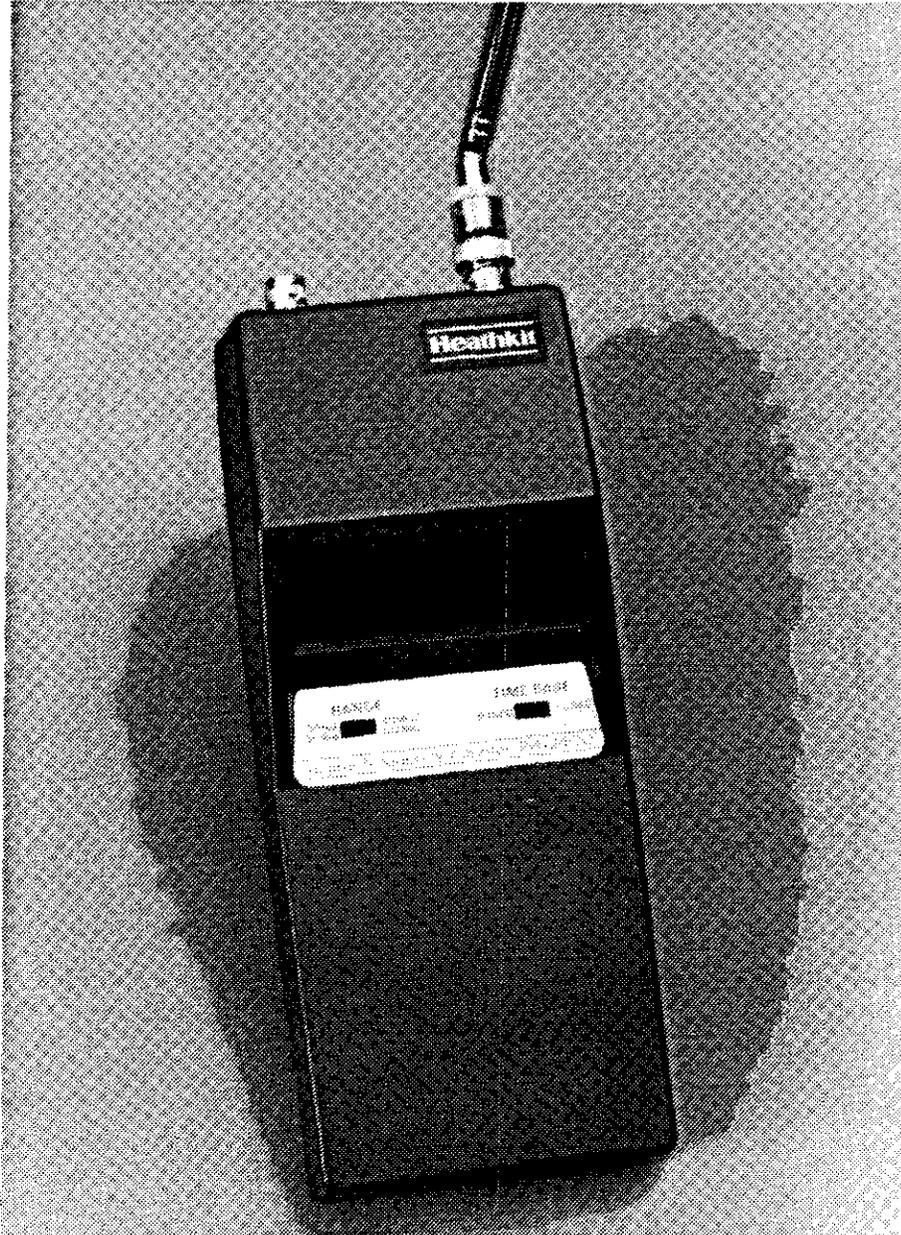


FIGURE 10 : Instrument de mesure pour l'évaluation de la fréquence de l'onde émise.

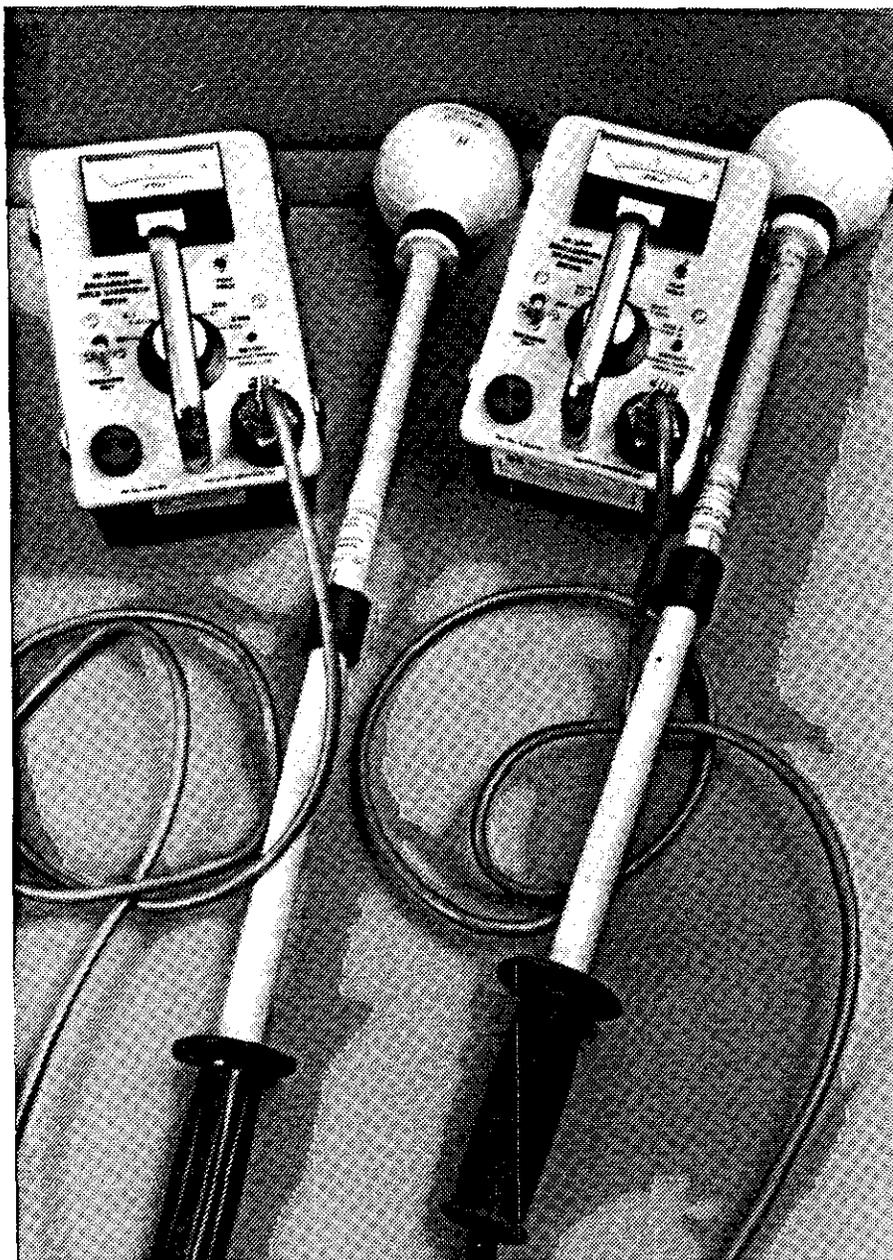


FIGURE 11 : Instruments de mesure pour l'évaluation de l'intensité des champs électriques et magnétiques

Une *estrate galvanométrique* placée sous les pieds de l'opérateur permet de mesurer le courant de corps induit par l'action de la composante verticale du champ électrique issue de la machine et du courant de contact (si l'opérateur touche à un objet chargé) passant par sa main et circulant à travers le corps pour rejoindre la terre (Figure 12).

Un *galvanomètre de contact*, tenu dans la main du préposé aux mesures, pourra déceler les points électrisés sur tout objet métallique avec lequel la main ou un doigt de l'opérateur pourrait entrer en contact et évaluer l'intensité du courant qui y circulerait. Puisqu'aucun courant ne circule dans le corps du préposé aux mesures lors de cette manipulation, un circuit qui simule l'impédance du corps humain entre la main et les pieds, a été incorporé au galvanomètre. Au moment du contact avec un objet métallique électrisé par un champ électrique environnant, le courant prélevé par la sonde est acheminé le long d'une ligne de transmission balancée afin de ne pas être perturbé par le champ environnant. Il entre par la suite dans l'instrument de mesure posé sur le sol où il traverse un circuit équivalent au corps humain, puis le courant est acheminé à la terre via la plaque de mise à la terre. Cette plaque a, à peu près, la même surface que le dessous de deux pieds d'adulte (Figures 13 et 14).



La limite de courant de contact de 100 mA de ANSI, ne protège que pour un contact entre la paume de la main et un objet chargé. Ce courant pourrait provoquer un choc pour un contact avec un seul doigt. Si c'est le cas, utilisez les recommandations de l'IRPA ou celles de Santé et Bien-être social Canada (annexes 4 et 5) qui sont destinées à des courants de contact en un seul point (ex. le bout du doigt).

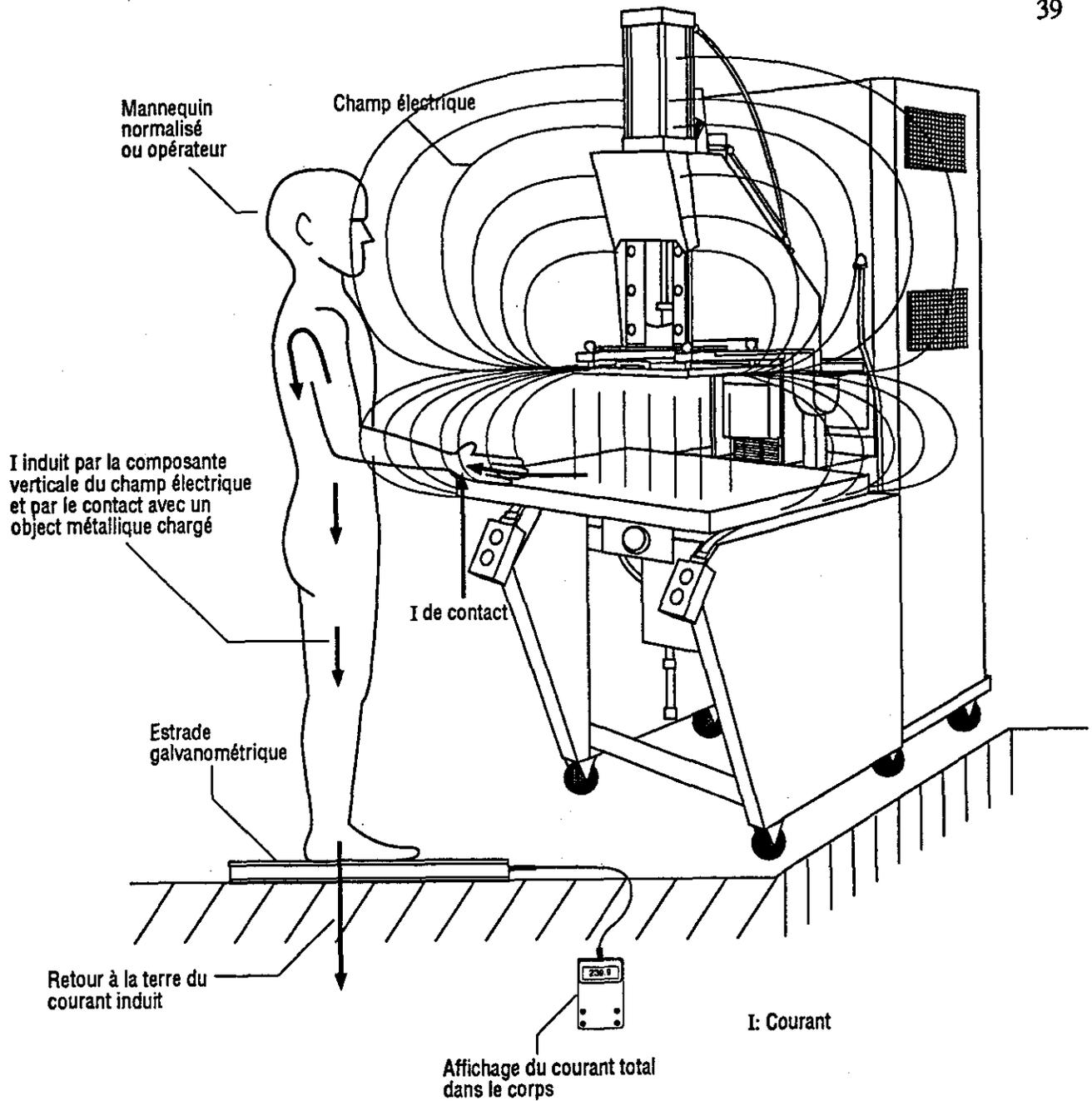


FIGURE 12 : Estrade galvanométrique pour la mesure du courant de corps induit et/ou du courant de contact.

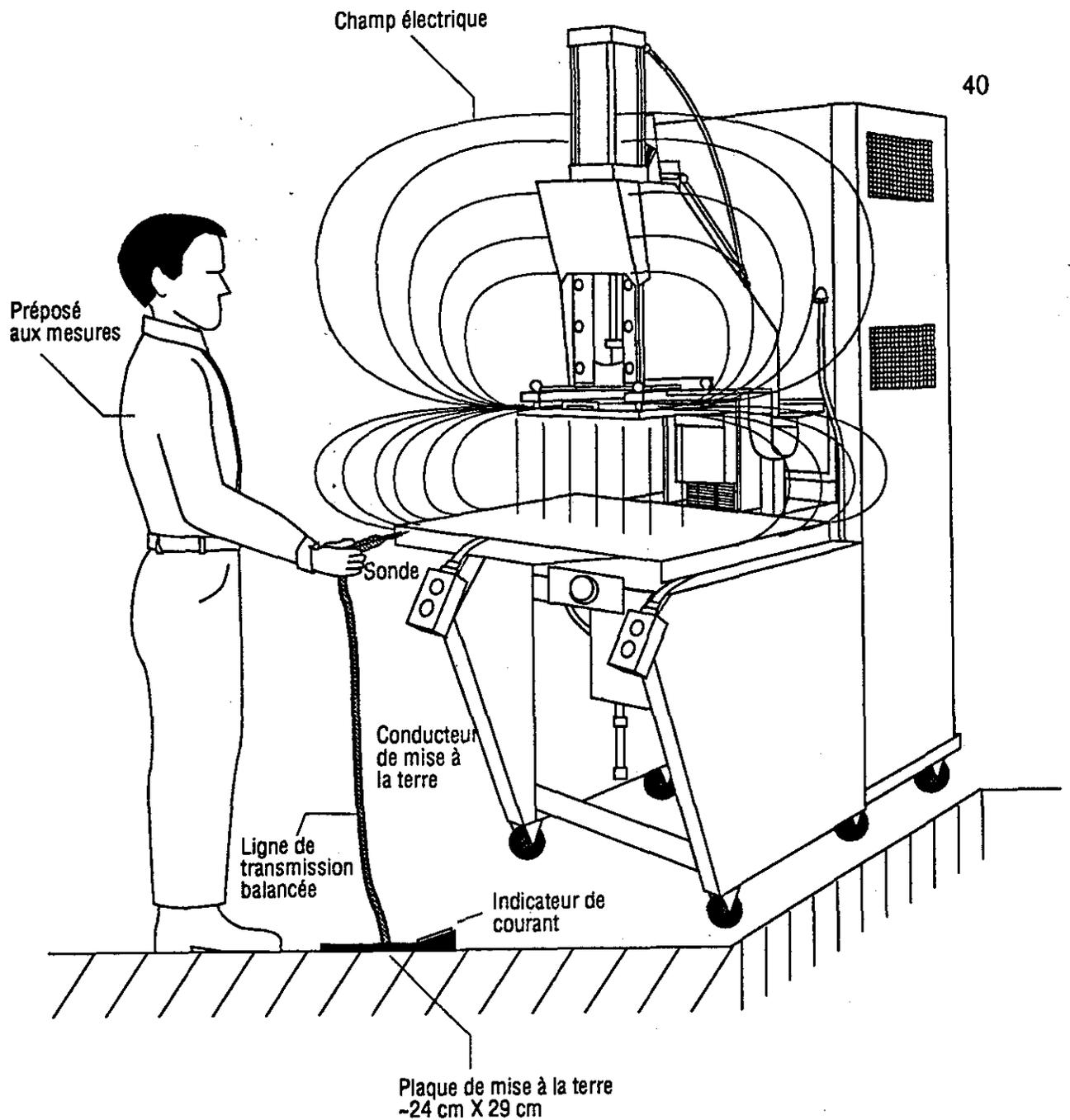
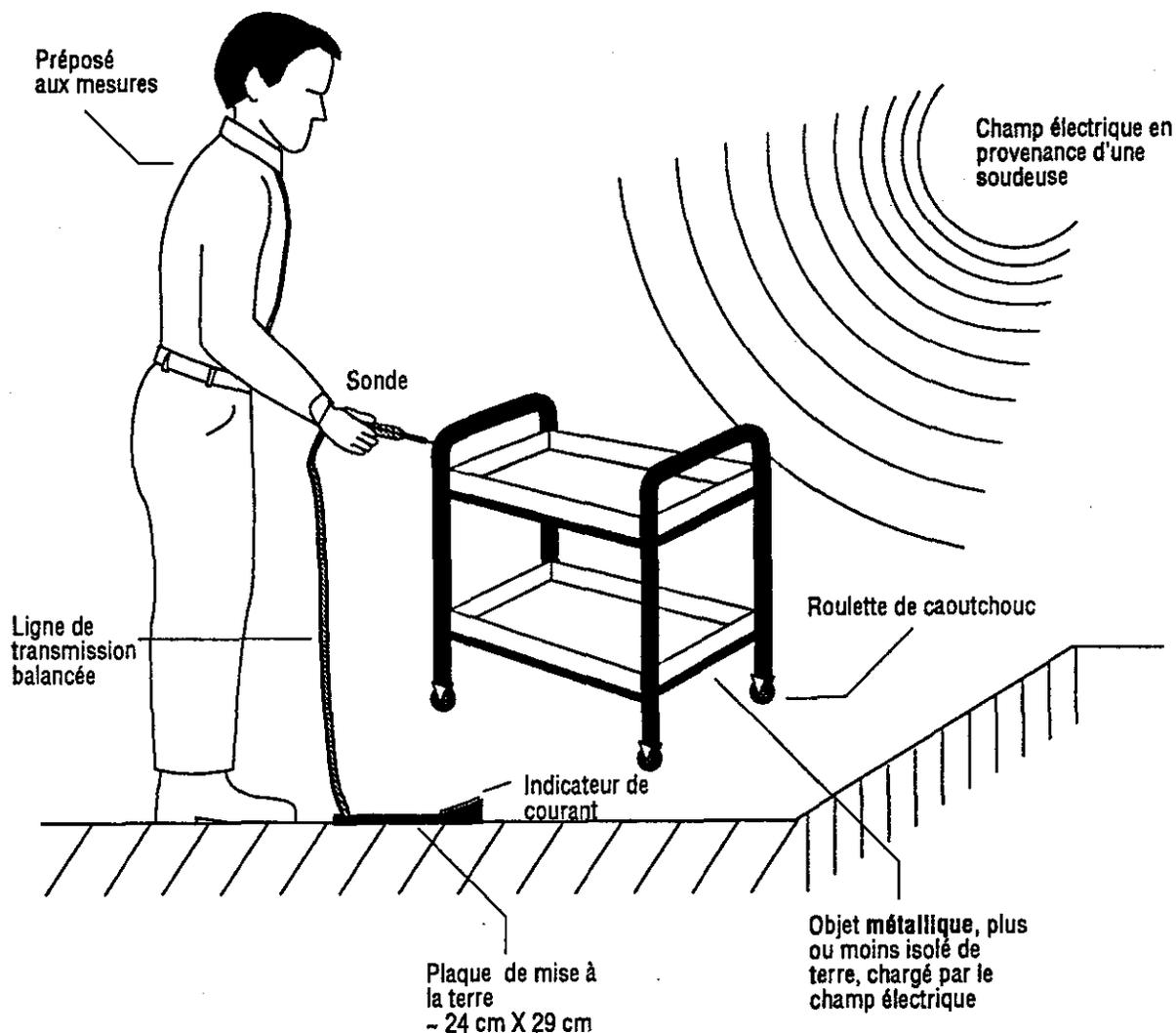


FIGURE 13 : Exemple d'utilisation du galvanomètre de courant de contact avec une soudeuse par perte diélectrique.



Le préposé aux mesures doit s'assurer que les autres objets métalliques environnants isolés de terre ne représentent pas de danger de brûlures pour les travailleurs lorsqu'ils sont baignés dans un champ électrique. L'action du champ magnétique (machine chauffante par induction) est trop faible pour constituer un risque.

FIGURE 14 : Exemple d'utilisation du galvanomètre de courant de contact avec une table mobile.

Un dispositif de détection limité mais très peu coûteux permet d'identifier mais non de quantifier des sources de radiofréquence à champ électrique dominant associées à l'outillage industriel (Figure 15). Ce dispositif est composé d'une ampoule miniature à néon, montée au bout d'une baguette en verre ou plastique qui permet de garder les doigts éloignés de la presse et d'une exposition aux radiofréquences. L'ampoule s'allume lorsqu'elle est soumise à un champ électrique suffisamment intense. Un tube fluorescent est également efficace pour la détection d'un champ électrique intense. Un tout petit tube fluorescent de 6 watts peut également très bien faire l'affaire. Il peut être simplement placé près de la machine soupçonnée d'émettre des r.f.

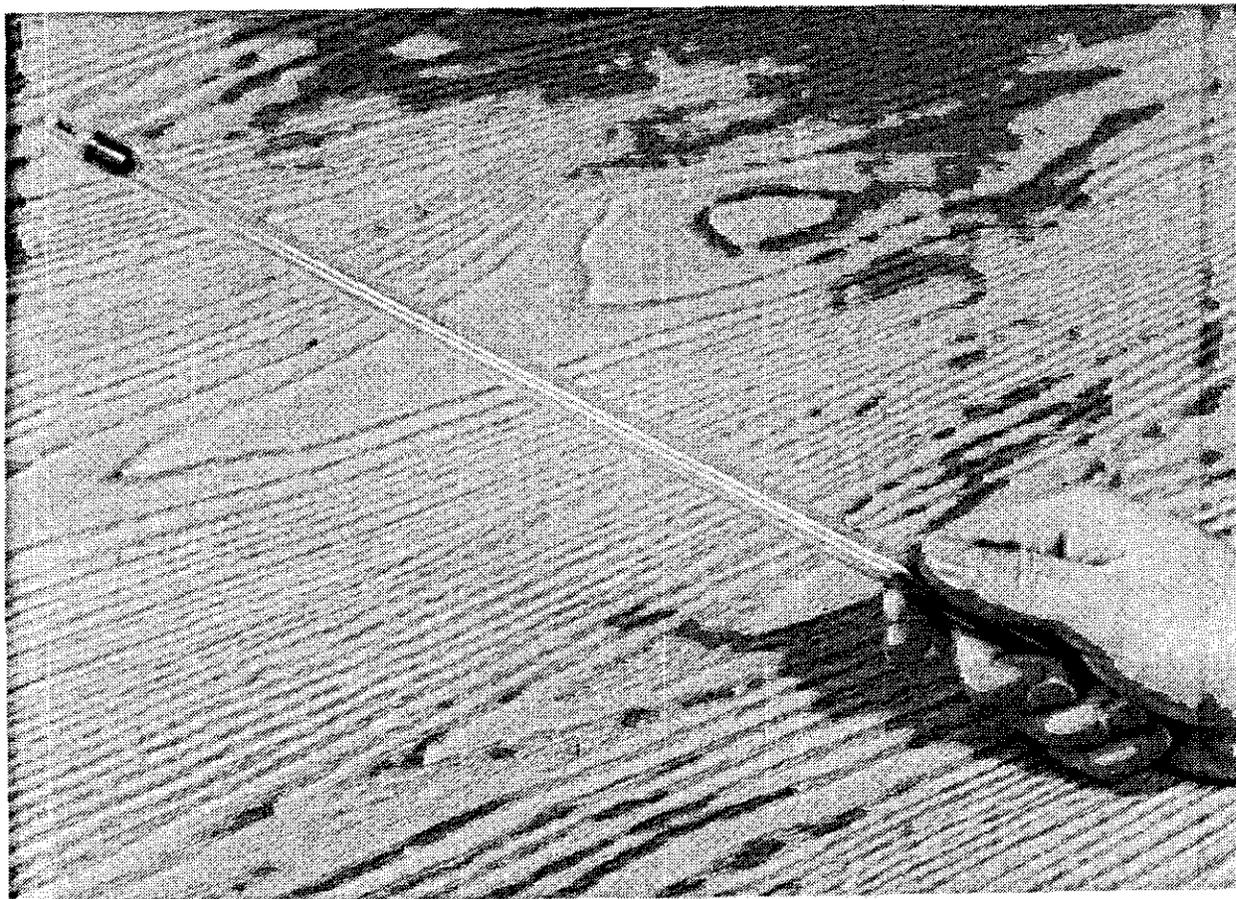


FIGURE 15 : Détecteur "maison" de champ électrique

3.3 Méthode de mesure

En premier lieu, il est indispensable de localiser les sources de radiofréquences, dans le but de préparer un plan d'action qui tiendra compte du nombre de machines en opération, de leur puissance nominale, du nombre d'opérateurs exposés et de la disposition spatiale des machines. Les informations spécifiques suivantes sont généralement nécessaires dans la rédaction du rapport d'intervention : le nom du fabricant de la machine (l'annexe 2 donne une liste partielle des fabricants), le numéro de modèle, le numéro de série, l'année de fabrication, le voltage d'alimentation, la puissance de sortie maximale, la puissance de sortie lors de l'intervention, indiquée soit au cadran manuel de réglage (0 à 100%), soit au galvanomètre indicateur de puissance de sortie en watts ou de courant de plaque (I_p) en ampères, la position du bouton (optionnel) "Hi" "Low" de réglage de puissance de sortie, la fréquence nominale (indiquée sur la plaque signalétique) et la fréquence mesurée, le type de soudeuse ou sècheuse, la présence ou non de blindage et la distance inter-électrodes indiquée au cadran si elle est variable.



Un exemple détaillé de calculs d'exposition se trouve à l'annexe 6.

La séquence des opérations de mesure s'effectue comme suit:

- 1) la fréquence du générateur est mesurée et notée pour fin du calcul du niveau maximum du courant induit, du niveau maximum du courant de contact, du niveau maximum d'exposition recommandé et de la durée d'exposition permise; il suffit de placer l'instrument tout près de la machine sans allonger l'antenne (le champ r.f. est très fort) et de noter la fréquence lorsque la machine sera en marche. Un voyant lumineux ou un galvanomètre indique généralement la mise en circuit du générateur r.f. Certaines soudeuses ont une période de préchauffage du matériau à traiter, à puissance réduite, avant la mise en marche du générateur r.f. à pleine puissance;
- 2) le courant de corps induit des opérateurs mesuré avec *l'estrade galvanométrique*, lorsque la machine émet des r.f., doit être inférieur à la recommandation de 200 mA à 27 MHz (annexe 5). Si la valeur dépasse la recommandation, consultez le chapitre 4 qui traite des correctifs. Isoler l'opérateur d'une mise à la terre qui se fait par contact direct avec le sol ou par couplage capacitif avec la machine, peut également aider à réduire le courant induit.



Si le courant induit dépasse la recommandation, il n'est pas nécessaire à ce point de faire d'autres mesures, car déjà, l'hygiéniste ou l'inspecteur est en mesure de recommander/exiger des mesures correctives (chapitre 4). Lors d'une seconde visite de vérification, la mesure du courant de contact avec les objets environnants pourra être faite car le blindage de la machine diminuera la tension induite sur les objets avoisinants et de ce fait, le courant pouvant circuler dans le corps d'une personne qui y touche. Si la recommandation pour le courant induit est satisfaite, vous devez tout de même mesurer les champs électrique et magnétique pour vous assurer que les recommandations sont respectées, mais dans la grande majorité des cas (pour des opérateurs non-isolés de terre, c'est généralement le cas), vous constaterez que lorsque le courant induit respecte la recommandation, les champs seront en accord avec les recommandations.

- 3) lorsque la machine émet des r.f., le courant de contact avec le bâti de la machine ou des objets métalliques entourant l'opérateur est mesuré en utilisant le galvanomètre de courant de contact et comparé aux recommandations des annexes 4 et 5. Si la valeur dépasse la recommandation, effectuez d'abord le blindage de la machine. Si ce n'est pas suffisant, faites la mise à la terre (r.f.) de la machine et des objets ou remplacez ces derniers par des objets en matière isolante;
- 4) le Facteur de Correction de la sonde (FC_{sonde}), correspondant à la fréquence mesurée et inscrit sur la poignée de chaque sonde, est noté. La valeur affichée par l'instrument en V^2_{rms} / m^2 ou en A^2_{rms} / m^2 devra être multipliée par le FC_{sonde} pour obtenir une valeur juste. Ce facteur est nécessaire afin de corriger la réponse du champmètre qui n'est pas parfaitement uniforme en fonction de la fréquence;
- 5) à l'aide d'un chronomètre, les durées d'exposition et de non-exposition sont évaluées un nombre suffisamment de fois afin de s'assurer de la représentativité des résultats par rapport à la journée de travail de l'opérateur.

Durée d'exposition (D_{exp}): Durée durant laquelle un champ électromagnétique émis par la machine atteint l'opérateur;



La durée d'exposition est souvent fixée par une minuterie dont la valeur en secondes est indiquée à son cadran. Un voyant lumineux ou la déflexion d'une aiguille à un cadran indiquera le début et la fin de l'émission r.f.

Durée de non-exposition ($D_{\text{non-exp}}$): Durée durant laquelle aucun champ n'est émis par la machine ou aucun champ n'atteint l'opérateur dû à sa distance de la source;



L'utilisation d'un enregistreur à papier ou d'un accumulateur de données relié au champmètre électrique ou magnétique vous permettra d'établir un profil d'exposition plus précis. Les instruments devront être enfermés dans une cage de Faraday ¹ afin qu'ils ne répondent qu'à la sortie du champmètre et non au champ environnant.

- 6) les mesures du champ électrique sont prises avec la sonde à bout de bras de façon à interférer le moins possible avec le champ électrique car tout objet conducteur (dont le corps humain) concentre les lignes de force du champ électrique. Les mesures doivent donc toujours être prises sans la présence de l'opérateur, c'est-à-dire en champ libre. (L'avantage de l'estrade galvanométrique est de ne pas interférer avec la production en retirant l'opérateur pour prendre des mesures. Vous avez tout à gagner en commençant par cette mesure.) Un balayage effectué rapidement à la position de l'opérateur identifie le point de mesure le plus élevé. Par la suite, les mesures sont effectuées en déplaçant la sonde vis-à-vis un cadre de mesure d'une surface équivalente à celle du corps humain. Il est fait de matière isolante (figure 16). Le cadre est centré horizontalement sur la valeur la plus élevée sans toutefois, trop l'éloigner de la position habituelle de l'opérateur. Une lecture est prise pour chacun des neuf points de mesure ou plus. La sonde ne doit pas être rapprochée à plus de 20 cm [ANSI C95.1 - 1991] de la machine, d'une personne ou d'un objet métallique, ce qui pourrait perturber les mesures;

¹

Pour les soudeuses ou sècheuses à perte diélectrique (champ électrique dominant), elle consiste en une boîte à doubles parois de cuivre isolées l'une de l'autre et reliées à une mise à la terre par un seul point de contact. Pour les soudeuses ou braiseuses à induction (champ magnétique dominant), elle consiste en une boîte à doubles parois de fer doux ou de mumétal (plus dispendieux et plus fragile mais plus efficace) isolées l'une de l'autre et reliées à une mise à la terre par un seul point de contact. L'efficacité du blindage avec des matériaux magnétiques chute rapidement avec la fréquence pour des fréquences plus élevées que 10 kHz, ils sont quand même utilisables jusqu'à 400 kHz selon le matériau [6]. Il est préférable d'utiliser des matériaux à haute conductivité lorsque la fréquence dépasse les 100 kHz (voir la section 4.1).

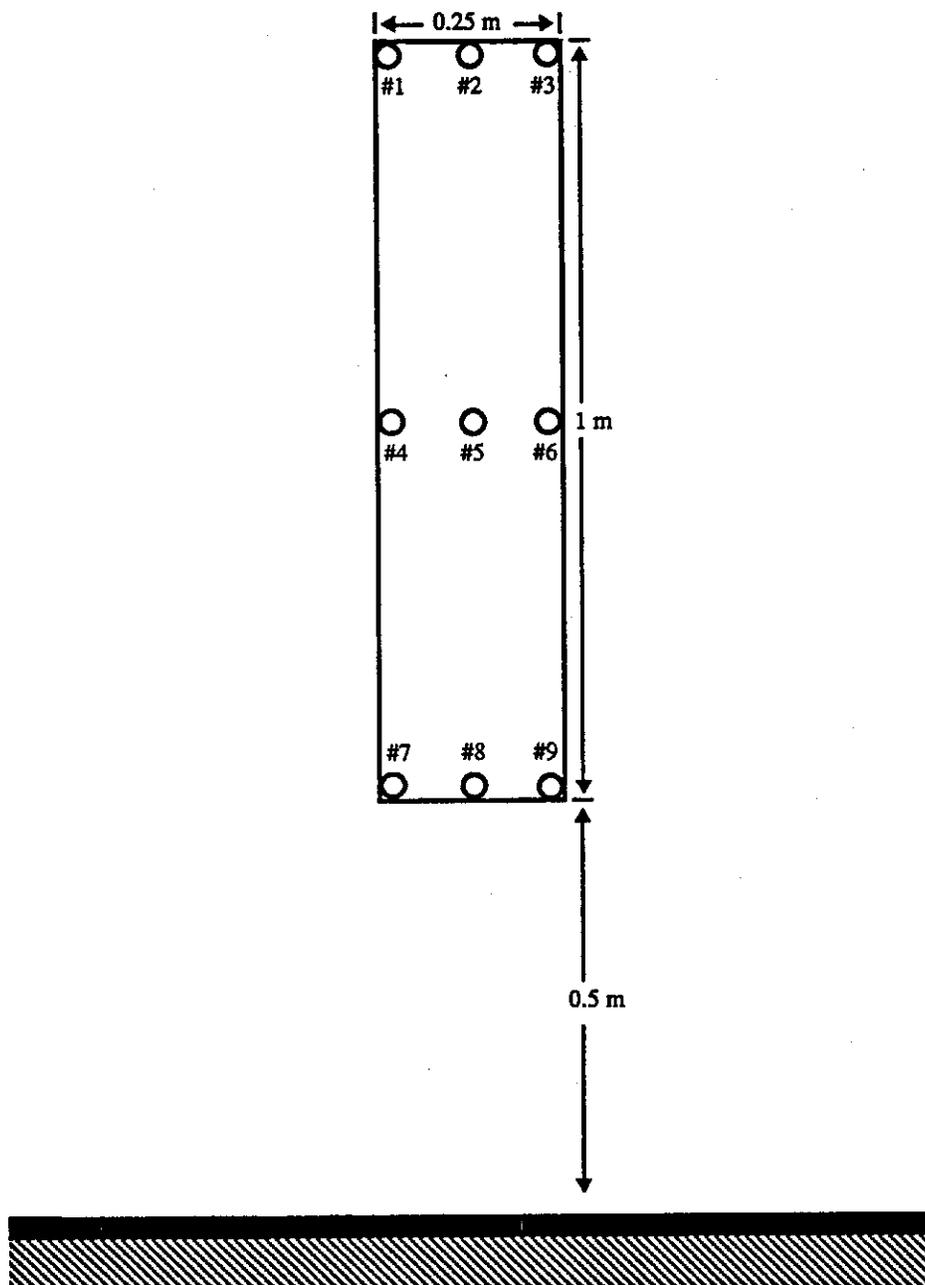


FIGURE 16 : Cadre de mesure d'une surface fonctionnellement équivalente à celle du corps humain utilisé pour la mesure du champ électrique

- N.B. 1) Si les mesures ne peuvent être prises en champ libre (contraintes de production etc.) elles peuvent être prises devant l'opérateur, à la condition d'en tenir compte lors de l'interprétation.
- 2) Si seul un wattmètre est disponible pour prendre les mesures, l'évaluation du champ électrique en champ proche ou éloigné est possible selon la méthode donnée à l'annexe 7. La mesure du champ magnétique en champ proche est impossible avec cet instrument.



Ne confondez pas champ proche et champ libre. En hygiène industrielle, toutes les mesures sont faites à 99% en champ proche, c'est-à-dire très près de la source. Toutes les mesures d'exposition à des champs doivent être faites en champ libre, c'est-à-dire, sans la présence d'une personne dans le champ qui doit être évalué.

- 7) les mesures du champ magnétique ne sont pas perturbées par le corps humain. Les corps composés de fer, nickel, cobalt, ferrite et leurs alliages peuvent affecter les lignes de force magnétique. Les mesures de champs magnétiques peuvent être prises devant l'opérateur ou à l'aide d'un cadre de mesure. Un balayage effectué rapidement à la position de l'opérateur identifie le point de mesure le plus élevé. Par la suite, les mesures sont effectuées en déplaçant la sonde vis-à-vis le cadre de mesure. Le cadre est centré horizontalement sur la valeur la plus élevée sans toutefois, trop l'éloigner de la position habituelle de l'opérateur. Une lecture est prise pour chacun des neuf points de mesure ou plus. La sonde ne doit pas être rapprochée à plus de 20 cm de la machine, d'une personne ou d'un objet métallique, ce qui pourrait perturber les mesures;
- 8) la moyenne des 9 valeurs ou plus de champs électrique et magnétique est calculée:

$$E_{\text{corrigé pour } FC_{\text{moteur}} \text{ et la moyenne spatiale}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n E_i^2 |_{\text{corrigé } FC_{\text{moteur}}}}{n}$$

$$H_{\text{corrigé pour } FC_{\text{moteur}} \text{ et la moyenne spatiale}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n H_i^2 |_{\text{corrigé } FC_{\text{moteur}}}}{n}$$

où n: nombre de points de mesures (minimum de 9) [18].

E : l'intensité rms du champ électrique.

H : l'intensité rms du champ magnétique.

9) ces valeurs corrigées, pour le facteur de sonde et pour la moyenne spatiale d'exposition, (en V_{rms}^2 / m^2 et en A_{rms}^2 / m^2)¹ d'une durée inférieure à 6 minutes doivent également être corrigées en valeurs équivalentes d'exposition continue sur une période de 6 minutes. En effet, les recommandations de l'annexe 4 (dont les valeurs devront être portées au carré) sont basées sur des expositions continues d'au moins 6 minutes en champ éloigné (c.-à-d. avec des ondes planes) qui donnent une exposition uniforme, sans qu'il n'y ait d'augmentation significative de température dans le corps humain. La durée de 6 minutes est liée au temps de stabilisation thermique des organes les plus sensibles du corps humain.



Dans beaucoup de cas, lorsqu'il s'agit d'une machine qui opère par perte diélectrique, le champ électrique dépasse de beaucoup l'intensité du champ magnétique. Quant aux machines qui opèrent par induction (soudages de métaux), c'est le champ magnétique qui est dominant. Il est à noter que dans la grande majorité des cas, le champ dominant excédera la recommandation alors que le champ complémentaire sera en accord avec la recommandation.

La formule pour transformer une ou des valeurs d'exposition aux champs électrique ou magnétique en champ proche d'une durée inférieure à 6 minutes en valeur équivalente à une exposition continue d'une durée de 6 minutes est la suivante:

Formule générale :

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n D_{i \text{ exp}} \times B_i}{t}$$

où C : Valeur d'exposition corrigée pour le facteur de la sonde, la moyenne spatiale et pour une exposition équivalente de 6 minutes exprimé en V_{rms}^2 / m^2 ou en A_{rms}^2 / m^2 .

$D_{i \text{ exp}}$: Durée d'exposition à la période d'observation i.

¹ Les champmètres donnent des valeurs en V_{rms}^2 / m^2 et A_{rms}^2 / m^2 .

B_i : Valeur d'exposition à la période d'observation i corrigée pour le facteur de la sonde et la moyenne spatiale exprimé en V_{rms}^2 / m^2 ou en A_{rms}^2 / m^2 .

t : 360 secondes

n : nombre de périodes d'exposition sur une période d'observation de 6 minutes de sorte que cette équation soit satisfaite:

$$\sum_{i=1}^n (D_{i \text{ exp}}) + \sum_{i=1}^n (D_{i \text{ non-exp}}) = 360 \text{ secondes}$$

Pour le cas d'un signal continu (sècheuse), $D_{\text{non-exp}} = 0$ et C est alors égal à B .

Pour le cas particulier des soudeuses :

$$C = FSM \times B$$



Consultez l'exemple de calculs qui se trouve à l'annexe 6.

L'annexe 8 illustre le détail des calculs pour en arriver à cette formule.

où : C : Valeur d'exposition corrigée pour le facteur de la sonde, la moyenne spatiale et pour une exposition équivalente de 6 minutes exprimé en V_{rms}^2 / m^2 ou en A_{rms}^2 / m^2 .

FSM : Facteur de Service Moyen de la machine

B : Valeur d'exposition corrigée pour le facteur de la sonde et la moyenne spatiale exprimé en V_{rms}^2 / m^2 ou en A_{rms}^2 / m^2 .

Le Facteur de Service Moyen se calcule à partir du Facteur de Service de la machine comme suit :

$$FSM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (FS_i)$$

or

$$FS = \left[\frac{D_{\text{exp}}}{D_{\text{exp}} + D_{\text{non-exp}}} \right]$$

donc

$$FSM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{D_{i \text{ exp}}}{D_{i \text{ exp}} + D_{i \text{ non-exp}}} \right)$$

où : $D_{i \text{ exp}}$ est la durée d'exposition à l'observation i .

$D_{i \text{ non-exp}}$ est la durée de non-exposition à l'observation i .

n est un nombre suffisamment grand pour que le FSM soit représentatif du fonctionnement de la machine pendant une période de 6 minutes. Cette période de 6 minutes doit aussi être représentative de la cadence de production de l'opérateur durant sa journée de travail.



Le FS et la puissance de sortie d'une machine change selon le type de matériau utilisé, son épaisseur et les dimensions du produit à fabriquer. En effet, l'énergie thermique développée dans le matériau est proportionnelle au produit de la puissance du champ émis et de la durée d'exposition. Il n'est pas rare que le manufacturier fabrique sur une même machine plusieurs produits différents au cours d'une même semaine, surtout lorsqu'il s'agit de petites entreprises qui fabriquent une panoplie de produits selon la demande de leurs clients. Il est préférable de choisir une production qui tende le plus près de 1 pour son FS et qui opère à puissance maximale afin d'évaluer l'exposition maximale.

Une valeur typique de temps d'exposition pour une soudeuse est de 2 sec. et un temps d'arrêt de 8 sec., ce qui donne un FS de 0,2.



Pour des soudeuses par perte diélectrique opérant à 27,12 MHz, la recommandation (sous-entendu pour une exposition uniforme sur tout le corps et pour un temps d'exposition continu de 6 minutes) pour le champ électrique est de $3\,600 \text{ V}_{\text{rms}}^2 / \text{m}^2$ ($60 \text{ V}_{\text{rms}} / \text{m}$) et de $0,032 \text{ A}_{\text{rms}}^2 / \text{m}^2$ ($0,18 \text{ A}_{\text{rms}} / \text{m}$) pour le champ magnétique selon l'annexe 4.

- 10) si ces valeurs d'exposition corrigées sont inférieures aux recommandations, la durée d'exposition n'a aucune limite¹ car ces expositions ne pourraient jamais élever la température du corps de plus de 1°C. Les effets à long terme de faibles expositions demeurent mal connus.

¹ À la condition de respecter le courant de corps induit, soit 200 mA à 27 MHz (voir l'annexe 5).

- 11) dans le cas contraire, il est recommandé de diminuer la valeur d'exposition ou diminuer la durée d'exposition de l'opérateur ou augmenter son temps de non-exposition en ralentissant la cadence de production. Or la durée d'exposition permise en secondes cumulée sur toute période de 6 minutes prise dans un quart de travail (8 heures ou plus) se calcule comme suit:

$$D^* = \frac{R \times t}{B}$$

* La durée n'est valable que dans le cas d'une exposition qui se répète avec le même niveau d'intensité.

où: D: durée d'exposition permise en champ proche lorsque le niveau d'exposition est constant. Elle est exprimée en secondes.

R: valeur de la recommandation exprimée en V_{rms}^2 / m^2 ou en A_{rms}^2 / m^2 .

t : 360 secondes

B : Valeur d'exposition corrigée pour le facteur de la sonde et la moyenne spatiale exprimé en V_{rms}^2 / m^2 ou en A_{rms}^2 / m^2 .

- 12) la plus petite durée d'exposition permise obtenue sera retenue comme durée d'exposition maximale pour l'opérateur que ce soit pour le champ électrique ou pour le champ magnétique;
- 13) la durée d'exposition réelle (par opposition à permise) de l'opérateur durant une période de 6 minutes ($P_{6\text{ min}}$) s'obtient comme suit:

$$D_{\text{exp réelle } P_{6\text{ min}}} = 360 \text{ secondes} \times FSM$$

L'annexe 9 contient le détail des calculs pour en arriver à cette formule.

La durée d'exposition réelle de l'opérateur durant une période de 6 minutes doit être inférieure au temps d'exposition permis sur 6 minutes.

Il existe ainsi deux façons différentes de s'assurer que les niveaux d'exposition soient respectés :

- 1) comparer la *valeur d'exposition corrigée pour FC_{sonde} , pour la $Moy_{spatiale}$ et pour une exposition équivalente d'une durée de 6_{min}* avec la *valeur d'exposition recommandée*
- 2) comparer la *durée d'exposition réelle* avec la *durée d'exposition permise*.

Les valeurs d'exposition corrigées et recommandées sont les plus couramment utilisées pour présenter les tableaux des résultats et les durées d'exposition actuelles et permises pourront être calculées facultativement pour faire des recommandations sur les actions de prévention.



L'application des recommandations, fournies par les différents organismes, peut être facilitée, en invoquant l'article 51 de la loi sur la santé et la sécurité du travail du Québec (révisée en 1991) que vous trouverez à l'annexe 10.

CHAPITRE IV - Mesures de contrôle

Dans l'état actuel de nos connaissances, quatre solutions s'offrent à l'utilisateur pour rencontrer les recommandations. Elles s'appliquent aussi bien aux valeurs d'exposition corrigées qu'aux durées d'exposition permises. Nous avons choisi de considérer la durée d'exposition pour simplifier la discussion.

- a) Éloigner les opérateurs de l'électrode active en éloignant les contrôles de la machine par l'entremise de contrôles pneumatiques (poire et tuyau de caoutchouc). Tout lien direct ou capacitif entre l'opérateur et la machine doit être réduit au maximum. L'éloignement de l'opérateur diminue l'intensité de l'exposition et l'utilisation de contrôles pneumatiques empêche que l'opérateur ne subisse des courants de contact (ou capacitifs) avec un objet métallique.
- b) Automatiser partiellement le procédé de telle sorte que l'opérateur soit éloigné de la machine diminuant ainsi sa valeur maximum d'exposition. Les soudeuses dites à navettes fonctionnent de cette façon. La navette véhicule les matériaux à souder sous la matrice, les opérateurs étant placés de chaque côté et à une distance d'environ 1 mètre de l'électrode active.
- c) Diminuer le temps d'exposition des opérateurs par une diminution de la vitesse de production ou par des mouvements de personnel.
- d) Blinder la machine de telle sorte que la valeur maximum d'exposition diminue. Règle générale, les circonstances nous obligeront à choisir cette voie. L'efficacité du blindage devra au minimum être telle qu'elle permettra d'abaisser les champs à la valeur calculée à l'aide de l'équation ci-dessous en plus de satisfaire la valeur recommandée pour le courant de corps induit.

$$K = \frac{R \times t}{D}$$

où K: valeur affichée au champmètre en V_{rms}^2 / m^2 ou en A_{rms}^2 / m^2

R: valeur de la recommandation exprimée en V_{rms}^2 / m^2 ou en A_{rms}^2 / m^2 .

t : 360 secondes

D: durée d'exposition permise lorsque le niveau d'exposition est constant exprimée en secondes.

4.1 Blindage - aspects généraux

Le blindage consiste à disposer un matériau ou un groupe de matériaux de façon à ce qu'il réduise l'énergie de l'onde transmise dans une région donnée par rapport à l'énergie de l'onde incidente qu'il reçoit. Il s'agit de considérer l'électrode active de la machine chauffante comme un arrosoir et de disposer le blindage de telle sorte que les opérateurs ne soient pas "mouillés".

L'efficacité du blindage (EB) est une mesure de la capacité d'un matériau à limiter le passage de l'énergie électromagnétique irradiée.

L'efficacité du blindage (EB) est définie par la relation suivante:

$$EB(db) = 20 \log_{10} \frac{E_a}{E_b} \text{ pour le champ électrique}$$

$$EB(db) = 20 \log_{10} \frac{H_a}{H_b} \text{ pour le champ magnétique}$$

E_a et H_a sont les intensités des champs avant blindage

E_b et H_b sont les intensités des champs après blindage

Le *décibel* exprime le degré d'atténuation obtenu pour un blindage donné. Le décibel (dans le cas du blindage) exprime une relation mathématique non linéaire indiquant de combien l'intensité d'un signal électrique interférant est réduit en amplitude en traversant un blindage.

0 dB (aucun blindage) le signal n'est pas atténué;

20 dB le signal est réduit de 10 fois

40 dB le signal est réduit de 100 fois
etc.

BLINDAGE DU CHAMP ÉLECTRIQUE

L'usage de matériaux préférablement non-perforés et de très bonne conductivité est nécessaire pour blinder contre le champ électrique afin d'obtenir une grande efficacité et d'éviter un échauffement du blindage qui pourrait causer des brûlures aux opérateurs.

Du grillage de cuivre préférablement soudé aux interstices peut aussi faire l'affaire si l'on doit avoir une enceinte de blindage transparente [19]. Le blindage doit être relié au châssis de la machine. Le blindage ne doit pas toucher à l'électrode active et peut être tenu à l'écart par des isolants r.f. La distance entre l'électrode active et le blindage devrait être plus grande que la distance entre l'électrode active et l'électrode de retour (table de travail) lorsque la presse est abaissée, sinon il y aura une trop grande perte d'énergie du champ électrique vers le blindage plutôt qu'à travers le matériau à souder.

Le blindage entraînera une perte d'efficacité lorsqu'il sera en place à cause du couplage entre l'électrode active et le blindage. Ce couplage aura pour effet de drainer une partie du champ électrique qui doit servir à fusionner les matériaux, vers la mise à la terre r.f. Quoiqu'il en soit, cette perte pourra être compensée en augmentant la puissance du générateur.

L'atténuation théorique pour du feuillard de cuivre (de conductibilité relative de 1 et de perméabilité relative de 1) de 2,54 nm (0,0001 mil) d'épaisseur placé à 10 cm de l'électrode active est de 52 dB (atténué 398 fois) à 27 MHz [6].

BLINDAGE DU CHAMP MAGNÉTIQUE

À des fréquences inférieures à 100 kHz, il est plus avantageux d'utiliser des matériaux magnétiques (perméabilité relative plus grande que 1) car à ces fréquences l'atténuation dépend plus de l'absorption que de la réflexion. Aux fréquences supérieures à 100 kHz, les matériaux à très haute conductibilité (argent, cuivre, aluminium) représentent un net avantage sur les matériaux magnétiques¹ car l'atténuation dépend plus de la réflexion que de l'absorption [6].

Si le champ magnétique est très fort et la fréquence du champ relativement élevée (environ 10 kHz ou plus), il est alors préférable d'utiliser des matériaux non-magnétiques pour effectuer le blindage car l'intensité du champ à ces fréquences a de bonne chance de saturer le matériau magnétique et lui faire perdre ces avantages de perte par absorption que lui confère sa perméabilité élevée.

Les parois non-perforées offrent la meilleure efficacité.

Si toutefois, une enceinte transparente est nécessaire, l'utilisation de matériaux perforés est possible.

Le blindage ne doit pas toucher à l'électrode active et peut être tenu à l'écart par des isolants r.f. La distance entre l'électrode active et le blindage devrait être plus grande que la distance entre l'électrode active et la pièce à travailler, sinon il y aura une trop grande perte d'énergie du champ magnétique vers le blindage plutôt que vers la pièce.

On peut s'attendre à une perte d'efficacité lorsque le blindage sera en place à cause du couplage entre l'électrode active et le blindage. Ce couplage aura pour effet de drainer une partie du champ magnétique qui doit servir à traiter le matériau. Quoiqu'il en soit, cette perte pourra être compensée en augmentant la puissance du générateur.

L'atténuation théorique pour du feuillard de fer (conductibilité relative de 1000 et perméabilité relative de 0,17) de 254 μm (10 mil) d'épaisseur placé à 10 cm de l'électrode active

¹ Matériaux magnétiques : efficaces et dispendieux, composés à 80% de nickel (permalloy 80, blendalloy 25-7904), un peu moins efficaces et moins dispendieux, composés à 48% de nickel (alloy 48, permendur, etc.). Les autres composés qui se retrouvent dans ces matériaux sont le Cu, Fe, Mn, C, Si, S, Mg, Cr, Ti, W.

est de 42 dB (atténué 125 fois) à 10 kHz [6].

L'atténuation théorique pour du feuillard de cuivre (conductibilité relative de 1 et perméabilité relative de 1) de 254 μm (10 mil) d'épaisseur placé à 10 cm de l'électrode active est de 35 dB (atténué 56 fois) à 10 kHz [6].

4.2 Installation de cavaliers de shuntage et mise à la terre des machines chauffant par perte diélectrique

Il est fréquent de retrouver, sur une machine en marche, des points sur la machine où le voltage haute fréquence est élevé. Ces points électrisés pourraient engendrer des courants nuisibles pour la santé des individus s'ils entraient en contact avec eux. Ces voltages apparaissent pour une multitude de raisons dont:

- 1) un blindage absent ou inadéquat;
- 2) la résistance électrique inhérente au bâti de la machine à travers lequel le courant haute fréquence doit circuler;
- 3) l'apparition d'ondes stationnaires lorsque le générateur de radiofréquences est mal réglé.



Ne confondez pas les chocs dûs à l'électricité statique et les chocs dûs à l'induction de charges par un champ r.f. Les chocs dûs à l'électricité statique sont engendrés par la friction d'une toile de polymères sur une table de nylon. Ils sont déplaisants mais non dangereux vu leur durée éphémère. Les chocs, dûs à l'induction de charges par un champ r.f., se produisent sur des surfaces métalliques non mises à la terre. De par leur durée continue, ils peuvent être nuisibles pour la santé des individus [4]. L'électricité statique peut être réduite en élevant le taux d'humidité dans le local de travail. Des générateurs d'ions ou des sources radio-actives peuvent également neutraliser les charges responsables des chocs.

Le châssis de la machine devient donc une source de r.f., plus ou moins efficace selon la longueur de parcours des courants. Le châssis devient également une source potentielle de chocs électriques à courant haute fréquence. Si la machine n'est pourvue d'aucun blindage, il serait préférable de lui en installer un. Si les tensions parasites persistent, il faut court-circuiter ces différences de potentiel par l'utilisation de conducteurs métalliques plats (cavaliers de shuntage) et le plus court possible en les reliant au point de retour de masse le plus près du générateur ou à une mise à la terre r.f. si la tension sur la courroie est trop élevée (Figure 17).

Pour réaliser une mise à la terre r.f., il faut percer le plancher de ciment et enfoncer à côté de la machine une tige plaquée en cuivre, d'une longueur de 3 m, de telle sorte que le conducteur, qui relie le point électrisé sur la machine au boîtier de mise à la terre, soit court par rapport à la longueur d'onde du courant qui y circulera. En fait, sa longueur devrait être inférieure à 1/10 de la longueur d'onde (1,1 m à 27 MHz) du courant que l'on veut éliminer si l'on ne veut pas que le conducteur de mise à la terre devienne à son tour une antenne émettrice (Figure 19).

Le boîtier de mise à la terre renferme un condensateur au mica de 0,05 microfarad¹ à 500 volts continus crêtes (soit 350 volts efficaces alternatifs) afin que la mise à la terre n'existe que pour les courants à hautes fréquences. Une résistance de 1 megohms, 2 Watts placée en parallèle aux bornes du condensateur évite l'accumulation de charges potentiellement dangereuses sur celui-ci.

La mise à la terre d'équipement électrique est considérée par certains comme un art. Lorsqu'il s'agit d'une mise à la terre de courants de haute fréquence, les conducteurs conventionnels de forme ronde offrent une résistance aux courants de hautes fréquences. Les conducteurs de mise à la terre devront avoir une forme rectangulaire et non circulaire car ces derniers souvent utilisés à basse fréquence (60 Hz) possèdent plus de résistance au passage du courant de haute fréquence qu'un conducteur ayant la forme d'une courroie. Leur épaisseur sera choisie en fonction de la résistance physique désirée car à très haute fréquence, les courants voyagent à la surface du conducteur et non dans sa section.

La résistance au passage des courants à hautes fréquences d'une courroie métallique décroît avec l'augmentation de la largeur et augmente avec l'accroissement de la longueur. Par

¹ exemple: le modèle CD42 FD 513 JO3 fabriqué par Cornell Dublier.

conséquent, il est recommandé d'utiliser une courroie métallique ayant un rapport de 5:1 entre sa longueur et sa largeur (1,1 m x 0,2 m minimum @ 27 MHz). Ces valeurs permettent d'obtenir une résistance au courant de haute fréquence qui n'est que de 45% de la résistance d'un câble circulaire de même longueur et d'un diamètre de même largeur que la courroie [20].

Quant aux objets métalliques environnants non mis à la terre, ils réfléchissent en partie les champs et peuvent augmenter l'exposition des opérateurs en plus d'être une source potentielle de chocs électriques (Figure 18). Il est préférable d'éviter les objets de métal, et d'utiliser des objets en plastique ou en bois.

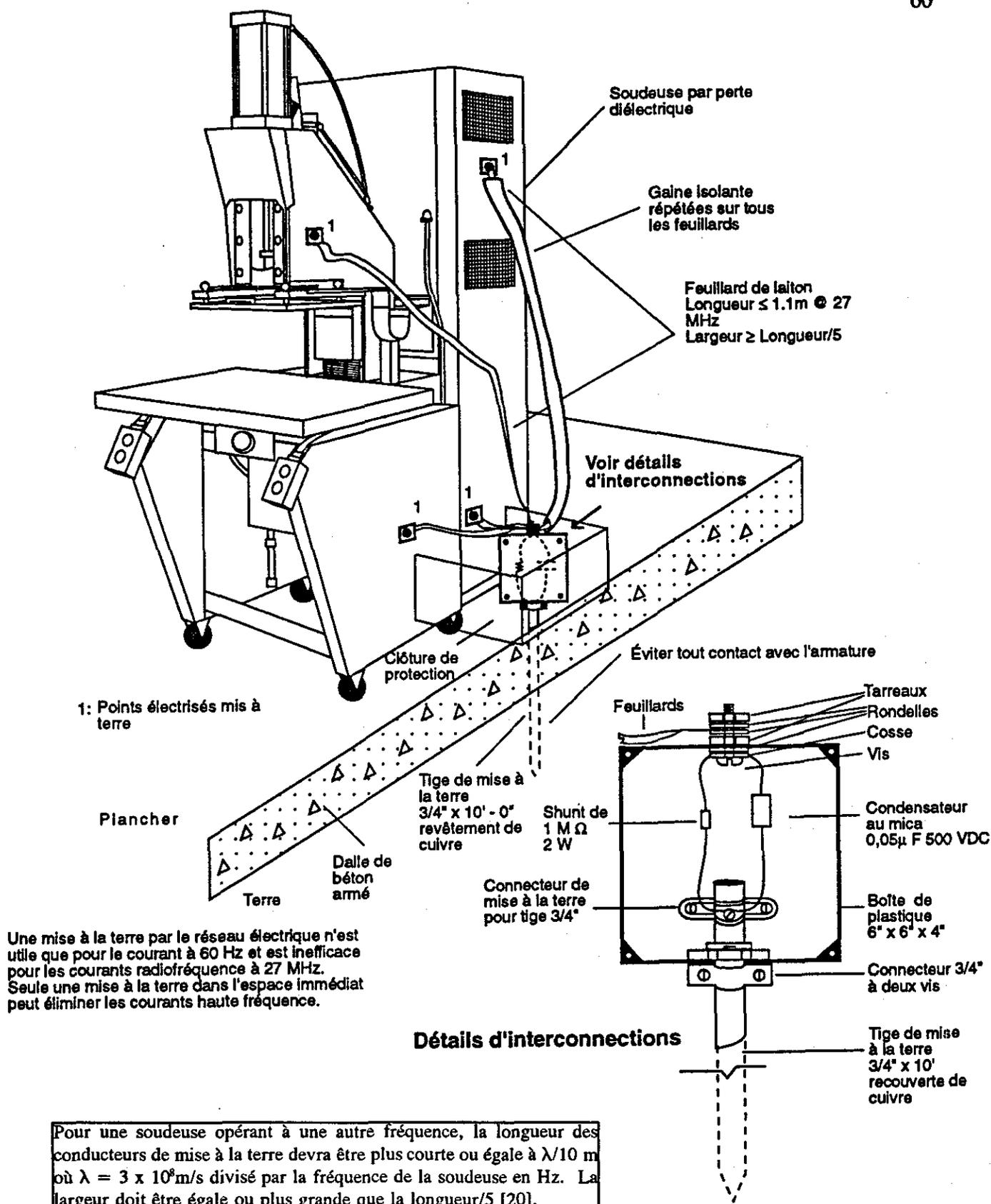


FIGURE 17 • Mise à la terre des points électrisés sur une soudreuse par perte

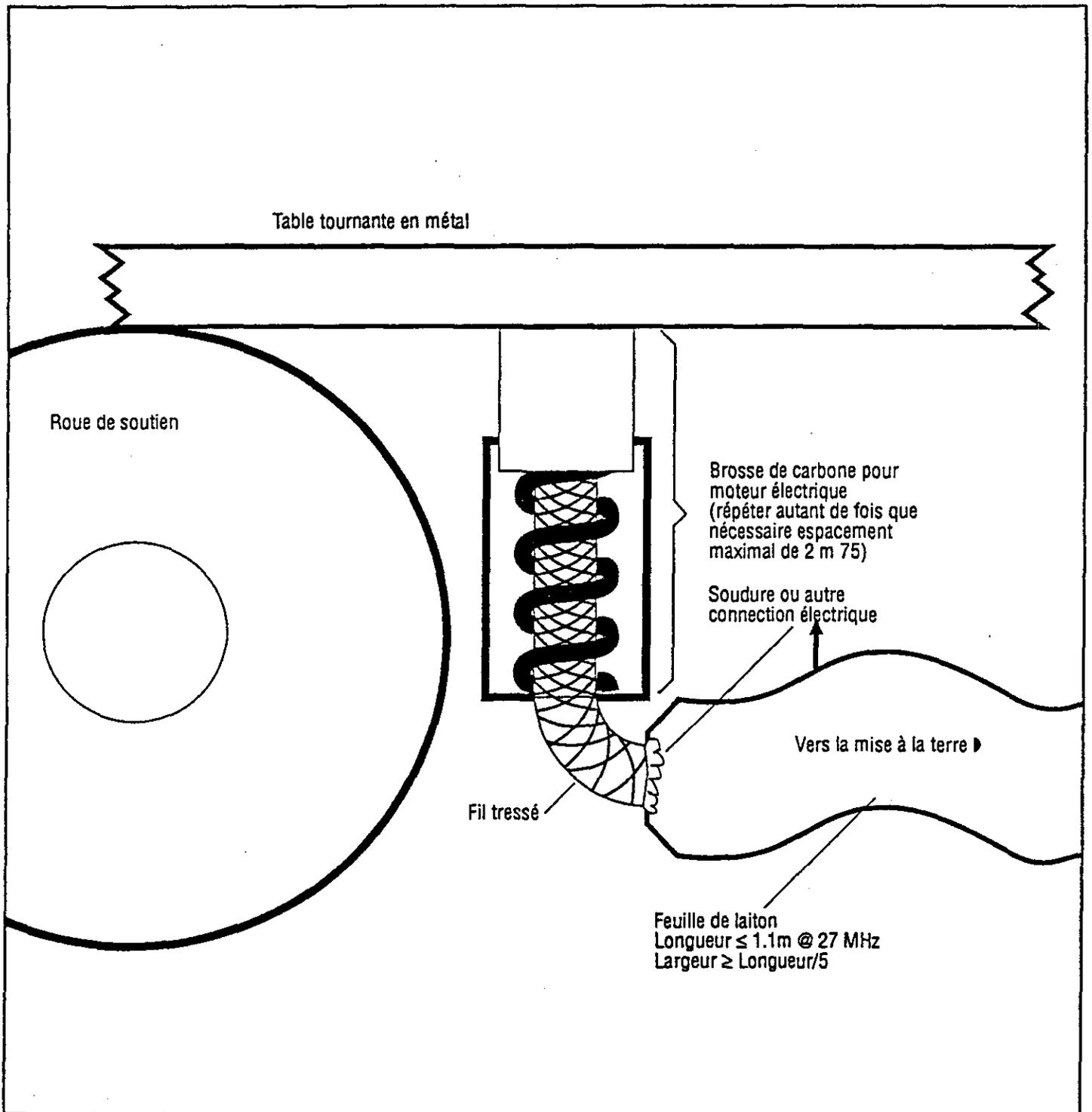


FIGURE 18 : Mise à la terre des points électrisés sur une table tournante métallique utilisée dans certaines usines, pour la fabrication des piscines.

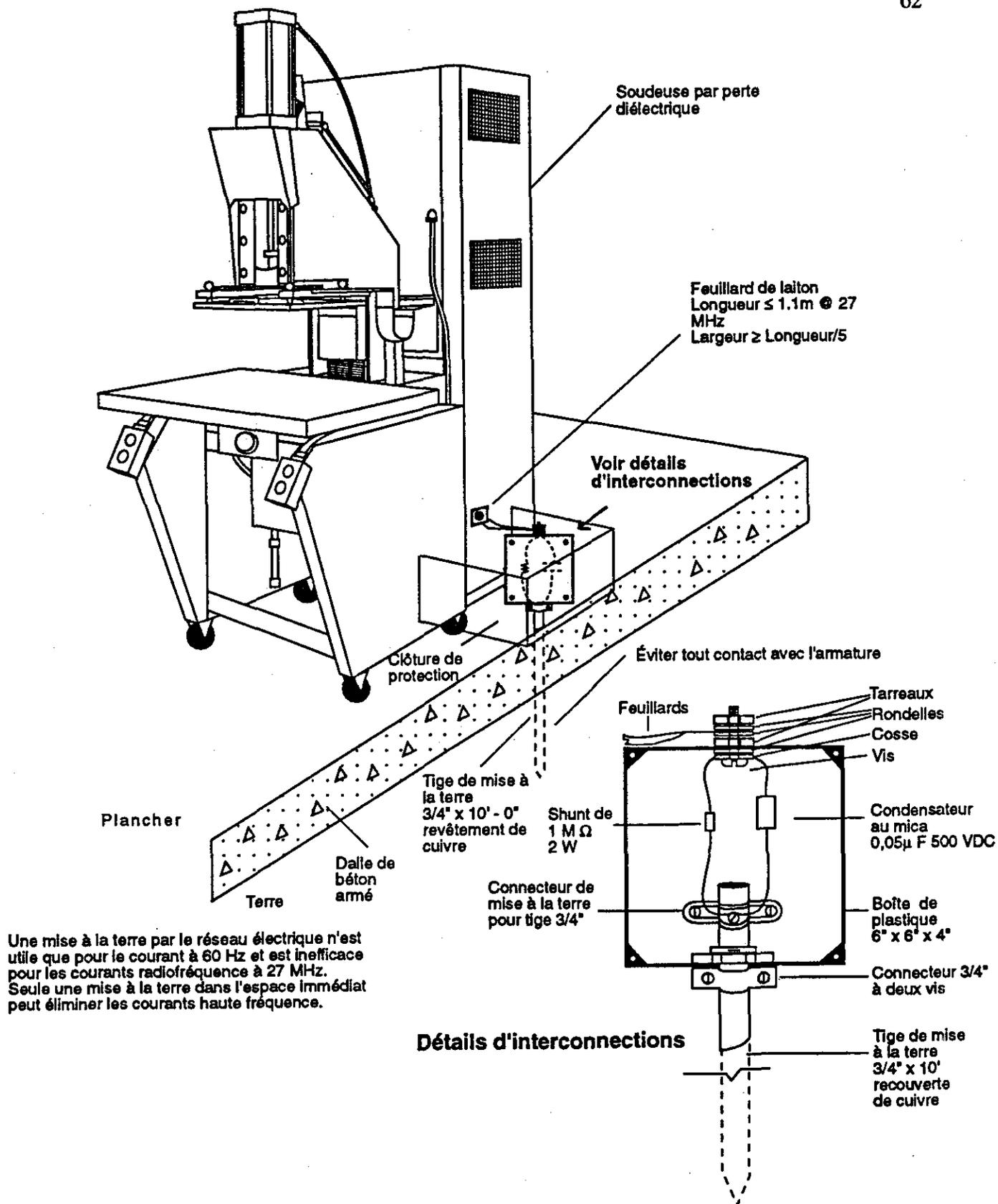


FIGURE 19 : Prise de mise à la terre pour une soudeuse par perte diélectrique.

4.3 Avantages d'isoler les opérateurs d'une mise à la terre

La fréquence de résonance d'un être humain de taille normale isolé de terre, baigné dans un champ électromagnétique polarisé parallèlement à l'axe de la hauteur de cette personne, est de 77 MHz. Dans les conditions de résonance, une personne peut absorber jusqu'à 7 fois plus d'énergie qu'elle ne le ferait dans un mode non résonant à 2450 MHz [7]. Si par ailleurs cette personne est en contact avec la terre, un plancher ou une machine qui est reliée à la terre, la fréquence de résonance est coupée de moitié, soit environ 38 MHz. Or, comme la majorité des soudeuses opèrent à 27 MHz, la fréquence du champ parasite dans lequel baigne l'opérateur est également 27 MHz, et la différence de fréquence est maintenant assez proche pour que l'on puisse constater une augmentation d'absorption d'énergie par l'opérateur. En fait, les expériences faites sur un mannequin rempli d'une solution saline, démontrent qu'un homme de 1m 77 absorberait 6,5 fois plus d'énergie dans une condition de mise à la terre que lorsqu'il est isolé de terre à 27 MHz¹.

Il est donc préférable d'éviter que l'opérateur entre en contact avec une surface mise à la terre. Une estrade construite de matériaux isolants, et espacée de 10 cm [21] du plancher, isolera de façon significative l'opérateur. Puisque les genoux de l'opérateur, assis devant une soudeuse à col de cygne, peuvent entrer en "contact" capacitif² avec le bâti de la machine, il est également recommandé d'y maintenir une séparation de 10 cm par l'ajout de matériau isolant (mousse polystyrène, caoutchouc, silicone, etc...). Il est préférable d'éviter le bois "vert" qui est considéré comme un bon conducteur à ces fréquences. En fait, un simple tapis isolant ou des souliers avec des semelles épaisses réduiront grandement l'absorption d'énergie électromagnétique. L'efficacité des mesures correctives pourra être évaluée, en utilisant l'estrade galvanométrique et en notant le courant induit avant et après les corrections.

¹ Gandhi O.P. State of Knowledge for Electromagnetic Dose in Man and Animals dans Biological Effects of Electromagnetic Radiation. John M. Osepchuk, editor. IEEE Press, 1983, p.96.

² Un courant radio-fréquence traverse les vêtements, les semelles des chaussures et le bois "vert". Seuls des isolants tels que le téflon, le mica, la porcelaine, le caoutchouc, la mousse de polystyrène ou une séparation d'air de plusieurs cm peuvent l'atténuer.

4.4 Modèle de blindage

La figure 20 illustre un exemple de blindage du champ électrique sur une soudeuse. Une plaque d'aluminium surmonte la matrice de travail de façon à la couvrir totalement sans toutefois y faire contact. Des orifices laissent passer les boulons d'ancrage de la matrice de travail et des isolants permettent l'ancrage de la plaque de blindage à ces mêmes boulons.

Des fers-angles sont ensuite placés au pourtour de cette plaque de blindage afin d'y recevoir des plaques coulissantes verticales au bas desquelles des manchettes métalliques, réalisées avec des feuillards de laiton, ont été vissées, de telle sorte qu'elles viendront faire contact avec la table de travail reliée à la terre lorsque la matrice de travail s'abaissera.

Comme les plaques verticales sont coulissantes, leur hauteur devra être ajustée avec soin, de façon à ce que la manchette de laiton fasse un bon contact avec la table de travail lorsque la matrice est abaissée.

Il est fort probable que ce système de blindage influencera la charge du générateur, les circuits d'accords devront donc être rééquilibrés.

Si le blindage est mauvais conducteur, sa surface pourra s'échauffer. Elle ne devra pas s'échauffer suffisamment pour causer des brûlures aux opérateurs.

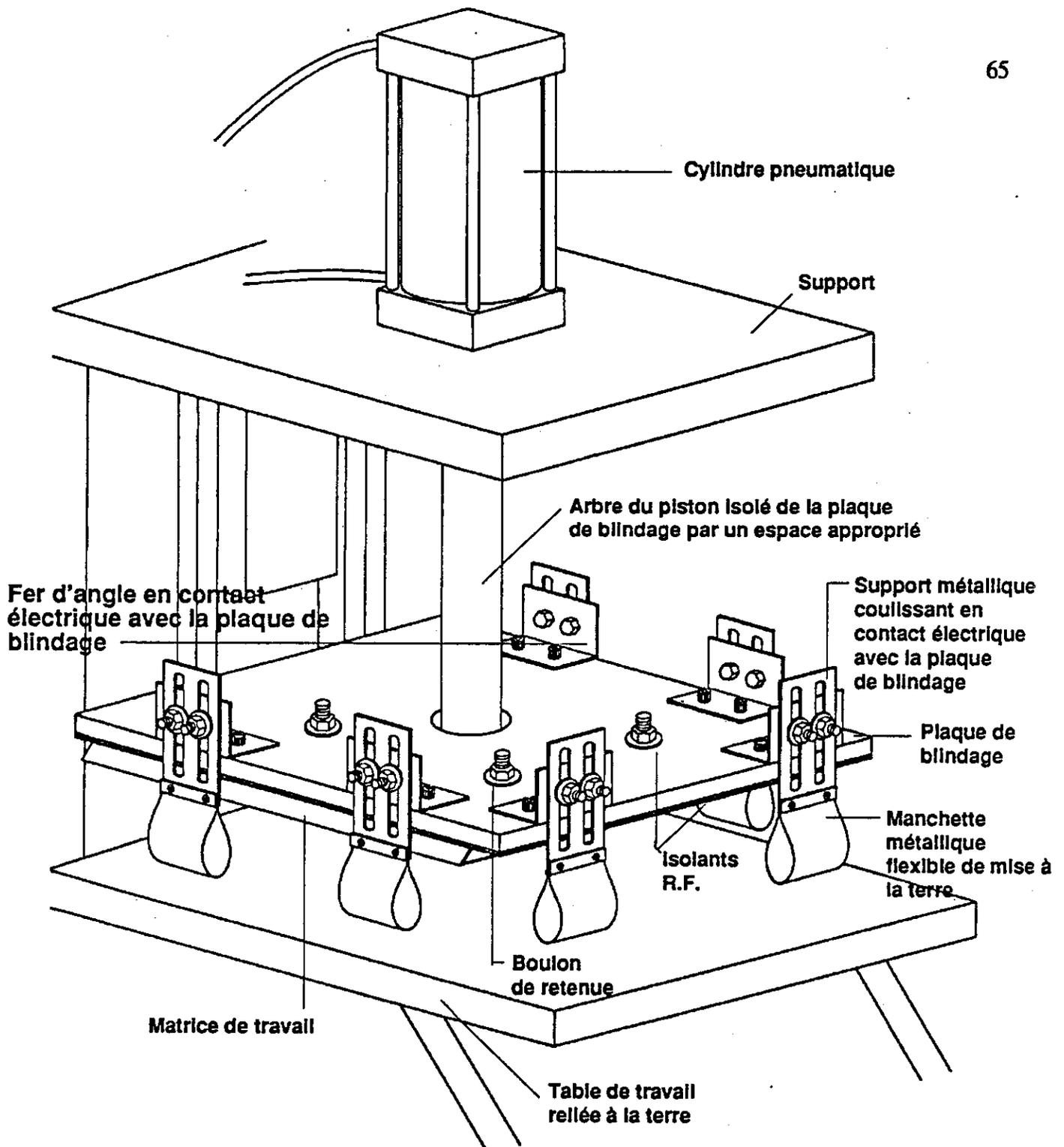


FIGURE 20 : Exemple de blindage du champ électrique

CHAPITRE V - Conclusion et recommandations

Les mesures prises en industrie par l'IRSST et par d'autres chercheurs (annexe 11) ainsi que les publications sur le sujet indiquent que plusieurs types de soudeuses et sècheuses par perte diélectrique et soudeuses par effet d'induction peuvent exposer les opérateurs à des niveaux élevés de radiations r.f. en plus de leur faire subir des chocs répétés. Les émissions de champs électrique et magnétique excèdent généralement les valeurs recommandées par les organismes de santé et de sécurité au travail.

Il est possible d'établir des mesures de contrôle pour réduire les émissions radiofréquences et les potentiels parasites par le blindage, l'installation d'un cavalier entre un point à potentiel élevé et le retour de masse du générateur et en dernier recours, par la mise à la terre r.f. des points électrisés (ou du châssis de la machine) sur lesquels un cavalier n'a pas fonctionné.

Le blindage devrait être introduit lors de la conception des soudeuses, celui-ci étant plus difficile à mettre en place après l'installation des soudeuses.

Il est recommandé aux opérateurs qui sont placés à moins de 60 cm des électrodes de ne pas porter de boucle de ceinture en métal, bracelet en métal, montre, stylos avec pièces métalliques, lunette avec rebord métallisé, etc... car tout objet métallique concentre le champ électrique et accentue son effet thermique. Cet effet est d'autant plus grand que la durée d'exposition est longue.

Les opérateurs devraient être isolés le plus possible d'une mise à la terre afin de minimiser leur absorption d'énergie. L'efficacité des mesures correctives pourra être évaluée en utilisant l'estrade galvanométrique et en notant le courant induit avant et après les corrections.

Il est préférable d'utiliser des tabourets, tables de travail, supports ou autres en plastique plutôt qu'en métal autour des machines chauffantes faisant appel aux r.f. à moins qu'elles ne soient blindées adéquatement ou que les objets métalliques soient mis à la terre correctement pour les courants à haute fréquence. Une vérification avec le galvanomètre de contact confirmera s'il y a lieu ou non d'effectuer des mises à la terre r.f. ou de changer pour du plastique.

RÉFÉRENCES

- 1.- Carrière, P.É. Rayonnement non ionisant dans Hygiène du travail. Édition le Griffon d'Argile Inc., Sainte-Foy, Québec, Chapitre 8, p. 303, 1985.
- 2.- Mild, K.H., Lövstrand, K.G. Environmental and Professionally Encountered Electromagnetic Fields dans Biological Effects and Medical Applications of Electromagnetic Energy. Om P. Gandhi, editor. Prentice Hall: Englewood Cliffs, New Jersey, Chapitre 4, p 48, 1990.
- 3.- NIOSH / OSHA. Radiofrequency (RF) Sealers and Heaters: Potential Health Hazards and their Prevention. Current Intelligence Bulletin 33, December 4, 1979. Disponible de: NIOSH Publications Dissemination, Division of technical Services, 4676 Columbia Parkway, Cincinnati, Ohio 45226, 1979.
- 4.- Gandhi, Om P. ANSI Radiofrequency Safety Guide: Its Rationale, Some Problems, and Suggested Improvements dans Biological Effects and Medical Applications of Electromagnetic Energy. Om P. Gandhi, editor. Prentice Hall: Englewood Cliffs, New Jersey, Chapitre 3, p 28, 1990.
- 5.- Vautrin, J.P., Cavelier, C., Clauzade, B. Le rayonnement électromagnétique "radiofréquences" Applications et risques. I.N.R.S., cahier de notes documentaires, No. 92, 3^e trimestre, ND 1127-92-78, 1978.
- 6.- White, Donald, R.J. Electromagnetic Shielding - Materials and Performance. Don White Consultants Inc., State Route 625, P.O. Box D, Gainesville, Virginia, 22065, U.S.A. 1980.
- 7.- International Radiation Protection Association. Guidelines on Limits of Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range From 100 kHz to 300 GHz. Health Physics, Vol. 54, no 1, p. 115-123, 1988.
- 8.- Eriksson, A., Mild, K.H. Radiofrequency from Plastic Welding Machines:

Measurements and Reducing Measures. J. Microwave Power, Vol. 20, No 2, p. 95 - 107, 1985.

- 9.- Santé et Bien-être social Canada. Lignes directrices pour la limitation de l'exposition aux radiofréquences engendrées par les dispositifs diélectriques pour le chauffage à radiofréquence. Doc. No. 80-DHM-58, 1989.
- 10.- Michaelson, S.M., Lin, J.C. Biological Effects and Health Implications of Radiofrequency Radiation. Plenum Press : New-York, 1987.
- 11.- Michaelson, S.M. Health Implications of Exposure to Radiofrequency/Microwaves Energies. Brit. J. of Medicine, 39, p. 105 - 119, 1982.
- 12.- Roberts, N.J., Michaelson, S.M. and Lu, S.-T. The Biological Effects of Radiofrequency Radiation : A Critical Review and Recommendations. Int. J. Radiat. Biol., Vol. 50, No 3, p. 379-420, 1986.
- 13.- Polk, C. and Postow, E. Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields. CRC Press: Boca Raton, Florida, 1986.
- 14.- National Council on Radiation Protection and Measurements. Biological Effects and Exposure Criteria for Radiofrequency Electromagnetic Fields. NCRP Report No. 86, Bethesda, MD, 1986.
- 15.- Stuckly, M.A., Kozlowski, J.A., Symons S. et Lécuyer, D.W. Measurement of Contact Currents in Radiofrequency Fields. Health Physics, Vol. 60, No 4, p 547-557, 1991.
- 16.- Gandhi, Om P. Advances in RF Dosimetry : Their Past and Projected Impact on the Safety Standards dans Electromagnetic Biointeraction - Mechanisms, Safety Standards, Protection Guides. Franceschetti, G., Gandhi, O.P., Grandolfo M. editors, Plenum Press, New York, p 13, 1989.
- 17.- Holaday Industries Inc. Broadband Isotropic Field Strength Meter Owner's Manual. Isotropic Broadband Magnetic Field Strength Meter, Model HI 3006 and Isotropic Broadband Field Strength Meter, Model HI 3001. December 1984.

- 18.- Santé et Bien-être social, Canada. Code de sécurité -6. Limites d'exposition à des champs de radiofréquences de la gamme de 10kHz - 300 GHz. No.EHD-TR-160. No de catalogue H46-2/90-160F. Groupe Communication Canada - Publication, Ottawa, Canada K1A 0S9, 1991.
- 19.- Department of Defense. Grounding, Bonding and Shielding for Electronic Equipments and Facilities. Vol. 1 and 2, MIL-HDBK-419, U.S.A., 1982.
- 20.- Denny, H.W. Grounding for the Control of EMI. Don White Consultants Inc., State Route 625, P.O. Box D, Gainesville, Virginia 22065, U.S.A., 1983.
- 21.- Stuckly, M.A. Proposed Revision of the Canadian Recommendations on Radiofrequency Exposure Protection. Health Physics, Vol. 53, No. 6, p. 649-665, 1987.
- 22.- Chapitre 1374, loi sur la radio, règlement sur le brouillage radioélectrique, annexe 1. Imprimeur de la reine, Ottawa, 1978.
- 23.- Signal de danger du Conseil Canadien de la Sécurité, dossier: V-1501-1514, juillet 1980.
- 24.- Repacholi, M.H. Radiofrequency Field Exposure Standards : Current Limits and Relevant Bioeffects Data dans Biological Effects and Medical Applications of Electromagnetic Energy. Om P. Gandhi, éditeur. Prentice Hall: Englewood Cliffs, New Jersey. Chapitre 2, p 9, 1990.
- 25.- Conover, D.L. et al. Measurement of Electric and Magnetic Field Strengths from Industrial Radio Frequency (15-40.68 MHz) Power Sources dans Biological Effects of Electromagnetic Waves, New Publication (FDA) 77-8011, p. 356-362, 1977.
- 26.- Cox, C., Murray, W.E. and Foley, E.P. Occupational Exposures to Radiofrequency Radiation (18 - 31 MHz) from RF Dielectric Heat Sealers. Am. Ind. Hyg. Asso. J., 43, p. 149-153, 1982.
- 27.- Joyner, K.H. and Bangay, M.J. Exposure Survey of Radio Frequency Dielectric Heaters in Australia. Health Physics, Vol. 50, No 3, p. 333-344, 1986.

BIBLIOGRAPHIE

- a.- American National Standards Institute. Techniques and Instrumentation for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Radiation at Microwave Frequencies. ANSI. C95.3-1973.
- b.- Grandolfo, M. Occupational Exposure Limits for Radio Frequency and Microwave Radiation. Appl. Ind. Hyg. (1), 2, July 1986.
- c.- Heller, J.H. Cellular Effects of Microwave Radiation dans Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation : Symposium Proceedings (Richmond, Va., September 17-19, 1969). S.F. Cleary, editor. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Food and Drug Administration, Bureau of Radiological Health, Division of Biological Effects (BRH/DBE 70-2), p. 116-121, 1970.
- d.- Mickey, G.H., J.H. Heller, and E. Snyder. Non-Thermal Hazards of Exposure to Radio Frequency Fields - Final Report. New England Institute, Ridgefield, Ct., 46 p., Submitted to Department of the Navy, Office of Naval Research Under Contract No N00014-69-C-0175, 1975.
- e.- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): NIOSH Technical Report, Carcinogenic Properties of Ionizing and Non-Ionizing Radiation, Volume II - Microwave and Radiofrequency Radiation. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH, DHEW (NISH) Publication N° 78-134, 1978.
- f.- Réchauffeurs radiofréquences industriels. Gazette du Canada, Partie I, Annexe partie XXII, du 16 avril 1983.
- g.- Report on the Survey of Radio Frequency Heaters. Environmental Health Directorate, Health Protection Branch, Health and Welfare Canada. 80-EHD-47.

ANNEXE 1

Fréquences Industrielles, Scientifiques et Médicales

TABLEAU DES BANDES DE FRÉQUENCES ISM		
Limite de fréquence inférieure de la bande (en mégahertz)	Fréquence médiane (en mégahertz)	Limite de fréquence supérieure de la bande (en mégahertz)
13 553,2	13 560,0	13 566,7
26 957,3	27 120,0	27 282,7
40 659,7	40 680,0	40 700,3
902 000,0	915 000,0	928 000,0
2 400 000,0	2 450 000,0	2 500 000,0
5 725 000,0	5 800 000,0	5 875 000,0
24 000 000,0	24 125 000,0	24 250 000,0

Source: [22]



Beaucoup de machines opèrent à côté de ces fréquences. Le ministère des communications les tolère si aucune interférence avec d'autres services n'est rapportée.

ANNEXE 2

Liste partielle des fabricants de soudeuses et sécheuses par perte diélectrique

Frabricants américains

Chemetron Corp. (Voltator), Louiseville, Kentucky

Compo Industries, Inc., Waltham, Massachusetts

Cosmos Electronic Machine Corporation, Brooklyn, New York

Duomatic Electronics Corporation, Brooklyn, New York

Gallery Services Fara-Dine, So. El Monte, California

Gerling Moore, Inc., Santa Clara, California

Guild Electronics, Inc., Brooklyn, New York

Hall Dielectric Machine Company, Deer Park, New York

J.A. Callanan Company, Chicago, Illinois

Kabar manufacturing Corporation, Farmingdale, New York

Lepel High Frequency Laboratories, Inc., Maspeth, New York

Mann-Russell Electronic Devices, Inc., Tacoma, Washington

Pillar Corporation, Milwaukee, Wisconsin

P.S.C. Inc., Cleveland, Ohio

Radio Frequency Company, Inc., Medfield, Massachusetts

Seal-Pac Services and Machine, Inc., Brooklyn, New York

Solidyne, Inc., Bay Shore, New York

Divisions: Thermatron

 Sealomatic

 Faratron

 Stanelco, Ltd

 Colpitt, B.V.

Thermo Dielectric Machine Company, Inc., Brooklyn, New York

Welduction, Inc., Plymouth, Michigan

W.T. LaRosa and Associates, Inc., Troy, New York

Source : [3]

Frabricants français

Anver, Maisons-Alfort

Kiefel Körting, Champigny

Thidonnier, Lyon

S^{te}H.F.S. (matériel Herfurth), Charenton Le Pont



ANNEXE 3

**Liste des métiers où l'usage d'appareils à hautes fréquences
peut être requis**

TRAVAILLEURS DE L'AUTOMOBILE

Séchage de panneaux de garniture
Gaufrage de coussinets de talons
Scellage à la chaleur de panneaux intérieurs de voiture
Scellage à la chaleur de capotes de voitures et de toits de vinyle
Scellage à la chaleur de garnitures de banquettes et de dossiers

TRAVAILLEURS DU BOIS ET DE L'AMEUBLEMENT

Assemblage de planchers de charpente
Laminage de portes
Fabrication de poteaux et de chevrons
Fabrication de panneaux fibreux
Fabrication de poutres laminées
Collage du bois de charpente
Rapiécage de panneaux de contre-plaqué
Collage de entailles des panneaux de particules ou de contre-plaqué
Laminage de skis
Collage de placages

TRAVAILLEURS DE L'INDUSTRIE DU FIBRE DE VERRE

Séchage et traitement
Séchage d'enduits de fibres à mouvement perpétuel
Séchage de fibres de verre sur des tubes de formage
Séchage de paquets de mèches

TRAVAILLEURS DES PRODUITS DU PAPIER

Correction du niveau d'humidité des papiers en bobines à mouvement continu
Séchage d'enduits de résine
Séchage de papier pour cordes
Collage de papier
Chauffage d'enduit du papier en bobines

TRAVAILLEURS DU SCELLAGE À LA CHALEUR ASSIGNÉS À LA FABRICATION DES:

Couvertures en acétate pour les boîtes	Cartons doux
Annonces des nouveautés	Cartes de crédit
Housses de meubles	Tentes à oxygène
Tabliers	Emballages
Culottes de bébé	Produits pharmaceutiques
Ballons de plage	Taies d'oreillers
Ceintures et bretelles	Emballages pour oreillers
Plaquettes	Gants de caoutchouc
Couvertures de carnets de chèques	Doublures de piscine
Coussins	Vêtements de pluie
Sacs à couches	Sacs pour la réfrigération
Présentoirs	Sacs à souliers
Couvertures électriques	Souliers
Boîtes de nourriture	Rideaux de douche
Stylos	Housses
Sacs à vêtements	Tapis protecteurs
Masques à gaz	Endos d'éponges
Lunettes protectrices (industries)	Articles de sport
Sacs à mains	Blagues à tabac
Couvre-chapeaux	Jouets
Cartes d'index	Sacs de voyage
Abats-jours	Parapluies
Contenants à liquides	Porte-monnaie
Valises	Contenants imperméables
Housses à machines	Recouvrements des boîtes d'extrémité
Housses à matelas	Pèlerines
	Couvertures de livres

TRAVAILLEURS SE SERVANT DE MICRO-ONDES

Annonce: affiches faisant appel à des gaz excités par les fréquences radio
Céramique: séchage de la céramique
Chimie: activation des réactions chimiques
Électronique: vérification et maturation des lampes
Lasers aux gaz excités aux hautes fréquences
Médecine: diathermie et traitement (expérimental) du cancer
Équipement scientifique: réduction en cendres d'échantillons, à basse température
Soudage: soudage stabilisé aux fréquences radio

TRAVAILLEURS DES PRODUITS DU CAOUTCHOUC

Séchage des mousses de latex
Transformation en colloïde des mousses de latex
Chauffage précédant la préparation des mousses de latex
Chauffage précédant le moulage

TRAVAILLEURS DU TEXTILE

Séchage de tissus continus
Séchage de fibres imprégnées ou enduites
Séchage de gâteaux
Séchage d'enduits d'encolleuse
Séchage de bobines

Source: [23]

ANNEXE 4

**Recommandations 1991 de Santé et Bien-être social Canada
pour une exposition aux radiofréquences et courants de contact**

Recommandations 1991 de Santé et Bien-être social Canada

pour une exposition aux radiofréquences

Gamme de fréquences	Champ électrique (V_{rms} /m)	Champ magnétique (A_{rms} /m)	Densité de puissance équivalente (mW_{rms} /cm^2)
0.01 - 1.0 MHz	600	4.9	--
1.0 - 10 MHz	600 / f	4.9 / f	--
10 - 30 MHz	60	4.9 / f	--
30 - 300 MHz	60	0.163	10
300 MHz - 1.5 GHz	$3.46 f^{0.5}$	$0.0093 f^{0.5}$	f / 30
1.5 - 300 GHz	140	0.36	50

f = fréquence en MHz

Limites des courants de contact (doigt) pour des expositions en milieu de travail

Gamme de fréquences	Courant (mA)
10 kHz - 100 kHz	400 f
100 kHz - 30 MHz	40

f = fréquence en MHz

Source: [18]

ANNEXE 5

Limites ANSI pour le courant induit et le courant de contact.

COURANT INDUIT

Mesuré avec une estrade galvanométrique.

Pour une personne qui n'est pas en contact avec un objet métallique et qui a les deux pieds sur l'estrade:

$$I_{\text{induit}} (\text{mA}_{\text{rms}}) = 2000 \times \text{fréquence (MHz)} \text{ pour } 0,003 \text{ MHz} \leq f \leq 0,1 \text{ MHz}$$

$$I_{\text{induit}} (\text{mA}_{\text{rms}}) = 200 \text{ mA pour } 0,1 \text{ MHz} \leq f \leq 100 \text{ MHz}$$

Source : ANSI C95.1-1992

COURANT DE CONTACT (ANSI)

Mesuré avec un galvanomètre de courant de contact.

Pour une personne dont la main pourrait entrer en contact avec un objet métallique :

$$I_{\text{contact}} (\text{mA}_{\text{rms}}) = 1000 \times f_{\text{MHz}} \text{ mA pour } 0,003 \text{ MHz} \leq f \leq 0,1 \text{ MHz}$$

$$I_{\text{contact}} (\text{mA}_{\text{rms}}) = 100 \text{ mA pour } 0,1 \text{ MHz} \leq f \leq 100 \text{ MHz}$$

Source : ANSI C95.1-1992

ANNEXE 6

Exemple du calcul de l'exposition corrigée et de la durée d'exposition permise.

Exemple du calcul de l'exposition corrigée et de la durée d'exposition permise

Soit la Compagnie ABC qui fabrique des cartables de vinyle en utilisant une seule soudeuse par perte diélectrique opérant à une fréquence nominale de 27,12 MHz.

La fréquence mesurée est de 26,86 MHz.

Si l'hygiéniste ou l'inspecteur possède une estrade galvanométrique, il est préférable de commencer par cette mesure car elle nuit très peu à la production et les mesures sont décisives.

Pour notre usine fictive, le courant de corps induit, mesuré avec l'estrade galvanométrique, est de 300 mA alors que la recommandation est de 200 mA. Il n'est pas nécessaire à ce point de faire d'autres mesures, car déjà, l'hygiéniste est en mesure de recommander des mesures correctives (chapitre 4).

Si une estrade galvanométrique n'est pas disponible ou s'il s'agit d'une visite de vérification de l'efficacité du blindage, la mesure des champs électrique et magnétique est alors nécessaire.

Les temps d'exposition relevés à la position de l'opérateur A sont de 2 sec. fixés par une minuterie. Les temps de non-exposition relevés après chaque période d'exposition sont de 12, 14, 19, 14, et 13 sec.

Théoriquement, d'autres mesures de durée devraient être prises jusqu'à ce que la somme des durées d'exposition et de non-exposition totalisent 6 minutes. Or, comme le contremaître nous a informé que la production peut rouler au moins une demie heure sans changement majeur de la cadence de production, les mêmes chiffres vont se répéter à peu de choses près. Puisqu'il s'agit d'une moyenne, ajouter des chiffres de même valeur n'y changera pas grand chose.

Calculons le Facteur de Service Moyen (FSM).

$$FSM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{D_{i \text{ exp}}}{D_{i \text{ exp}} + D_{i \text{ non-exp}}} \right)$$

n est un nombre suffisamment grand pour que le FSM soit représentatif du fonctionnement de la machine pendant une période de 6 minutes.

D_i est la durée d'exposition ou de non-exposition à l'observation i .

$$FSM = \frac{1}{5} \left[\left(\frac{2}{2+12} \right) + \left(\frac{2}{2+14} \right) + \left(\frac{2}{2+19} \right) + \left(\frac{2}{2+14} \right) + \left(\frac{2}{2+13} \right) \right]$$

$$FSM = \frac{1}{5} [0,143 + 0,125 + 0,095 + 0,125 + 0,133]$$

$$FSM = 0,124$$

Les facteurs de correction pour les sondes électrique et magnétique à cette fréquence, fournis par le fabricant des champmètres, sont de 1,2 et de 0,93 respectivement.

Au moment de l'intervention, l'opérateur se tenait à environ 80 cm de l'électrode de la soudeuse au moment de l'émission r.f. Cette zone se trouve en champ proche car $80 \text{ cm} \ll 1,6 \lambda$ où $\lambda = (3 \times 10^8 \text{ m/s} \div \text{fréquence de la soudeuse } (26,86 \times 10^6 \text{ Hz}))$ soit $\lambda = 11,17 \text{ m}$. En champ proche, l'exposition de l'opérateur n'est pas uniforme. La moyenne spatiale d'au moins 9 valeurs d'exposition mesurées sur une surface de $0,25 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ de dimensions située à $0,5 \text{ m}$ du sol doit donc être effectuée.

Intensité en V_{rms}^2 / m^2 du champ électrique			
Machine: no 1	opérateur: A	date: 15/08/1991	technicien: RS
point de mesure ¹	Lecture du champmètre	FC _{sonde}	Lecture corrigée
1	$2,6 \times 10^5$	1,2	$3,1 \times 10^5$
2	$7,0 \times 10^5$	1,2	$8,4 \times 10^5$
3	$5,0 \times 10^5$	1,2	$6,0 \times 10^5$
4	$2,8 \times 10^5$	1,2	$3,4 \times 10^5$
5	$4,9 \times 10^5$	1,2	$5,9 \times 10^5$
6	$4,3 \times 10^5$	1,2	$5,2 \times 10^5$
7	$0,8 \times 10^5$	1,2	$1,0 \times 10^5$
8	$1,4 \times 10^5$	1,2	$1,7 \times 10^5$
9	$1,1 \times 10^5$	1,2	$1,3 \times 10^5$

FC_{sonde}: Facteur de correction de la sonde.

Calculons la valeur moyenne spatiale pour les neuf points de mesures ci-haut:

$$E_{\text{corrigé pour FC}_{\text{sonde}} \text{ et la moyenne spatiale}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n E_i^2 |_{\text{corrigé FC}_{\text{sonde}}}}{n}$$

où E^2 représente la valeur d'exposition du champ électrique au carré.

$$E_{\text{FC}_{\text{sonde}} \text{ et Moy spatiale}}^2 \text{ corrigé} = \frac{(3,1 + 8,4 + 6,0 + 3,4 + 5,9 + 5,2 + 1,0 + 1,7 + 1,3) \times 10^5}{9}$$

$$E_{\text{FC}_{\text{sonde}} \text{ et Moy spatiale}}^2 \text{ corrigé} = 4,0 \times 10^5 \text{ V}_{\text{rms}}^2 / m^2$$

¹ Référez-vous à la figure 16.

Intensité en A^2_{rms} / m^2 du champ magnétique			
machine: no 1	opérateur: A	date: 15/08/91	technicien: RS
point de mesure ¹	Lecture du champmètre	FC _{pondé}	Lecture corrigée
1	$4,4 \times 10^{-2}$	0,93	$4,1 \times 10^{-2}$
2	$5,2 \times 10^{-2}$	0,93	$4,8 \times 10^{-2}$
3	$4,2 \times 10^{-2}$	0,93	$3,9 \times 10^{-2}$
4	$3,5 \times 10^{-2}$	0,93	$3,3 \times 10^{-2}$
5	$3,9 \times 10^{-2}$	0,93	$3,6 \times 10^{-2}$
6	$3,7 \times 10^{-2}$	0,93	$3,4 \times 10^{-2}$
7	$1,5 \times 10^{-2}$	0,93	$1,4 \times 10^{-2}$
8	$1,8 \times 10^{-2}$	0,93	$1,7 \times 10^{-2}$
9	$1,4 \times 10^{-2}$	0,93	$1,3 \times 10^{-2}$

Calculons la valeur moyenne spatiale pour les neuf points de mesures ci-haut:

$$H^2_{\text{corrigé pour FC}_{\text{pondé}} \text{ et la Moy spatiale}} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i^2 |_{\text{corrigé FC}_{\text{pondé}}}}{n}$$

où H^2 représente la valeur d'exposition du champ magnétique au carré.

$$H^2_{\text{corrigé FC}_{\text{pondé}} \text{ et Moy spatiale}} = \frac{(4,1 + 4,8 + 3,9 + 3,3 + 3,6 + 3,4 + 1,4 + 1,7 + 1,3) \times 10^{-2}}{9}$$

$$H^2_{\text{corrigé FC}_{\text{pondé}} \text{ et Moy spatiale}} = 3,1 \times 10^{-2} A^2_{rms} / m^2$$

¹ Référez-vous à la figure 16.

Les valeurs d'exposition corrigées pour 6 minutes s'obtiennent à partir des moyennes spatiales d'exposition en utilisant la formule suivante :

$$C = FSM \times B$$

où : C : Valeur d'exposition corrigée pour le facteur de la sonde, la moyenne spatiale et pour une exposition équivalente de 6 minutes exprimé en V_{rms}^2 / m^2 ou en A_{rms}^2 / m^2 .

FSM : Facteur de Service Moyen de la machine

B : Valeur d'exposition corrigée pour le facteur de la sonde et la moyenne spatiale exprimé en V_{rms}^2 / m^2 ou en A_{rms}^2 / m^2 .

On obtient:

$V_{exp\ corrigée}$ FC _{sonde} , Moy _{spatiale}	FSM	$V_{exp\ corrigée}$ FC _{sonde} , Moy _{spatiale} , 6 _{min}	Recommandations Santé et Bien-être	Rem. ¹
$4,0 \times 10^5 V_{rms}^2 / m^2$	0,124	$50 \times 10^3 V_{rms}^2 / m^2$	$3,6 \times 10^3 V_{rms}^2 / m^2$	dépasse 14 fois
$3,1 \times 10^{-2} A_{rms}^2 / m^2$	0,124	$3,8 \times 10^{-3} A_{rms}^2 / m^2$	$3,2 \times 10^{-2} A_{rms}^2 / m^2$	ok

Puisque la valeur d'exposition corrigée dépasse la recommandation, il est recommandé de procéder à des mesures correctives (chapitre 4).

Le problème peut aussi se voir sous un autre angle en considérant le temps d'exposition au lieu du niveau d'exposition.

¹ Rem.: remarque

La durée d'exposition permise est de:

$$D \cdot = \frac{R \times t}{B}$$

* La durée n'est valable que dans le cas d'une exposition qui se répète avec le même niveau d'intensité.

où: D: durée d'exposition permise en champ proche lorsque le niveau d'exposition est constant. Elle est exprimée en secondes.

R: valeur de la recommandation exprimée en V_{rms}^2 / m^2 ou en A_{rms}^2 / m^2 .

t : 360 secondes

B : Valeur d'exposition corrigée pour le facteur de la sonde et la moyenne spatiale exprimé en V_{rms}^2 / m^2 ou en A_{rms}^2 / m^2 .

Pour le champ électrique:

$$\begin{aligned} D_{\text{exp permise}} \\ \text{à niveau constant} \\ \text{(sec)} \end{aligned} = \frac{3,6 \times 10^3 V_{rms}^2 / m^2 \times 360 \text{ sec}}{4,0 \times 10^5 V_{rms}^2 / m^2} = 3,2$$

Il y a donc une restriction de durée d'exposition de 3,2 sec. pour chaque période de travail de 6 minutes.

Pour le champ magnétique:

$$\begin{aligned} D_{\text{exp permise}} \\ \text{à niveau constant} \\ \text{(sec)} \end{aligned} = \frac{3,2 \times 10^{-2} A_{rms}^2 / m^2 \times 360 \text{ sec}}{3,1 \times 10^{-2} A_{rms}^2 / m^2} = 372$$

Or 372 sec \geq 360 sec par conséquent, il n'y a pas de restriction sur la durée d'exposition.

La restriction la plus sévère est retenue, soit 3,2 secondes d'exposition pour toute période de 6 minutes. C'est-à-dire, 3 secondes d'exposition et 357 secondes de non-exposition¹.

Calculons maintenant la durée d'exposition réelle de l'opérateur sur une période de 6 minutes:

$$D_{\text{exp réelle } P_{6\text{min}}} \text{ (sec)} = 360 \text{ secondes} \times FSM$$

$$D_{\text{exp réelle } P_{6\text{min}}} \text{ (sec)} = 360 \text{ secondes} \times 0,124 = 44,6$$

La durée d'exposition réelle dépasse de 14 fois la durée d'exposition permise.

Des mesures correctives (chapitre 4) sont donc nécessaires.

Les courants de contact avec les objets environnants mesurés au galvanomètre de courant de contact sont de :

Courants de contact	
objets métalliques seulement	courant en mA
table de la soudeuse	175
table d'entreposage	128
tabouret	27
recommandation	inférieur à 100

La mise à la terre des objets qui dépassent les recommandations est donc nécessaire. Le remplacement des objets métalliques par objets isolants peut aussi se faire, si c'est plus avantageux.



¹ Plutôt qu'une non-exposition totale, Santé et Bien-être social Canada permet d'avoir une exposition réduite en intensité. Si cette possibilité peut s'appliquer, on consultera la référence [18] pour plus d'information.

ANNEXE 7

Autres formules utiles

Pour une onde électromagnétique mesurée en champ éloigné avec un Wattmètre (four micro-onde ou sècheuse micro-onde) :

Formule générale:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n D_{i \text{ exp}} \times B_i}{t}$$

où C : Valeur d'exposition corrigée pour le facteur de la sonde, la moyenne spatiale et pour une exposition équivalente de 6 minutes exprimé en mW_{rms} / cm^2

$D_{i \text{ exp}}$: Durée d'exposition à la période d'observation i.

B_i : Valeur d'exposition à la période d'observation i corrigée pour le facteur de la sonde et la moyenne spatiale exprimé en mW_{rms} / cm^2

t : 360 secondes

n : nombre de périodes d'exposition sur une période d'observation de 6 minutes de sorte que cette équation soit satisfaite:

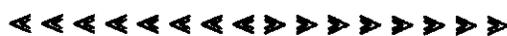
$$\sum_{i=1}^n (D_{i \text{ exp}}) + \sum_{i=1}^n (D_{i \text{ non-exp}}) = 360 \text{ secondes}$$

Pour le cas d'un signal continu (sècheuse), $D_{\text{non-exp}} = 0$ et C est alors égal à B.

et

$$D_{\text{exp permise}} \text{ (sec)} = \frac{\text{Recommandations en } mW_{rms} / cm^2 \times 360 \text{ secondes}}{V_{\text{maximale d'exposition}} \text{ mesurée en } mW_{rms} / cm^2 \times FC_{\text{sonde}}}$$

Pour obtenir la valeur du champ électrique à partir d'une lecture effectuée en champ proche ou éloigné avec un Wattmètre (à dipôles ou thermocouples) qui affiche en mW_{rms} / cm^2 , multiplier la lecture par FC_{sonde} et par 3770 afin de retrouver la valeur du champ électrique en V_{rms}^2 / m^2 .



ANNEXE 8

Calculs détaillés pour obtenir la formule de la valeur corrigée pour 6 minutes

Calculs détaillés pour obtenir la formule de la valeur corrigée pour 6 minutes

Lorsqu'une personne subit une exposition électromagnétique à une fréquence de 10 MHz ou plus, il peut y avoir une augmentation de sa température ce qui pourrait lui causer des effets biologiques.

Les recommandations nous donnent des valeurs d'exposition à des champs électromagnétiques qui n'ont causé aucune augmentation significative de la température du corps lorsque celui a été exposé continuellement pendant au moins 6 minutes.

Si une personne subit une exposition uniformément distribuée sur son corps d'une intensité de $16 \times 10^5 \text{ V}_{\text{rms}}^2/\text{m}^2$ pendant 2 secondes à 27 MHz, comment peut-on savoir si cette exposition entraînera une élévation significative de la température de son corps ? Il s'agit de calculer l'énergie contenue dans cette impulsion d'une durée de 2 secondes et de trouver l'intensité d'une exposition d'une durée de 6 minutes qui aurait la même énergie. Une fois cette valeur trouvée, elle peut facilement être comparée avec la recommandation puisque celle-ci est spécifiée pour une exposition d'une durée de 6 minutes et ainsi en déduire si le niveau d'exposition était risqué.

Calculons donc cette énergie:

On se rappellera que :

$$P = V \times I \quad (1)$$

$$V = R \times I \quad (2)$$

$$I = V / R \quad (3)$$

où: P : puissance en watt
 V : voltage en volt
 I : courant en ampère
 R : résistance en ohm

Sachant qu'il existe un parallèle entre le voltage (V) et le champ électrique (E) et entre le courant (I) et le champ magnétique (H), nous pouvons dire que :

par substitution de (3) dans (1) :

$$P = V \times V \div R = V^2 \div R \text{ de façon similaire } P = E^2 \div R \quad (4)$$

par substitution de (2) dans (1) :

$$P = R \times I \times I = R I^2 \text{ de façon similaire } P = R \times H^2 \quad (5)$$

Énergie = Puissance du champ électrique dans le tissu exposé x D_{exp} sec

où D : durée

Par (4)

$$(V_{\text{exp électrique réelle}})^2 \div R \times D_{\text{exp} \leq 6 \text{ min}} = (V_{\text{exp électrique équivalente à 6 min}})^2 \div R \times 6 \text{ min}$$

Par (5)

$$(V_{\text{exp magnétique réelle}})^2 \times R \times D_{\text{exp} \leq 6 \text{ min}} = (V_{\text{exp magnétique équivalente à 6 min}})^2 \times R \times 6 \text{ min}$$

où R: Résistance électrique du tissu exposé.

En simplifiant par R, on obtient pour un champ électrique ou magnétique :

$$\left[\frac{V_{\text{exp réelle}}}{(\text{unité}_{\text{rms}} / m)} \right]^2 \times \left[\frac{D_{\text{exp} \leq 6 \text{ min}}}{(\text{sec})} \right] = \left[\frac{V_{\text{exp équivalente à 6 min}}}{(\text{unité}_{\text{rms}} / m)} \right]^2 \times 360 \text{ sec}$$

$$\left[\frac{V_{\text{exp réelle}}}{(\text{unité}_{\text{rms}} / m)} \right]^2 \times \left[\frac{D_{\text{exp} \leq 6 \text{ min}}}{360 \text{ sec}} \right] = \left[\frac{V_{\text{exp équivalente à 6 min}}}{(\text{unité}_{\text{rms}} / m)} \right]^2$$

$$V_{\text{exp équivalente à 6 min}} \left(\text{unité}_{\text{rms}} / \text{m} \right)^2 = \frac{D_{\text{exp} \leq 6 \text{ min}} (\text{sec})}{360 \text{ sec}} \times \left[\frac{V_{\text{exp réelle}}}{\left(\text{unité}_{\text{rms}} / \text{m} \right)^2} \right] \quad (6)$$

Note: L'exposition réelle doit être uniforme sur le tissu exposée, ce qui n'est pas le cas en champ proche. Pour obtenir une valeur approximative d'exposition uniforme, la moyenne spatiale de plusieurs lectures d'exposition mesurées en champ proche, prises dans l'espace normalement occupé par le tissu, doit être effectuée. Le lecteur devra donc considérer la valeur d'exposition réelle indiquée dans ces équations comme étant sous-entendue d'une valeur uniforme sur le tissu exposé.

Revenons à notre exemple:

Valeur d'exposition équivalente à 6 min = $16 \times 10^5 \text{ V}_{\text{rms}}^2 / \text{m}^2 \times (2 \text{ sec} / 360 \text{ sec})$

Valeur d'exposition équivalente à 6 min = $8\,889 \text{ V}_{\text{rms}}^2 / \text{m}^2$ ou $94 \text{ V}_{\text{rms}} / \text{m}$

Or la recommandation à 27 MHz pour un travailleur est de $60 \text{ V}_{\text{rms}} / \text{m}$ (sous-entendu pour une exposition uniforme sur tout le corps et pour une durée de 6 minutes). L'exposition est donc légèrement au-dessus de la recommandation et il pourrait s'ensuivre une légère hausse de température dans ce cas. Les recommandations ont quand même une marge de sécurité de 10, afin de tenir compte de la variation morphologique des individus [7].

Qu'en est-il d'une exposition qui se répète sur une période de 6 minutes ?

Prenons le cas d'une soudeuse par perte diélectrique.

L'équation (6) nous donne :

$$V_{\text{exp équivalente à 6 min}} \left(\text{unité}_{\text{rms}} / \text{m} \right)^2 = \frac{D_{\text{exp} \leq 6 \text{ min}} (\text{sec})}{360 \text{ sec}} \times \left[\frac{V_{\text{exp réelle}}}{\left(\text{unité}_{\text{rms}} / \text{m} \right)^2} \right] \quad (6)$$

Calculons la durée d'exposition cumulée durant une période 6 minutes (P_{6m}) :

$$D_{\text{exp } P_{6m}} \text{ (sec)} = \left[\begin{array}{l} \text{nombre d'opérations} \\ \text{effectuées avec la} \\ \text{soudeuses en 6 minutes} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{l} D_{\text{exp}} \\ \text{par opération} \\ \text{(sec)} \end{array} \right]$$

ce qui revient à :

$$D_{\text{exp } P_{6m}} \text{ (sec)} = \left[\frac{360 \text{ sec}}{D_{\text{d'une d'opération}} \text{ (sec)}} \right] \times \left[D_{\text{exp par opération}} \text{ (sec)} \right] \quad (7)$$

Or :

$$D_{\text{d'une opération}} = (D_{\text{exp}} + D_{\text{non-exp}}) \quad (8)$$

et :

$$D_{\text{exp par opération}} = (D_{\text{exp}}) \quad (9)$$

par substitution de (8) et (9) dans (7), on a:

$$D_{\text{exp } P_{6m}} \text{ (sec)} = \frac{360 \text{ sec}}{(D_{\text{exp}} + D_{\text{non-exp}})} \times (D_{\text{exp}}) \quad (10)$$

de l'équation (6), on sait que:

$$V_{\text{exp équivalente à 6 min}} \left(\text{unité}_{\text{rms}} / m \right)^2 = \frac{D_{\text{exp} \leq 6 \text{ min}} (\text{sec})}{360 \text{ sec}} \times \left[\frac{V_{\text{exp réelle}}}{\left(\text{unité}_{\text{rms}} / m \right)^2} \right] \quad (6)$$

par substitution de (10) dans (11), on a que:

$$V_{\text{exp équivalente à 6 min}} \left(\text{unité}_{\text{rms}} / m \right)^2 = \frac{360 \text{ sec}}{\left(D_{\text{exp}} + D_{\text{non-exp}} \right)} \times \left(D_{\text{exp}} \right) \times \left[\frac{V_{\text{exp réelle}}}{\left(\text{unité}_{\text{rms}} / m \right)^2} \right]$$

sachant par définition que :

$$FS = \left[\frac{D_{\text{exp}}}{D_{\text{exp}} + D_{\text{non-exp}}} \right]$$

on obtient :

$$V_{\text{exp équivalente à 6 min}} \left(\text{unité}_{\text{rms}} / m \right)^2 = FS \times \left[\frac{V_{\text{exp réelle}}}{\left(\text{unité}_{\text{rms}} / m \right)^2} \right]$$

Comme les durées d'exposition et de non-exposition peuvent varier d'une opération à une autre, il est préférable d'utiliser plutôt le terme de Facteur de Service Moyen (FSM) au lieu du FS, ce qui nous donne la formule suivante:

$$V_{\text{exp}}^{\text{équivalente à 6 min}} \left(\text{unité}_{\text{rms}} / m \right)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{D_{i \text{ exp}}}{D_{i \text{ exp}} + D_{i \text{ non-exp}}} \right] \times \left[\frac{V_{\text{exp}}^{\text{réelle}}}{\left(\text{unité}_{\text{rms}} / m \right)^2} \right]$$

n est un nombre suffisamment grand pour que le FSM soit représentatif du fonctionnement de la machine pendant 6 minutes.

où :

$$FSM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{D_{i \text{ exp}}}{D_{i \text{ exp}} + D_{i \text{ non-exp}}} \right]$$

Ainsi:

$$V_{\text{exp}}^{\text{équivalente à 6 min}} \left(\text{unité}_{\text{rms}} / m \right)^2 = FSM \times \left[\frac{V_{\text{exp}}^{\text{réelle}}}{\left(\text{unité}_{\text{rms}} / m \right)^2} \right]$$

Compte tenu qu'une sonde de mesure possède un Facteur de Correction et de la note de la page 97, nous en arrivons à la forme donnée dans le texte :

$$C = FSM \times B$$

où : C : Valeur d'exposition corrigée pour le facteur de la sonde, la moyenne spatiale et pour une exposition équivalente de 6 minutes exprimé en V_{rms}^2 / m^2 ou en A_{rms}^2 / m^2 .

FSM : Facteur de Service Moyen de la machine

B : Valeur d'exposition corrigée pour le facteur de la sonde et la moyenne spatiale exprimé en V_{rms}^2 / m^2 ou en A_{rms}^2 / m^2 .



ANNEXE 9

**Calculs détaillés pour obtenir la formule de la durée
d'exposition actuelle durant une période de 6 minutes**

**Calculs détaillés pour obtenir la formule de la durée
d'exposition actuelle durant une période de 6 minutes**

Sachant que :

$$D_{\text{exp } P_{6 \text{ min}}} (\text{sec}) = \left[\begin{array}{l} \text{Nombre} \\ \text{d'opérations} \\ \text{en 6 minutes} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{l} D_{\text{exp}} \\ \text{d'une} \\ \text{opération} \\ (\text{sec}) \end{array} \right] \quad (1)$$

or :

$$\frac{\text{Nombre d'opérations}}{\text{en 6 minutes}} = \frac{360 \text{ sec.}}{\text{durée d'une opération en sec.}}$$

soit:

$$\frac{\text{Nombre d'opérations}}{\text{en 6 minutes}} = \frac{360 \text{ sec.}}{(D_{\text{exp}} + D_{\text{non-exp}})} \quad (2)$$

et sachant que :

$$\frac{\text{Durée d'exposition}}{\text{d'une opération}} = D_{\text{exp}} \quad (3)$$

par substitution de (2) et (3) dans (1) on a que :

$$D_{\text{exp } P_{6 \text{ min}}} = \left[\frac{360 \text{ secondes}}{(D_{\text{exp}} + D_{\text{non-exp}})} \right] \times [(D_{\text{exp}})]$$

$$D_{\text{exp } P_{6\text{min}}} = 360 \text{ sec} \times \frac{(D_{\text{exp}})}{(D_{\text{exp}} + D_{\text{non-exp}})}$$

$$D_{\text{exp } P_{6\text{min}}} = 360 \text{ sec} \times \left[\frac{D_{\text{exp}}}{D_{\text{exp}} + D_{\text{non-exp}}} \right]$$

Sachant que :

$$FS = \left[\frac{D_{\text{exp}}}{D_{\text{exp}} + D_{\text{non-exp}}} \right]$$

On a:

$$D_{\text{exp } P_{6\text{min}}} = 360 \text{ sec} \times FS$$

Comme les durées d'exposition et de non-exposition peuvent varier d'une opération à une autre, il est préférable d'utiliser le terme de FSM au lieu du FS, ce qui nous donne :

$$D_{\text{exp } P_{6\text{min}}} = 360 \text{ sec} \times FSM$$

car

$$FSM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{D_{i \text{ exp}}}{D_{i \text{ exp}} + D_{i \text{ non-exp}}} \right]$$

n est un nombre suffisamment grand pour que le FSM soit représentatif du fonctionnement de la machine pendant une période de 6 minutes.



ANNEXE 10

Article 51 de la loi sur la santé et la sécurité du travail au Québec

L.R.Q., chapitre S-2.1/révisé le 4 juin 1991

Obligations de l'employeur

L'employeur doit prendre les mesures nécessaires pour protéger la santé et assurer la sécurité et l'intégrité physique du travailleur. Il doit notamment :

- 1° s'assurer que les établissements sur lesquels il a autorité sont équipés et aménagés de façon à assurer la protection du travailleur;
- 2° désigner des membres de son personnel chargés des questions de santé et de sécurité et en afficher les noms dans des endroits visibles et facilement accessibles au travailleur;
- 3° s'assurer que l'organisation du travail et les méthodes et techniques utilisées pour l'accomplir sont sécuritaires et ne portent pas atteinte à la santé du travailleur;
- 4° contrôler la tenue des lieux de travail, fournir des installations sanitaires, l'eau potable, un éclairage, une aération et un chauffage convenable et faire en sorte que les repas pris sur les lieux de travail soient consommés dans des conditions hygiéniques;
- 5° utiliser les méthodes et techniques visant à identifier, contrôler et éliminer les risques pouvant affecter la santé et la sécurité du travailleur;
- 6° prendre les mesures de sécurité contre l'incendie prescrites par règlement;
- 7° fournir un matériel sécuritaire et assurer son maintien en bon état;
- 8° s'assurer que l'émission d'un contaminant ou l'utilisation d'une matière dangereuse ne porte atteinte à la santé ou à la sécurité de quiconque sur un lieu de travail;

- 9° informer adéquatement le travailleur sur les risques reliés à son travail et lui assurer la formation, l'entraînement et la supervision appropriés afin de faire en sorte que le travailleur ait l'habileté et les connaissances requises pour accomplir de façon sécuritaire le travail qui lui est confié;
- 10° afficher, dans des endroits visibles et facilement accessibles aux travailleurs, les informations qui leur sont transmises par la Commission, le département de santé communautaire et le médecin responsable, et mettre ces informations à la disposition des travailleurs, du comité de santé et de sécurité et de l'association accréditée;
- 11° fournir gratuitement au travailleur tous les moyens et équipements de protection individuels choisis par le comité de santé et de sécurité conformément au paragraphe 4° de l'article 78 ou, le cas échéant, les moyens et équipements de protection individuels ou collectifs déterminés par règlement et s'assurer que le travailleur, à l'occasion de son travail, utilise ces moyens et équipements;
- 12° permettre aux travailleurs de se soumettre aux examens de santé en cours d'emploi exigés pour l'application de la présente loi et des règlements;
- 13° communiquer aux travailleurs, au comité de santé et de sécurité, à l'association accréditée, au chef du département de santé communautaire et à la Commission, la liste des matières dangereuses utilisées dans l'établissement et des contaminants qui peuvent y être émis;
- 14° collaborer avec le comité de santé et de sécurité ou, le cas échéant, avec le comité de chantier ainsi qu'avec toute personne chargée de l'application de la présente loi et des règlements et leur fournir tous les renseignements nécessaires;
- 15° mettre à la disposition du comité de santé et de sécurité les équipements, les locaux et le personnel clérical nécessaires à l'accomplissement de leurs fonctions.

ANNEXE 11

Mesures d'expositions

À titre de référence nous présenterons ici les synthèses de mesures effectuées par des chercheurs. Les niveaux d'exposition trouvés lors des diverses études varient considérablement.

Conover et al [25] ont mesuré des champs électriques variant de 20 à 1000 V/m et des champs magnétiques de 0,02 à 13,8 A/m. Cox, Murray et Foley [26] ont effectué des mesures auprès de 82 opérateurs de presses. Les résultats varient de 0,001 V/m à 1492 V/m pour le champ électrique, avec une moyenne de 200 V/m, et de 0,001 A/m à 6,52 A/m avec une moyenne de 0,094 A/m pour le champ magnétique.

En Australie, une évaluation des expositions aux radiofréquences a été réalisée par K.H. Joyner et M.J. Bangay [27]. Voici un tableau sommaire des résultats obtenus (Tableau 1):

TABLEAU 1: Résultats de mesures réalisées en Australie

Type de soudeuses	Champ électrique (V/m)			Champ magnétique (A/m)			Région d'exposition maximale
	Min.	Moyen	Max.	Min.	Moyen	Max.	
Machine à coudre	22,4	532	1730	0,052	0,784	3,16	cuisse, mollets
Plateau amovible	22,4	368	1000	0,052	1,02	3,16	tête/ poitrine
Table tournante	87,0	373	549	0,23	0,56	0,83	abdomen/ gonades
Applicateur par pression	22,4	27,5	70,0	0,052	0,056	0,103	abdomen/ gonades
Séchoir à colle	*	*	*	0,052	0,186	0,326	abdomen/ gonades

* Valeur de champ électrique non rapportée.

Résultats des mesures effectuées en usine par l'IRSST.

L'étude des niveaux d'exposition des opérateurs de presse par perte diélectrique a été réalisée dans 6 industries de la région de Montréal. Durant cette étude, les mesures ont été prises auprès de 17 opérateurs(trices) affectés à 12 presses de différents modèles. Les résultats de ces mesures se répartissent comme suit (voir tableau 2):

TABLEAU 2: Niveaux d'exposition, non corrigés pour le facteur d'opération, des opérateurs de presse par perte diélectrique

Paramètres	Champs électriques ¹	Champs magnétiques
Endroit de mesure	E max V/m	H max A/m
Yeux	274 ± 154	0.96 ± 0.80
Poitrine	285 ± 156	0.90 ± 0.79
Gonades	177 ± 89	0.90 ± 0.82
Genoux	239 ± 205	0.49 ± 0.25

Attention: Les mesures de ce tableau ont été prises selon l'ancien code de sécurité 6 de Santé et Bien-être social Canada (1979). Les moyennes spatiales n'ont donc pas été effectuées et les mesures de champs électriques ont été effectuées en champ perturbé.

Recommandations 1990 de Santé et Bien-être social Canada [18]

pour machine opérant à 27.12 MHz (travailleurs non isolés d'une mise à la terre)

E max. V/m	H max. A/m
60	0.18

On peut donc constater que les niveaux maximums pour les champs électrique et

¹ Mesures effectuées en champ perturbé, c'est à dire que les opérateurs étaient présents à leur poste lorsque les mesures ont été prises.

magnétique sont supérieurs aux recommandations. Les dangers de surexposition aux radiofréquences sont présents dans la plupart des industries visitées dans la région de Montréal.

Dans l'ensemble, le blindage est inexistant, d'où la nécessité d'appliquer des mesures de contrôle pour réduire les risques associés au travail sur les presses ou sècheuses par perte diélectrique.

De plus, les opérateurs se plaignaient des nombreux chocs qu'ils subissaient sur les boîtiers de contrôle, les tables et supports métalliques.