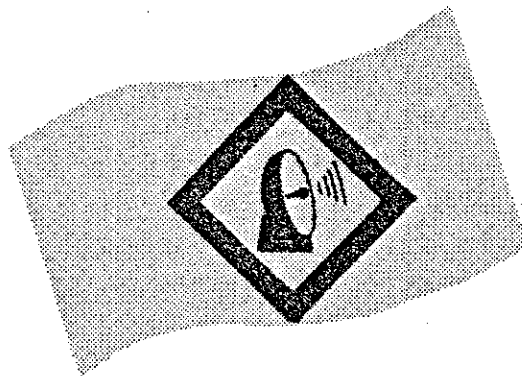


**Guide d'utilisation d'instruments
pour la mesure des champs
électriques et magnétiques
émis par les machines
industrielles chauffant
par perte diélectrique
entre 10 MHz et 40 MHz**



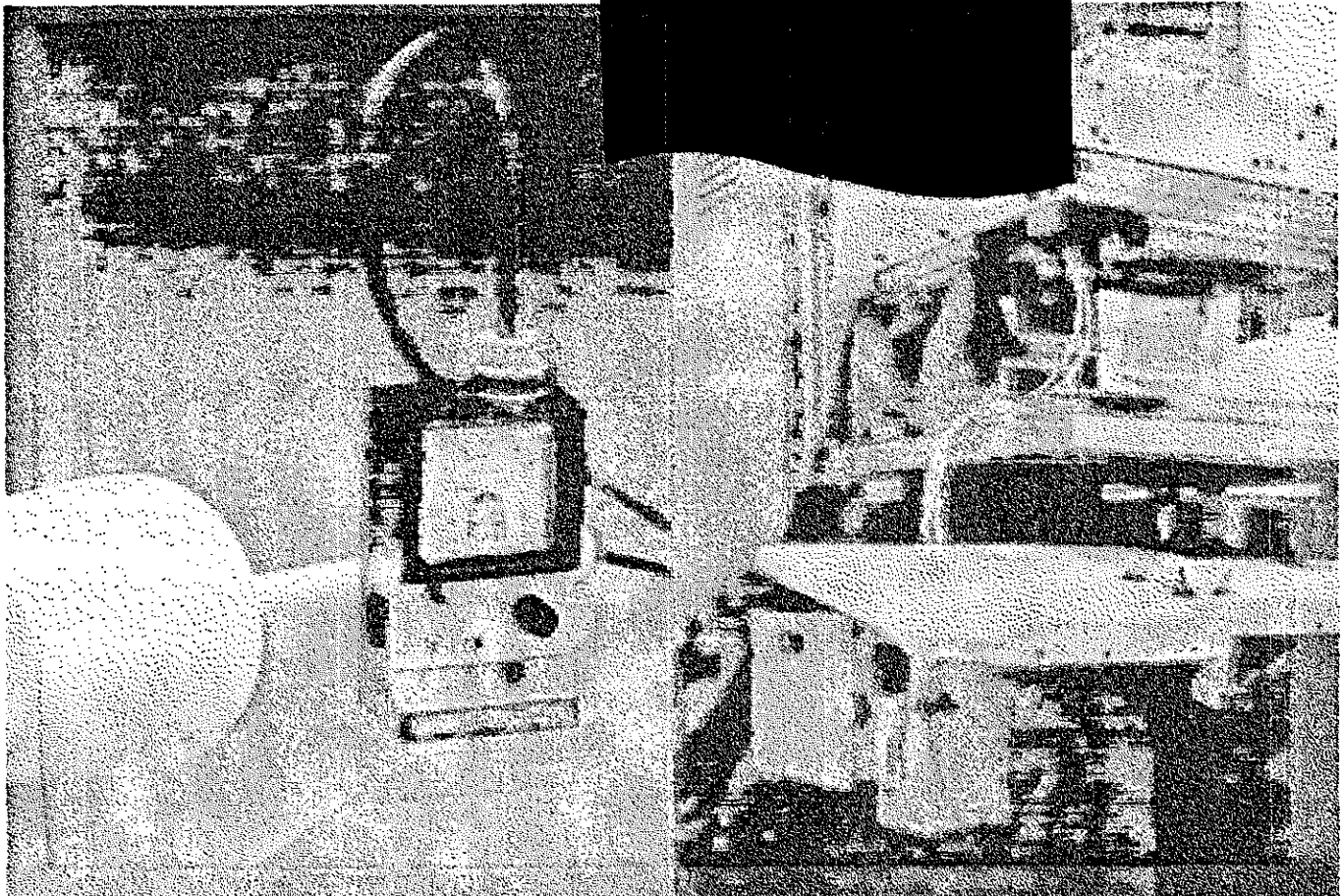
**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Lambert Laliberté

Avril 1998

R-185

RAPPORT



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

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,

**Guide d'utilisation d'instruments
pour la mesure des champs
électriques et magnétiques
émis par les machines
industrielles chauffant
par perte diélectrique
entre 10 MHz et 40 MHz**

Lambert Laliberté
Programme soutien analytique, IRSST

RAPPORT



AVIS AU LECTEUR

Assurez-vous de connaître les effets biologiques que peut entraîner une exposition aux radiofréquences avant d'entreprendre quelque mesure que ce soit. Référez-vous au document de l'IRSST, dans la série bilan de connaissances, rapport B-047 intitulé «Bilan des normes et recommandations d'exposition aux champs électromagnétiques (0 à 300 GHz) et aux rayonnements ultraviolets» pour plus d'information.

Les méthodes de mesure du présent document visent :

- 1) L'estrade ampèremétrique de courant induit modèle 8850 de Narda**
- 2) La sonde ampèremétrique de courant de contact modèle 8870 de Narda**
- 3) Le champmètre électrique et magnétique modèle 8512 de Narda**
- 4) Le compteur de fréquence modèle M1 de Optoelectronics (inclus dans la mallette de transport du champmètre 8512)**

Tous ces instruments sont disponibles dans la banque des instruments de la CSST pour les intervenants du réseaux de la santé.

**TABLE DES MATIÈRES**

	Page
AVIS AU LECTEUR	i
INTRODUCTION	1
I - NOTIONS PRÉLIMINAIRES	2
II - CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE	4
III - SECTEURS INDUSTRIELS QUI UTILISENT LES MACHINES CHAUFFANTES ..	8
IV - FONCTIONNEMENT DES INSTRUMENTS DE MESURE	11
4.1 Estrade ampèremétrique de courant induit modèle 8850 de Narda	11
4.2 Sonde ampèremétrique de courant de contact modèle 8870 de Narda	13
4.3 Champmètre modèle 8512 de Narda	14
4.4 Compteur de fréquence modèle M1 de Optoelectronics	15
V - LIMITES D'EXPOSITION	17
VI - MÉTROLOGIE	22
Aspects généraux	22
6.1 Mesure du courant induit avec l'estrade ampèremétrique	23
6.2 Mesure du courant de contact avec la sonde ampèremétrique	24
6.3 Mesure des champs électrique et magnétique avec le champmètre	25
6.4 Mesure de la fréquence avec le compteur	32
VII - MESURES DE CONTRÔLE	34
VIII - SYMBOLES DE MISE EN GARDE	35
8.1 Conception des symboles de mise en garde approuvés	35
8.2 Démarcation des zones	35
8.3 Symboles pour le marquage des dispositifs	36
IX - BLINDAGE - ASPECTS GÉNÉRAUX	38
X - BIBLIOGRAPHIE	39



LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1 : Un modèle de soudeuse par perte diélectrique	3
Figure 2 : Onde électromagnétique en champ éloigné	4
Figure 3 : Estrade ampèremétrique Narda 8850	12
Figure 4 : Sonde ampèremétrique de courant de contact Narda 8870	13
Figure 5 : Champmètre Narda 8512	14
Figure 6 : Panneau avant du champmètre 8512	15
Figure 7 : Compteur de fréquence M1 de Optoelectronics	15
Figure 8 : Grille de mesure en forme de cadre utilisée pour mesurer des champs électrique et magnétique non uniformes et pour effectuer leur moyenne spatiale	27
Figure 9 : Grille de mesure en forme de baguette utilisée pour mesurer des champs électrique et magnétique non uniformes et pour effectuer leur moyenne spatiale	29

**LISTE DES TABLEAUX**

	Page
Tableau 1 : Recommandations 1991 de santé et bien-être social canada pour une exposition aux radiofréquences	17
Tableau 2 : Limites des courants de contact pour un doigt selon Santé et bien-être social Canada	18
Tableau 3 : Recommandations de ANSI C95.1-1992 et de l'ACGIH 1997 pour une exposition aux radiofréquences	19
Tableau 4 : Recommandations de densité de puissance équivalente pour utiliser avec le Narda 8512 basées sur le code de sécurité 6 (1991) de Santé et bien-être social Canada pour les champs électrique et magnétique	20
Tableau 5 : Recommandations de densité de puissance équivalente pour utiliser avec le Narda 8512 basées sur ANSI (1992)/ACGIH (1997) pour les champs électrique et magnétique	21
Tableau 6 : Limites de courant induit selon ANSI C95.1 - 1992 et ACGIH 1997	21
Tableau 7 : Limites de courant de contact pour la paume de la main selon ANSI C95.1 - 1992 et ACGIH 1997	21

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Exemple du calcul de l'exposition corrigée et de la durée d'exposition permise .	40
Annexe 2	Aide-mémoire pour la prise de mesure	49



INTRODUCTION

Ce guide s'adresse aux hygiénistes et inspecteurs du réseau de la santé du Québec. Les méthodes d'utilisation du présent document visent les instruments de mesure de la banque de la CSST⁽¹⁾ et principalement le champmètre 8712 de Narda. Des explications additionnelles sont fournies pour l'estrader ampèremétrique de courant induit, le Narda 8850, la sonde de courant de contact, le Narda 8870 et le compteur de fréquence modèle Micro Counter de Optoelectronics. L'utilisation des trois premiers instruments permet à l'utilisateur de mesurer les densités de puissance des champs électrique et magnétique de même que les courants de corps induits et de contact, paramètres essentiels pour bien appliquer les recommandations de l'ACGIH⁽²⁾.

Le présent document ne traite pas des effets biologiques entraînés par une exposition aux champs électriques et magnétiques car il s'agit d'un domaine trop vaste pour être incorporé au présent document. Le lecteur consultera le bilan de connaissances de l'IRSST B-047 intitulé «Bilan des normes et recommandations d'exposition aux champs électromagnétiques (0 à 300 GHz) et au rayonnement ultraviolet» pour en connaître davantage sur les effets biologiques spécifiques associés aux champs électromagnétiques.

La section I introduit les machines par perte diélectrique. Le lecteur trouvera dans la section II des notions de physique sur les champs électromagnétiques. Les différents secteurs de l'industrie faisant appel aux machines chauffant par perte diélectrique se trouvent à la section III. Le fonctionnement des quatre instruments, utilisés pour la réalisation d'une expertise, est expliqué à la section IV. La section V décrit les limites d'exposition aux champs électromagnétiques, courants induits et courants de contact de Santé et Bien-être social Canada de même que celles de l'ANSI/ACGIH. La métrologie des courants et des champs est détaillée à la section VI. Les sections VII, VIII et IX traitent des mesures de contrôle, des symboles de mise en garde et du blindage des radiofréquences.

⁽¹⁾ CSST : Commission de la santé et de la sécurité du Travail du Québec

⁽²⁾ ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists



I - NOTIONS PRÉLIMINAIRES

Fonctionnement des machines industrielles utilisant les radiofréquences.

Les machines industrielles chauffantes 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 mises sous tension radiofréquence et celles chauffant par effet d'induction, dans un matériau conducteur, sous l'action du champ magnétique dominant généré par un courant radiofréquence circulant dans une ou des spires. **Le présent guide ne vise que les machines fonctionnant par perte diélectrique.**

Principe de fonctionnement des machines chauffant par perte diélectrique

Les machines chauffantes par perte diélectrique font appel à des électrodes électrisées qui ont l'aspect de deux plaques parallèles entre lesquelles se développe un champ électrique à haute fréquence.

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.

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.

La vaste majorité des machines faisant appel au principe de chauffage par perte diélectrique sont des soudeuses de matériaux à base de polymères. Les autres 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.

Dans le cas des soudeuses (Figure 1), 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 et également à la borne de retour du générateur haute fréquence. 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. En cas de contact accidentel avec cette électrode, la tension haute fréquence circulerait seulement à la surface de la peau et ne pourrait ainsi électrocuter une personne mais chaufferait ou brûlerait les tissus traversés par le courant r.f.



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.

Quant aux sècheuses, les matériaux à traiter circulent généralement en continu, sur un convoyeur placé entre un ensemble d'électrodes fixes, entre lesquelles se développe le champ électrique.

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. La plupart opèrent aux fréquences ISM (Industrielles, Scientifiques, Médicales) 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.

Beaucoup de machines opèrent légèrement en dehors de leurs fréquences allouées. Industrie Canada gère les plaintes dans ce domaine.

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

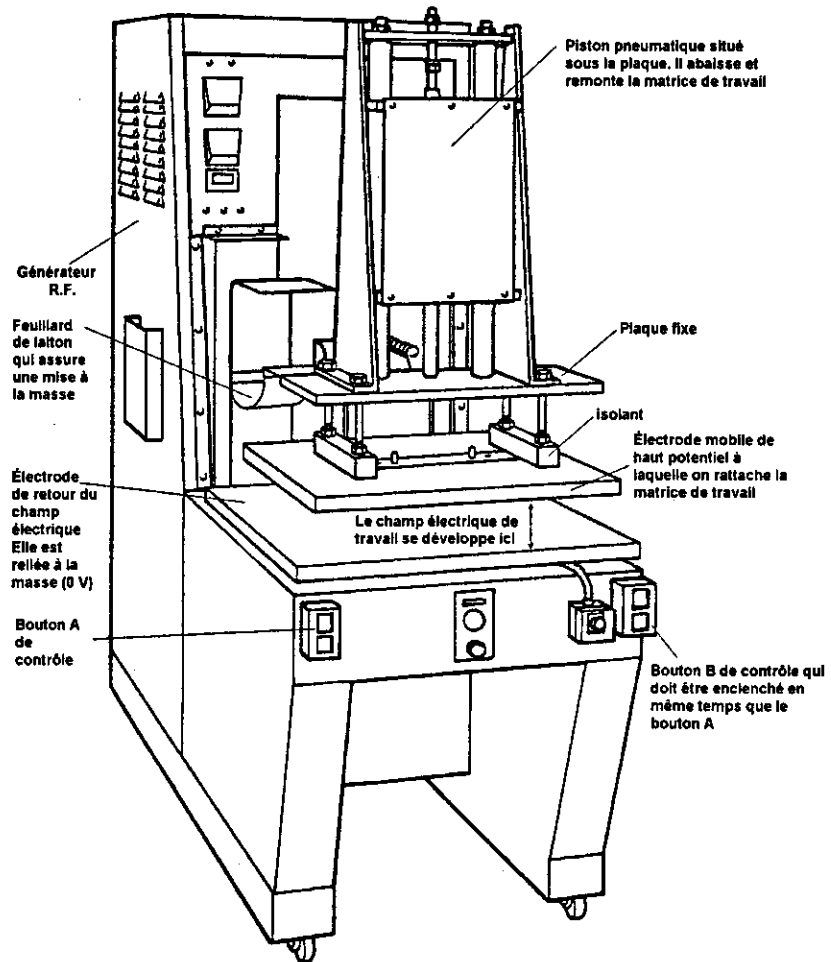


Figure 1 : Un modèle de soudeuse par perte diélectrique



II - CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Un champ électromagnétique est produit par une ou des charges électriques en mouvement et comprend un champ électrique (E) jumelé à un champ magnétique (H). 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. Notez que dans la figure 2, les deux champs varient d'intensité au même moment t_0 à t_{12} et que la composante électrique de l'onde est perpendiculaire à la composante horizontale. Ces deux caractéristiques ne se retrouvent à coup sûr qu'en champ éloigné, c'est-à-dire qu'après que l'onde ait voyagé environ 1,6 longueurs d'onde ($1,6\lambda$) de la source⁽¹⁾.

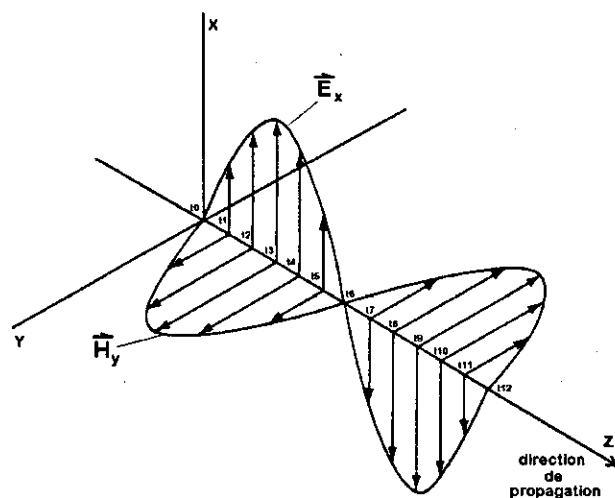


Figure 2 : Onde électromagnétique en champ éloigné

Les deux champs qui composent l'onde ont initialement des valeurs qui sont fixées par le courant et le voltage à l'antenne, lesquels dépendent de la conception de base du générateur de radiofréquence. L'antenne pouvant être ici de n'importe quelle nature : aussi bien une matrice métallique vis-à-vis une table de travail pour souder deux pièces de vinyle que 2 plaques de métal entre lesquelles on fait sécher des biscuits. Ainsi, lorsque des mesures sont faites à l'intérieur d'environ 1,6 longueurs d'onde (λ), un des champs domine par son intensité. Mais au fur et à mesure que le champ électromagnétique se propage dans l'air ou le vide, un équilibre entre les intensités des deux champs s'établit et prend un rapport de 377 ohms (si l'onde se propageait dans un autre

⁽¹⁾ La source doit être plus petite que la longueur d'onde émise



médium, son impédance prendrait une autre valeur, propre à ce médium). En effet, le rapport entre un champ électrique, exprimé en V/m et un champ magnétique, exprimé en A/m, donne des ohms, soit des unités d'impédance.

$$Z_{\text{onde}} = \frac{E}{H} = \frac{V/m}{A/m} = \frac{V}{A} = \text{ohms}$$

L'onde électromagnétique quitte sa source avec une impédance quelconque en champ proche mais s'ajuste graduellement à 377 ohms après avoir voyagé environ $1,6 \lambda$. En hygiène du travail, la vaste majorité des champs sont mesurés à l'intérieur d'une distance de $1,6 \lambda$ et c'est pourquoi vous trouverez souvent des situations à champs électrique ou magnétique dominants, par rapport à la situation qui existe en champ éloigné. Cette situation nous oblige à mesurer chacun des champs individuellement puisque chacun d'eux peut prendre des valeurs fort disproportionnées par rapport à la situation qui existe en champ éloigné où la connaissance d'un seul champ suffit à connaître le second puisque le rapport entre les deux est toujours 377 ohms.

De plus, en champ proche, le champ électrique et le champ magnétique ne sont pas nécessairement en phase alors qu'en champ éloigné, ils le sont. Lorsque les champs électrique et magnétique sont en phase, ils sont en mesure de livrer leur énergie de plein fouet ⁽¹⁾. Exactement comme une flèche dont la pointe n'est pas recourbée mais bien droite. La pointe est en phase avec la tige. Le transfert d'énergie est optimal. En champ proche, la flèche a une pointe recourbée à un angle quelconque. Le transfert d'énergie n'est pas optimal. La flèche ne livre pas toute son énergie, elle rebondit sur la cible. Le champ électrique n'agit pas de concert avec le champ magnétique. Chacun des champs agit sur la cible mais partiellement et séparément. Ils doivent donc faire l'objet d'une évaluation indépendante.

En champ proche, une autre complication se produit. Une personne placée près d'une source, ne voit qu'une partie de son corps exposée à l'onde. Exactement comme le faisceau d'une lampe de poche qui n'éclaire qu'une partie d'un objet, lorsque celui-ci la côtoie. Éloignez l'objet, l'intensité diminue mais la surface exposée augmente. Pour connaître l'exposition totale du corps, il est nécessaire de mesurer l'intensité du champ à plusieurs endroits à sa surface, puis de faire la moyenne de ces valeurs. La même opération est refaite avec le champ complémentaire.

Les champs électromagnétiques se caractérisent par :

⁽¹⁾ D'autres paramètres interviennent dans le transfert d'énergie d'une onde à un matériau : l'impédance de l'onde par rapport à l'impédance du matériau, la polarisation de l'onde en rapport avec les dimensions du matériau et son homogénéité, la longueur d'onde par rapport aux dimensions du matériau et à sa forme et la présence d'objets réfléchissants tout près du matériau.



1. - Deux zones qui existent autour d'une source électromagnétique : en deçà et au-delà d'une distance de $1,6 \lambda$ ⁽¹⁾

- A) Lorsque l'opérateur d'une machine se situe en deçà de $1,6 \lambda$ (par exemple 17,6 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 et de plus :

Le champ dominant ⁽²⁾ s'atténue selon l'inverse du cube de la distance ($1/r^3$) alors que son champ complémentaire s'atténue selon l'inverse du carré de la distance ($1/r^2$)

Le champ électrique, représenté par le vecteur E, n'est pas nécessairement perpendiculaire au champ magnétique, représenté par le vecteur H

Le champ électrique n'est pas nécessairement en phase avec le champ magnétique

Le rapport de l'intensité du champ électrique à l'intensité du champ magnétique n'est pas constant dans cette zone

La puissance individuelle des champs électrique et magnétique s'exprime respectivement par les unités V_{rms}^2 / m^2 et A_{rms}^2 / m^2 . Elle peut également s'exprimer en densité de puissance **équivalente** en mW/cm² ou W/m². Le terme densité de puissance équivalente sert à exprimer la puissance individuelle d'un champ normalement exprimé en V_{rms}^2 / m^2 ou en A_{rms}^2 / m^2 en mW/cm² même si le rapport entre les 2 champs n'a pas encore atteint 377 ohms. Les formules suivantes nous permettent de transformer la valeur de la puissance du champ électrique obtenue en champ proche en densité de

⁽¹⁾ a) La source doit être plus petite que la longueur d'onde émise. b) 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 $10 (\lambda / 2\pi)$. 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.

Références : Gardiol, Fred. Traité d'électricité. Volume III - Électromagnétisme. Presses polytechniques romandes, CH-1015 Lausanne. 1989. p 149

⁽²⁾ C'est le champ électrique qui est dominant dans le cas des soudeuses et sècheuses par perte diélectrique



puissance équivalente en utilisant le facteur de 377 ohms (parfois $\times 10$ ou $\div 10$ pour la conversion en mW/cm^2 au lieu de W/m^2) qui est l'impédance de l'onde en champ éloigné.

$$P_{\text{équi}} (\text{mW}/\text{cm}^2) = \frac{E^2 (\text{V}^2/\text{m}^2)}{377 \Omega}$$

$$P_{\text{équi}} (\text{mW}/\text{cm}^2) = H^2 (\text{A}^2/\text{m}^2) \times 37,7 \Omega$$

N.B. En hygiène industrielle, 99% des mesures sont effectuées en champ proche. La mesure des hyperfréquences autour d'un four micro-onde tombe dans le 1% des mesures faites en champ éloigné.

- B) Lorsque l'opérateur d'une machine se situe au-delà de $1,6 \lambda$, il est dans un espace appelé *champ éloigné*. Dans cette zone, l'intensité des champs électrique et magnétique varie lentement en fonction de l'éloignement de la source et de plus :

Les champs électrique et magnétique s'atténuent selon l'inverse de la distance ($1/r$)

Le champ électrique, représenté par le vecteur E, est perpendiculaire au champ magnétique, représenté par le vecteur H

Le champ électrique est en phase avec le champ magnétique

Le rapport entre les intensités du champ électrique et du champ magnétique est constant dans cette zone

La puissance de l'onde électromagnétique s'exprime en mW/cm^2 ou W/m^2 .

- 2.- La fréquence d'oscillation (f en Hertz) des champs électromagnétiques, reliée à la longueur d'onde (λ en mètre) dans l'air par la relation :

$$\lambda = c / f$$

où : c = vitesse de la lumière dans l'air (3×10^8 m/s)



III - SECTEURS INDUSTRIELS QUI UTILISENT LES MACHINES CHAUFFANTES

INDUSTRIE 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

INDUSTRIE 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 d'entailles des panneaux de particules ou de contre-plaqué
- Laminage de skis
- Collage de placages

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

INDUSTRIE 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



INDUSTRIE DU SCELLAGE À LA CHALEUR ASSIGNÉE 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
Abat-jour	Parapluies
Contenants à liquides	Porte-monnaie
Valises	Contenants imperméables
Housses à machines	Recouvrements des boîtes d'extrémité
Housses à matelas	Pèlerines
	Couvertures de livres



INDUSTRIE 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

INDUSTRIE DU TEXTILE

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

INDUSTRIE ALIMENTAIRE

- Cuisson en continu des biscuits
- Cuisson en continu des pâtes alimentaires



IV - FONCTIONNEMENT DES INSTRUMENTS DE MESURE

4.1 Estrade ampèremétrique de courant induit modèle 8850 de Narda

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 l'estrade ampèremétrique. 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 cm² alors que la section totale des tissus conducteurs et non-conducteurs de la cheville est de 45 cm². 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 C95.1-991]. Les recommandations actuelles (ANSI, IRPA) demandent que ce courant soit moyenné sur 1 seconde.

L'estrade ampèremétrique de courant induit permet de mesurer le courant induit de 0 à 1 000 mA dans une personne placée dans une zone irradiée par un fort champ électromagnétique situé entre 3 kHz et 110 MHz. Le courant peut aussi être lu en pourcentage de la recommandation ANSI C95.1 1992.

Si l'opérateur est normalement debout pour travailler, la mesure doit être prise avec la personne debout sur l'estrade. Chaque pied doit être placé de part et d'autre de l'indicateur de l'instrument. Si l'opérateur est normalement assis, la mesure doit être faite avec l'estrade placée sous ses pieds. Mais dans ce dernier cas, une partie du courant induit dans le corps de l'opérateur s'écoulera par son



fessier, à travers la chaise et les pattes de la chaise, puis dans la terre. La mesure de courant est donc passablement sous-estimée. On peut remédier à ce problème en utilisant une chaise en plastique. N.B. Le bois conduit les radiofréquences, par conséquent n'utilisez pas une chaise en bois. Une autre solution consiste à mesurer le courant dans chaque patte de la chaise en plaçant l'estrade tour à tour sous chaque patte de la chaise et en faisant la somme de tous les courants passant par les pieds de l'opérateur et les pattes de la chaise.

La description de l'instrument suit. Référez-vous à la figure 3 pour la numérotation des items.

- 1 - Estrade formée de deux plaques d'acier inoxydable séparées d'un isolant en Lexan. Une résistance lie les deux plaques et la tension développée à ses bornes permet d'en déduire le courant.
- 2 - Poignée de transport.
- 3 - Sortie pour enregistreur. Non requis pour un usage normal.
- 4 - Entrée pour chargeur de batterie
- 5 - Affichage à cristaux liquides.
- 6 - Commutateur pour allumer l'instrument et pour choisir les échelles de courant et pourcentage de la norme. En pourcentage, l'affichage peut lire jusqu'à 199%.
- 7 - Max Hold/ Normal : Retenue maximale pour conserver la valeur maximale du courant et Normal pour lire le courant instantané pondéré sur 1 seconde en accord avec la norme.
- 8 - Emplacement de la batterie.
- 9 - Panneau d'accès à la batterie.
- 10 - Ajustement du zéro électrique pour chaque échelle.

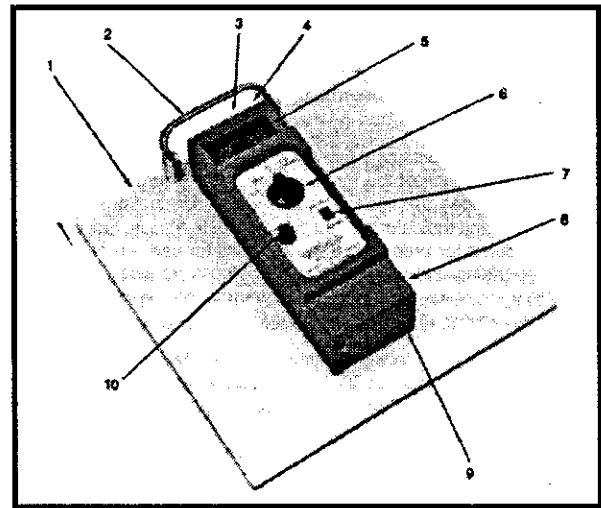


Figure 3 : Estrade ampèremétrique Narda 8850

4.2 Sonde ampèremétrique de courant de contact modèle 8870 de Narda

Les courants de contact passant par les mains et les poignets sont similaires à ceux passant par les chevilles pour leur faible densité de tissus conducteurs. Le courant devra être limité dans chaque poignet à 100 mA [ANSI C95.1-1991].

La sonde ampèremétrique de courant de contact permet de mesurer le courant qui circule dans le corps d'une personne en contact avec un objet métallique électrisé par un champ électromagnétique. Les courants mesurés peuvent varier de 0 à 1 000 mA et les fréquences d'émission doivent être situées dans la plage de 3 kHz à 30 MHz. Le courant peut aussi être mesuré en pourcentage de la recommandation ANSI C95.1 1992.

La description de l'instrument suit. Référez-vous à la figure 4 pour la numérotation des items.

- 1 - Sonde ampèremétrique de courant de contact.
- 2 - Interrupteur de sonde. Permet d'obtenir la lecture maximale d'une mesure de courant durant le temps qu'il est engagé. Pour ce faire, le commutateur d'échelle (11) doit être en position 20 mA ou 200 mA. Lorsque le commutateur d'échelle est en position 1 000 mA, ce commutateur permet d'obtenir une mesure instantanée du courant. Il est alors important d'attendre 12 secondes de temps de refroidissement de la résistance de mesure avant d'entreprendre une seconde lecture sans quoi une erreur serait introduite dans l'affichage. Un indicateur de temps (9) s'allume le temps du refroidissement.

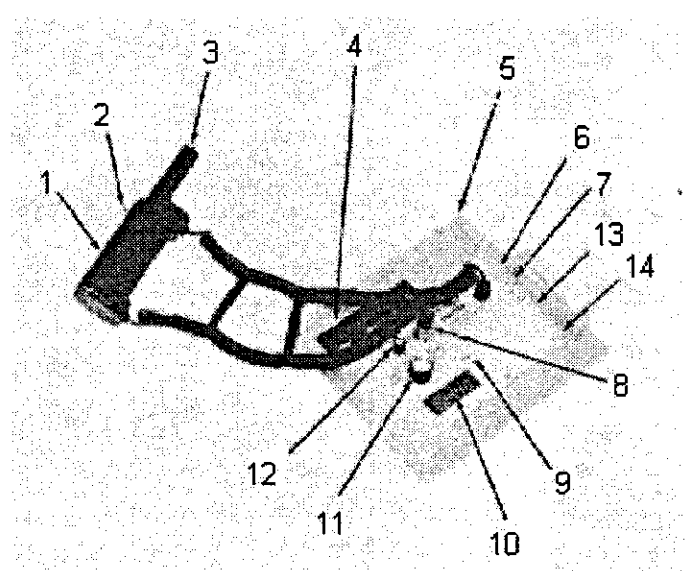


Figure 4: Sonde ampèremétrique de courant de contact Narda 8870

- 3 - Pointe de contact.
- 4 - Ruban de Velcro^{MD} pour retenir la sonde à la base (5) quand elle n'est pas utilisée.
- 5 - Base devant être placée à terre.
- 6 - Entrée pour chargeur de batterie.



- 7 - Interrupteur de mise en marche.
- 8 - Fiche pour la sonde.
- 9 - Indicateur de temps d'attente pour des mesures à l'échelle de 1 000 mA.
- 10 - Affichage à cristaux liquides.
- 11 - Commutateur d'échelle de 20 mA, 200 mA et 1 000 mA.
- 12 - Ajustement du zéro électrique pour les différentes échelles.
- 13 - Emplacement de la batterie.
- 14 - Panneau d'accès à la batterie.

4.3 Champmètre modèle 8512 de Narda

Le champmètre 8512 de Narda (figure 5) est un instrument portatif à lecture directe capable d'évaluer la puissance émise par les soudeuses industrielles, fours, appareils de chauffage et sècheuses utilisant des fréquences comprises entre 10 et 40 MHz. L'instrument peut mesurer les champs électrique et magnétique avec la même sonde.

La source d'alimentation est une pile de 9 volts pouvant fournir suffisamment d'énergie pour une période de 150 heures.

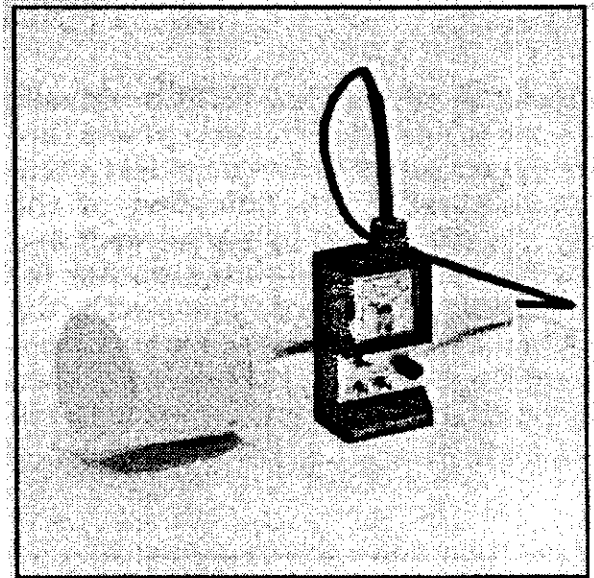


Figure 5 : Champmètre Narda 8512



Son panneau avant comprend 5 items, référez-vous à la figure 6 :

- 1 - Galvanomètre indiquant le niveau de champ émis en mW/cm^2 tel que mesuré par la sonde.
- 2 - Contrôle du zéro pour ajuster électriquement l'aiguille du galvanomètre.
- 3 - Interrupteur de mise en marche permettant aussi de vérifier les batteries lorsqu'il est pivoté vers la gauche (position Bat. Test).
- 4 - Sélecteur d'échelle pour choisir une échelle de 5 ou $50 mW/cm^2$.
- 5 - Sélecteur de champ pour brancher soit la sonde triaxiale électrique ou magnétique.

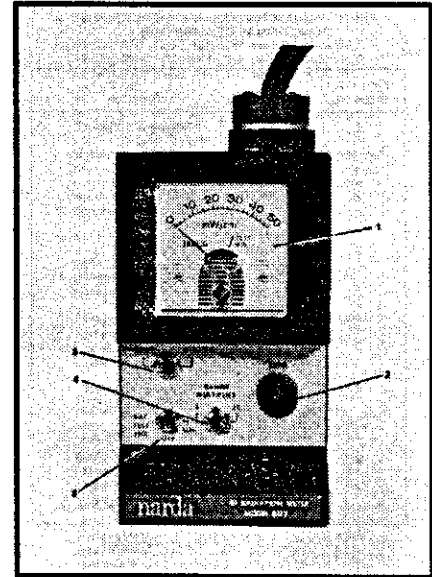


Figure 6 : Panneau avant du champmètre 8512

4.4 Compteur de fréquence modèle M1 de Optoelectronics

Les recommandations variant avec la fréquence, il est important de connaître à quelle fréquence opèrent les machines afin d'appliquer les bonnes recommandations. La plupart des machines ont des plaques signalétiques qui indiquent la fréquence d'opération mais il arrive que cette fréquence change avec le temps. Le compteur de Optoelectronics (figure 7) vous permet de connaître ou vérifier la fréquence d'émission des machines. Ce compteur est placé dans la valise du champmètre 8512.

Si vous respectez la position des interrupteurs décrite ci-bas, vous n'avez qu'à allumer l'instrument, attendre 2 secondes et vous êtes prêt à prendre une mesure de fréquence. Le compteur «gèle» la mesure de fréquence sur l'affichage même après que la source de radiofréquence ait cessé d'émettre. Le compteur peut lire n'importe quelle fréquence située entre 10Hz et 200 MHz ou 10Hz et 2,4 GHz selon l'échelle choisie.

L'autonomie du compteur est de 4 à 5 heures après une charge complète de la batterie NiCd.



Figure 7 : Compteur de fréquence M1 de Optoelectronics



Mode d'opération :

- 1) Installez l'antenne sur le compteur. L'antenne est munie d'une fiche BNC de type «baïonnette». Vous devez aligner les encoches de la fiche avec les oreilles de la prise puis tourner de 90°
- 2) Tous les commutateurs devraient être en position abaissée sauf le commutateur «Filter» qui doit être dans la position «on». Soit :

Pwr à «off»
Amp à «off»
Range à 200 MHz
Filter à «on»
Capture à «off»

- 3) Levez le commutateur «on-off» à la position «pwr on» situé à gauche sur la face avant du compteur
- 4) Attendez 2 secondes
- 5) L'affichage indique 0.00
- 6) Lors d'une émission locale, l'affichage révélera la fréquence de la source

N.B.

- A) Si vous appuyez sur «Gate» le nombre de chiffres significatifs augmente mais l'instrument prend plus de temps pour afficher une lecture. Appuyez autant de fois que cela est nécessaire pour revenir à 0.00
- B) Vous pouvez allumer l'éclairage de l'affichage en appuyant d'abord sur «Gate» et «Arm/Store» simultanément puis en allumant le compteur. L'éclairage s'éteint de lui-même après 10 secondes. Appuyez sur «Arm/Store» pour rallumer l'éclairage.



V - LIMITES D'EXPOSITION

Le tableau 1 présente les limites d'exposition de Santé et Bien-être social Canada aux champs électrique et magnétique entre les fréquences de 10 kHz et 300 GHz.

Tableau 1 : 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)
10 kHz - 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	1
300 MHz - 1,5 GHz	3,46 f ^{0,5}	0,0093 f ^{0,5}	f / 300
1,5 - 300 GHz	140	0,36	5

f = fréquence en MHz

Le tableau 2 présente, à titre de renseignement seulement, les limites d'exposition de Santé et Bien-être social Canada aux courants de contact entre un objet électrisé par un champ électrique et le doigt d'un travailleur pour les fréquences comprises entre 10 kHz et 30 MHz.

Vous n'avez pas le droit d'utiliser la sonde ampèremétrique de courant de contact Narda 8870 pour appliquer les recommandations du code 6 puisque le simulateur d'impédance de corps dans l'instrument a été conçu pour simuler l'impédance entre la paume de la main et les pieds (selon ANSI) et non entre le doigt et les pieds (selon code 6).



**Tableau 2 : Limites des courants de contact pour un doigt selon
Santé et bien-être social Canada**
(données à titre de renseignement seulement,
ne pas utiliser avec la sonde ampèremétrique 8870)

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

f = fréquence en MHz



Le tableau 3 présente les limites d'exposition de ANSI C95.1-1992 et de l'ACGIH 1997 aux champs électrique et magnétique entre les fréquences de 3 kHz et 300 GHz.

Tableau 3 : Recommandations de ANSI C95.1-1992 et de l'ACGIH 1997 pour une exposition aux radiofréquences				
Gamme de fréquences	Densité de puissance équivalente* (mW _{rms} /cm ²)	Champ électrique (V _{rms} /m)	Champ magnétique (A _{rms} /m)	Temps de pondération E ² , H ² ou S (minutes)
3 kHz -100 kHz (ANSI) 30 kHz - 100 kHz (ACGIH)	100 (E) 1 000 000 (H)	614	163	6
100 kHz - 3 MHz	100 (E) 10 000/f ² (H)	614	16,3/f	6
3 MHz - 30 MHz	900/f ² (E) 10 000/f ² (H)	1842/f	16,3/f	6
30 MHz - 100 MHz	1,0 (E) 10 000/f ² (H)	61,4	16,3/f	6
100 MHz - 300 MHz	1	61,4	0,163	6
300 MHz - 3 GHz	f /300			6
3 GHz - 15 GHz	10			6
15 GHz - 300 GHz	10			616 000/f ^{1,2}

f : fréquence en MHz

* : puissance équivalente jusqu'à 100 MHz

E : champ électrique

H : champ magnétique

S : densité de puissance



- N.B. 1) La multiplication des valeurs d'exposition par le FSM de la machine revient à faire une moyenne sur 6 minutes
- 2) La densité de puissance équivalente pour les recommandations s'obtient par les équations suivantes :

$$P_{\text{équi}} \text{ (mW/cm}^2\text{)} = \frac{E^2 \text{ (V}^2\text{/m}^2\text{)}}{3\,770}$$

$$P_{\text{équi}} \text{ (mW/cm}^2\text{)} = H^2 \text{ (A}^2\text{/m}^2\text{)} \times 37,7$$

Les limites d'exposition de Santé et Bien-être social Canada prises au tableau 1 ont été converties en densité de puissance équivalente pour les 3 fréquences les plus souvent rencontrées dans l'industrie en utilisant les équations ci-dessus et vous sont présentées au tableau 4. Les recommandations, à la fréquence la plus commune de 27,12 MHz, sont intensifiées.

Tableau 4 : Recommandations de densité de puissance équivalente ⁽¹⁾ pour utiliser avec le Narda 8512 basées sur le code de sécurité 6 (1991) de Santé et bien-être social Canada pour les champs électrique et magnétique	
Champ électrique	Champ magnétique
0,95 mW/cm ² @ 13,56 MHz	4,92 mW/cm ² @ 13,56 MHz
0,95 mW/cm² @ 27,12 MHz	1,23 mW/cm² @ 27,12 MHz
0,95 mW/cm ² @ 40,68 MHz	10,0 mW/cm ² @ 40,68 MHz

Les limites d'exposition de ANSI (1992)/ACGIH (1997) prises au tableau 3 ont été converties en densité de puissance équivalente pour les 3 fréquences les plus souvent rencontrées dans l'industrie en utilisant les équations de la page précédente et vous sont présentées au tableau 5. Les recommandations, à la fréquence la plus commune de 27,12 MHz, sont intensifiées.

⁽¹⁾ Calculées à partir des 2 équations précédentes et de la valeur du champ électrique et magnétique à une fréquence donnée.



Tableau 5 : Recommandations de densité de puissance équivalente⁽¹⁾ pour utiliser avec le Narda 8512 basées sur ANSI (1992)/ACGIH (1997) pour les champs électrique et magnétique	
Champ électrique	Champ magnétique
4,9 mW/cm ² @ 13,56 MHz	54,4 mW/cm ² @ 13,56 MHz
1,2 mW/cm ² @ 27,12 MHz	13,6 mW/cm ² @ 27,12 MHz
1,0 mW/cm ² @ 40,68 MHz	6,0 mW/cm ² @ 40,68 MHz

Les limites de courant induit selon l'ANSI C95.1 - 1992 et l'ACGIH 1997 vous sont présentées au tableau 6 . Les mesures doivent être prises avec une estrade ampèremétrique et pour une personne qui n'est pas en contact avec un objet métallique et qui a les deux pieds sur l'estrade.

Tableau 6 : Limites de courant induit selon ANSI C95.1 - 1992 et ACGIH 1997
$I_{\text{induit}} (\text{mA}_{\text{rms}}) = 2000 \times \text{fréquence (MHz)} \text{ pour } 3 \text{ kHz} \leq f \leq 100 \text{ kHz}$
$I_{\text{induit}} (\text{mA}_{\text{rms}}) = 200 \text{ mA pour } 100 \text{ kHz} < f \leq 110 \text{ MHz}$

Les limites de courant de contact pour la paume de la main selon l'ANSI C95.1 - 1992 et l'ACGIH 1997 vous sont présentées au tableau 7. Les mesures doivent être prises avec une sonde ampèremétrique de courant de contact simulant l'impédance de corps entre la paume de la main et les pieds.

Tableau 7 : Limites de courant de contact pour la paume de la main selon ANSI C95.1 - 1992 et ACGIH 1997
$I_{\text{contact}} (\text{mA}_{\text{rms}}) = 1000 \times f_{\text{MHz}} \text{ mA pour } 3 \text{ kHz} \leq f \leq 100 \text{ kHz}$
$I_{\text{contact}} (\text{mA}_{\text{rms}}) = 100 \text{ mA pour } 100 \text{ kHz} < f \leq 30 \text{ MHz}$

⁽¹⁾ Calculées à partir de la colonne de densité de puissance équivalente dans la liste générale des recommandations ou à partir des 2 équations précédentes et de la valeur du champ électrique et magnétique à une fréquence donnée.



VI - MÉTROLOGIE

Le lecteur consultera l'annexe 1 pour un exemple de mesure en usine et l'annexe 2, qui est un aide-mémoire de toutes les choses que vous devez noter, mesurer et calculer.

Aspects généraux

Une exposition peut se mesurer (selon l'instrument) ou s'exprimer en unité d'intensité : V/m, A/m ou de puissance : V^2/m^2 , A^2/m^2 ou $mW_{\text{équi}}/cm^2$. C'est à vous de choisir. Mais une fois les unités choisies, vous devez rester consistant et toujours exprimer vos résultats de la même façon. Puisque la moyenne spatiale s'effectue directement avec des unités de puissance et que le FSM ne doit multiplier que des unités de puissance, il est clair que l'utilisation dans le rapport d'unités de puissance facilite les calculs.

Le champmètre 8512 mesure les champs directement en unité de puissance équivalente. Au lieu de convertir toutes les valeurs mesurées en unité d'intensité, il est plus facile d'utiliser directement les valeurs du 8512 et de ne convertir que les valeurs d'intensité des recommandations en valeurs de puissance pour fin de comparaison.

Quant aux courants induits et courants de contact, vous pouvez tout aussi bien les mesurer en % de la recommandation ANSI/ACGIH ou directement en milliampères. Dans ce dernier cas vous devez connaître la fréquence exacte de la machine afin de choisir la valeur pour la recommandation. Alors qu'en les mesurant en % vous laissez les instruments faire le travail car ceux-ci possèdent des circuits pondérés en fréquence. La limite est toujours 100% peu importe la fréquence.

L'évaluation de l'exposition aux radiofréquences autour de machines industrielles chauffant par perte diélectrique doit se faire en mesurant d'abord le courant de corps induit chez les opérateurs. À ce stade, si le courant induit dépasse la recommandation, vous avez suffisamment d'argument pour que des correctifs soient apportés au poste de l'opérateur. Pour compléter les correctifs, la mesure du courant de contact sur le châssis de la machine et les autres objets métalliques environnants doit également être faite.

Si la limite du courant induit n'est pas excédée, vous pouvez alors procéder à la mesure des densités de puissance équivalente des champs électrique et magnétique corrigées par le facteur de correction de sonde et multipliées par le facteur de service moyen de la machine (FSM). Cette dernière opération est équivalente à faire une moyenne de la densité de puissance équivalente sur 6 minutes.

On notera les recommandations à la fréquence nominale d'opération de la machine, soit 13,56 MHz, 27,12 MHz ($13,56 \times 2$) ou 40,68 MHz ($13,56 \times 3$). Ces dernières fréquences s'appellent fréquences ISM (Industrielles, Scientifiques et Médicales). Elles ont été réservées par l'Union Internationale des Télécommunications pour des travaux spécifiques. Une mesure de cette fréquence, à l'aide du



compteur de fréquences, permet de mieux cibler les recommandations qui doivent s'appliquer à la machine. Toutes les soudeuses et les sècheuses utilisent un générateur radiofréquence accordé sur une fréquence ISM. Une machine qui ne fait pas appel au pilotage par cristal au quartz, pour barrer sa fréquence, a souvent tendance à dériver.

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

Les informations suivantes sont utiles dans la rédaction du rapport d'intervention :

- le nom du fabricant de la machine
- le numéro de modèle
- le numéro de série
- l'année de fabrication
- 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 grille (I_g) ou 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)
- la présence ou non de blindage
- la distance inter-électrodes indiquée au cadran si elle est variable.

6.1 Mesure du courant induit avec l'estrade ampèremétrique

L'estrade ampèremétrique 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 **dans le cas d'expositions où les champs électriques dominent** (soudeuses et sècheuses entre autres).



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). Pour compléter les correctifs, la mesure du courant de contact sur le châssis de la machine et les autres objets métalliques environnants doit également être faite. Lors d'une seconde visite, si le courant induit est respecté, vous procédez alors à la mesure des champs. C'est en ce sens que la mesure des champs est secondaire à celle du courant induit.

6.2 Mesure du courant de contact avec la sonde ampèremétrique

Une sonde ampèremétrique de courant de contact, tenue dans la main du préposé aux mesures, pourra déceler les points électrisés sur tout objet métallique avec lequel **la paume de la main** de l'opérateur pourrait entrer en contact et évaluer l'intensité du courant qui y circulerait. Puisque 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 paume de la main et les pieds, a été incorporé à l'instrument de mesure.

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 (2 conducteurs en boudin) 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 environ la même surface que le dessous de deux pieds d'adulte.

Conservez une distance de séparation d'au moins 15 cm entre les câbles et votre corps pour éviter toute erreur de lecture.

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 échauffement pour un contact avec un seul doigt. Malheureusement, la sonde ne simule pas l'impédance entre le doigt et les pieds mais simplement entre la paume de la main et les pieds.



6.3 Mesure des champs électrique et magnétique avec le champmètre

1. - Placez le commutateur d'échelle à 50 mW/cm².
2. - Placez le commutateur «BAT TEST - ON - OFF» en position «BAT TEST». L'aiguille devrait indiquer une valeur supérieure à la marque «TEST MIN» sur le galvanomètre. La vérification de la pile s'effectue plus précisément sur l'échelle de 50 mW/cm². Si l'indication de l'aiguille du galvanomètre est inférieure à la marque «TEST MIN», la pile devrait être changée.
3. - Placez le commutateur de champ à la position qui vous convient.
4. - Placez le commutateur d'échelle à 5 mW/cm².
5. - Placez le commutateur «BAT TEST - ON - OFF» en position «ON».
6. - Ajustez le potentiomètre du zéro pour aligner l'aiguille du cadran à la marque du zéro. N.B. Lors de l'ajustement du zéro, la sonde devrait être placée dans un endroit exempt de champs. L'intérieur de la valise de transport agit comme blindage. Pour ce, éloignez-vous le plus possible de la source et placez la sonde à l'intérieur de la valise, refermez le couvercle et ne laissez d'espace que pour le fil de la sonde. Faites le zéro.
7. - Placez la sonde, tenue à bout de bras, parallèlement à la personne, en tenant le galvanomètre à l'écart. Maintenez un écart d'environ 15 cm entre la surface de la sonde et le travailleur, afin d'éviter un couplage capacitif. Si l'aiguille du galvanomètre s'approche de la pleine échelle, placez le commutateur d'échelle à 50 mW/cm².
8. - Le facteur de correction de la sonde est de 1 à 27,12 MHz. Si vous opérez à une autre fréquence, consultez le côté de l'instrument pour la liste des facteurs de correction. Vous pouvez effectuer une règle de trois pour des valeurs non spécifiées.
9. - Idéalement vous devez mesurer le champ électrique sans la présence de l'opérateur car celui-ci perturbe les lignes de champ électrique puisque le corps humain est conducteur. Ce n'est malheureusement pas toujours possible dans le cas d'une soudeuse, **on mesurera alors à environ 15 cm devant la personne (distance entre la surface de la sonde et le corps de la personne) en prenant soin de le mentionner dans le rapport.** N.B. Pour le champ magnétique la présence ou pas de l'opérateur n'a pas d'importance puisque le champ magnétique n'est pas affecté par le corps humain. On mesurera quand même à la même distance de l'opérateur pour



standardiser la mesure.

10. - Vous devez mesurer la puissance du champ en tâchant d'obtenir entre 9 ou 10 valeurs distribuées également à la position de l'opérateur (celui-ci devrait être absent théoriquement afin de ne pas influencer les lectures de champs électriques, il n'est pas nécessaire de le retirer pour les mesures du champ magnétique) afin de pouvoir calculer la moyenne spatiale d'exposition. Vous devez également rapporter la valeur d'exposition aux yeux et aux gonades.

N.B. L'utilisation d'une des deux grilles de mesure suivantes a pour but d'effectuer une moyenne spatiale des puissances des champs. Vous pouvez interchanger l'une méthode pour l'autre sans pour autant devoir utiliser les recommandations correspondantes. Ce qui importe c'est d'effectuer une moyenne spatiale des mesures et de mentionner la méthode utilisée. La moyenne spatiale est une moyenne mathématique des différentes valeurs de puissances mesurées.

$$P_{\text{moy équi}} = \frac{\sum_{n=1}^9 P_{\text{équi}}}{9}$$

Si vous deviez mesurer des intensités et non une puissance avec un autre champmètre que le 8512, alors il vous faudrait prendre le carré des intensités des champs pour effectuer la moyenne spatiale puis extraire la racine carrée.

Selon la méthode de Santé et Bien-être social : Une grille de mesure ayant la forme d'un cadre remplace l'opérateur (figure 8). Vous devez prendre 9 valeurs au minimum. Conservez une distance d'éloignement du sol d'environ 0,5 m. Théoriquement, la valeur maximale devrait se situer au centre du cadre (point 5). Si l'opérateur est normalement assis pour faire son travail, remplacez-le par le cadre, de sorte qu'il épouse sa forme en vous rappelant que la valeur maximale devrait se situer au centre du cadre. Vous aurez donc des valeurs moyennées verticalement et d'autres valeurs horizontalement. En plus de la moyenne spatiale, rappez les valeurs d'exposition aux yeux et gonades. Toutes ces valeurs devraient être multipliées par le facteur de correction de la sonde et par le FSM de la machine.



Selon la méthode de ANSI C95.1- 1992 : Une grille de mesure ayant la forme d'une baguette de 200 cm de longueur remplace l'opérateur (figure 9). Prenez au minimum 10 valeurs à tous les 20 cm à partir du sol, selon la verticale. Si l'opérateur est assis, la baguette doit se déformer pour épouser sa forme. Vous aurez alors des valeurs à l'horizontale et à la verticale.

$$P_{\text{moy } \acute{e}qui} = \frac{\sum_{n=1}^{10} P_{\acute{e}qui}}{10}$$

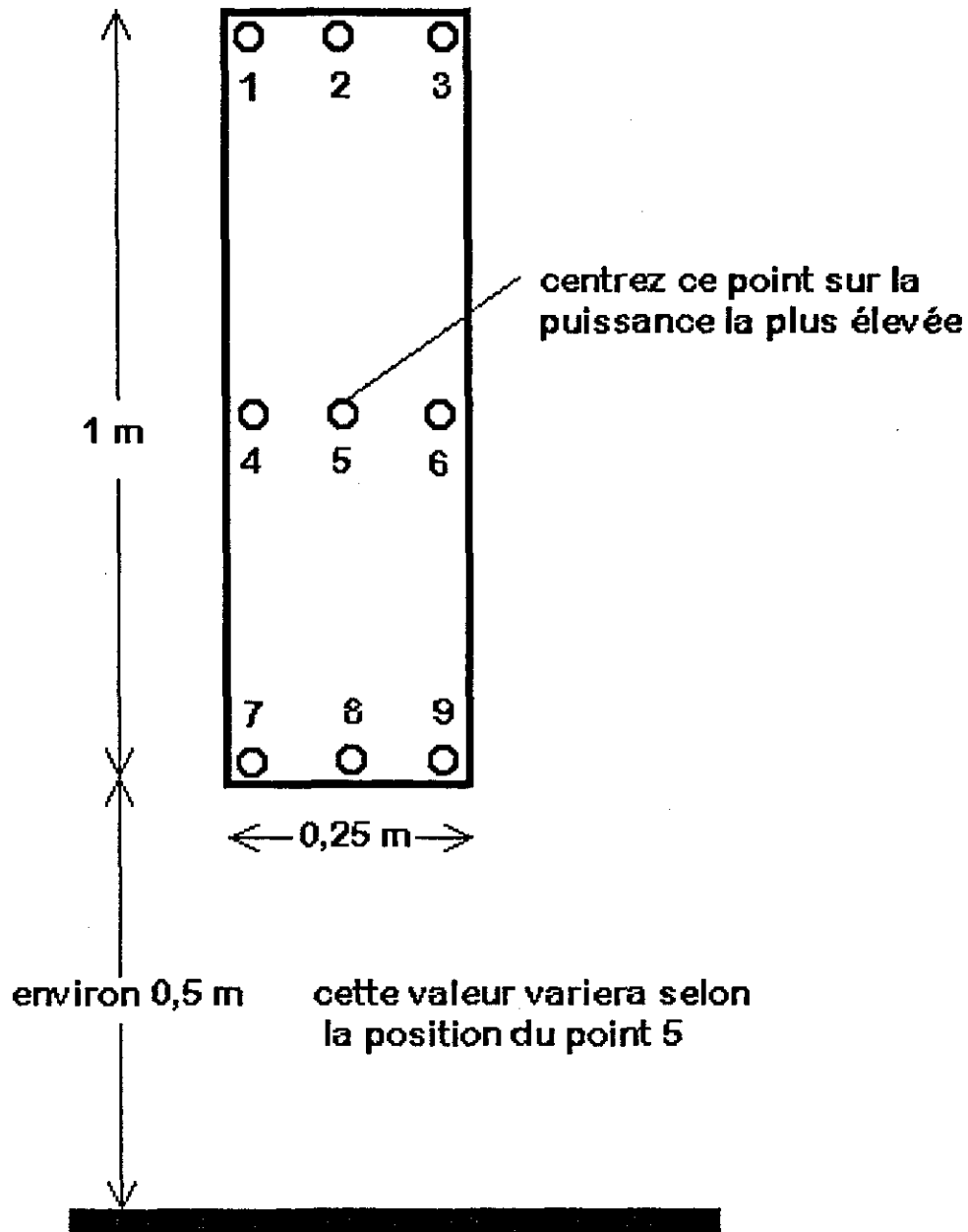


Figure 8 : Grille de mesure en forme de cadre utilisée pour mesurer des champs électrique et magnétique non uniformes et pour effectuer leur moyenne spatiale

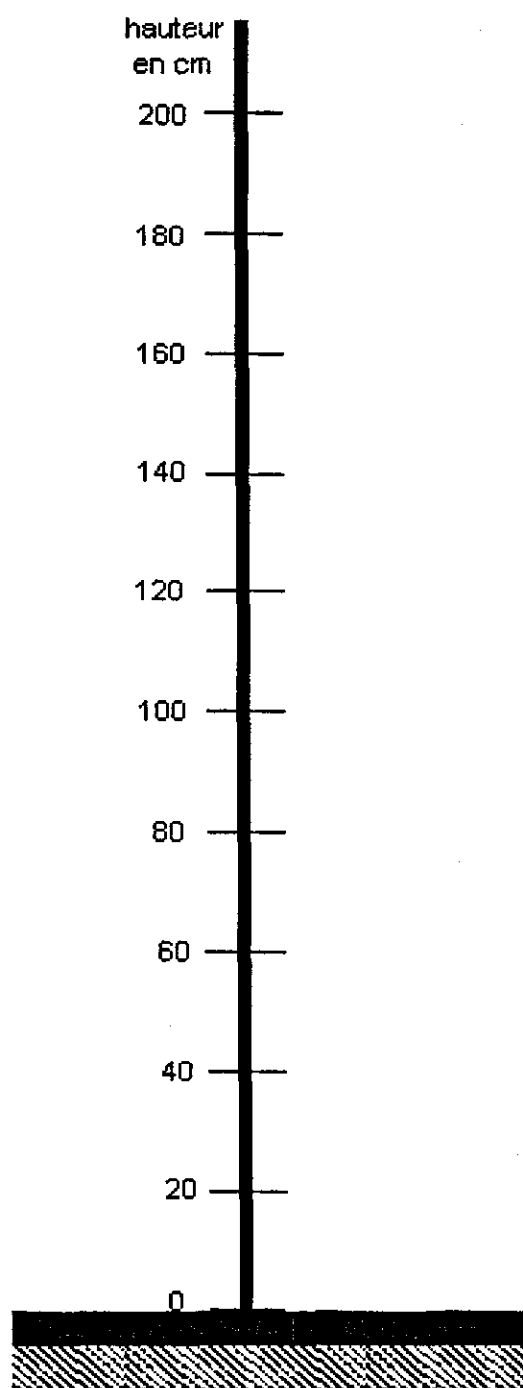


Figure 9 : Grille de mesure en forme de baguette utilisée pour mesurer des champs électrique et magnétique non uniformes et pour effectuer leur moyenne spatiale



**Si vos mesures nuisent trop à la production prenez moins de valeur.
Ex. Une mesure à la position des yeux, de la poitrine, des gonades et des genoux.**

11. - Multipliez ces puissances équivalentes par le facteur de correction de la sonde pour la fréquence à laquelle vous travaillez. Ce facteur se trouve sur le côté de l'instrument de mesure. Notez que vous avez un facteur pour le champ électrique et une autre pour le champ magnétique. Si vous ne retrouvez pas votre fréquence exacte, prenez la valeur de la fréquence la plus proche.
12. - On rapporte la puissance maximale ainsi que l'endroit où elle a été mesurée et la moyenne spatiale des 9 valeurs (au minimum) mesurées «au cadre» ou 10 valeurs (au minimum) «à la baguette». La décision à savoir s'il y a dépassement ou pas, doit se prendre sur la valeur de la moyenne spatiale multipliée par le facteur de correction de la sonde et par le facteur de service (FSM) de la soudeuse et non sur chacune des valeurs mesurées individuellement. De plus, l'exposition individuelle aux yeux et aux gonades multipliée par le facteur de correction de la sonde et par le FSM de la soudeuse impose également le respect de la recommandation. Multipliez chacune de ces valeurs de puissance (corrigées pour le facteur de la sonde) par le facteur de service moyen de la machine (FSM).

Toutes les expositions aux radiofréquences doivent être moyennées sur un certain temps. Dans le cas des fréquences couvertes par les machines chauffant par perte diélectrique, ce temps est de 6 minutes. Une façon simple de faire une moyenne sur 6 minutes d'une exposition dans le cas des soudeuses par perte diélectrique, consiste à multiplier l'exposition par le facteur de service moyen (FSM) de la soudeuse.

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

À l'aide d'un chronomètre, les durées d'exposition et de non-exposition sont évaluées un nombre suffisant 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 ($D_{non\ exp}$) :

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 ;

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

or

$$FS = \left(\frac{D_{exp}}{D_{exp} + D_{non-exp}} \right)$$

donc

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

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

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

n est un nombre suffisamment grand (5 valeurs sont généralement suffisantes) pour que le FSM soit représentatif du fonctionnement de la machine pendant une période de 6 minutes⁽¹⁾. Cette période de 6 minutes doit aussi être représentative de la cadence de production de l'opérateur durant sa journée de travail. Sinon, d'autres FSM devraient être obtenus pour ne retenir que le plus grand, afin de mesurer l'exposition la plus élevée.

13. - Si cette valeur (moyenne spatiale) d'exposition corrigée et chacune des expositions corrigées aux yeux et gonades sont inférieures à la recommandation, la durée d'exposition n'a aucune limite⁽²⁾ car cette exposition ne pourrait jamais élever la température du corps de plus de 1°C. N.B. Les effets à long terme de faibles expositions demeurent encore mal connus.

¹ Temps de stabilisation thermique du corps humain accepté présentement pour fin de calcul de l'exposition par plusieurs organismes.

² À la condition de respecter le courant de corps induit, soit 200 mA à 27 MHz pour une soudeuse par perte diélectrique. Les machines à induction n'engendrent pas de courant induit mesurable avec l'estrade ampèremétrique.



14. - Dans le cas contraire, il est recommandé de diminuer la valeur d'exposition (en blindant ou en éloignant l'opérateur) ou de diminuer la durée d'exposition de l'opérateur ou d'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 :

$$D_p^* = \frac{R \times t}{E}$$

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

- Où: D_p : Durée d'exposition permise sur toute période de 6 minutes. Elle est exprimée en secondes.
 R : Valeur de la Recommandation exprimée en mW/cm^2 ou $\text{V}_{\text{rms}}^2/\text{m}^2$ ou en $\text{A}_{\text{rms}}^2/\text{m}^2$ ou en % de la recommandation (toujours 100%).
 t : 360 secondes.
 E : Valeur de la moyenne spatiale d'Exposition corrigée pour le facteur de la sonde exprimée en mW/cm^2 ou $\text{V}_{\text{rms}}^2/\text{m}^2$ ou en $\text{A}_{\text{rms}}^2/\text{m}^2$ ou en % de la recommandation. N.B. Cette valeur ne doit pas être corrigée avec le FSM⁽¹⁾.

La valeur d'exposition aux yeux et gonades corrigée uniquement pour le facteur de la sonde peut aussi être placée dans cette équation si l'on souhaite avoir une durée spécifique à leurs endroits.

15. - La plus petite durée d'exposition permise obtenue (parmi toutes les valeurs mesurées) sera retenue comme durée d'exposition maximale pour l'opérateur que ce soit pour le champ électrique ou pour le champ magnétique.

6.4 Mesure de la fréquence avec le compteur

Pour connaître ou vérifier la fréquence d'une soudeuse par perte diélectrique, attendez que la soudeuse soit en opération. Un voyant lumineux ou la déflexion de l'aiguille de l'ampèremètre sur la machine (courant de grille I_g ou de plaque I_p du tube amplificateur) indique la mise en marche du générateur radiofréquence. La mesure de fréquence s'effectue automatiquement en allumant le compteur. Respectez une distance d'environ 1 mètre pour ne pas surcharger le compteur. Observer l'affichage, sur le dessus de l'instrument, pour connaître la fréquence d'émission. Le compteur peut lire n'importe quelle fréquence située entre 10 MHz et 1,2 GHz.

⁽¹⁾ Si $D_p \times E$ ne doit pas dépasser $R \times t$ alors $D_p = (R \times t) / E$. On veut la valeur maximale de E pour trouver la valeur de D_p la plus sévère. La multiplication de E par le FSM ne donnerait plus la valeur maximale d'exposition mais la moyenne de l'exposition sur 6 minutes.



Pour connaître la fréquence d'une sécheuse, placez le compteur près de l'entrée ou de la sortie du convoyeur. Contrairement à une soudeuse, qui n'émet que pour quelques secondes, une sécheuse émet continuellement de la radiofréquence, vous n'avez donc pas à surveiller un indicateur de radiofréquence pour prendre une lecture.



VII - 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 minimum. 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.

$$E = \frac{R \times t}{D_r} = \frac{R \times t}{FSM \times t} = \frac{R}{FSM}$$

- Où
- E : Valeur d'Exposition corrigée pour le facteur de la sonde et la moyenne spatiale en mW/cm^2 ou en V^2_{rms}/m^2 ou en A^2_{rms}/m^2 ou en % de la recommandation. **Cette valeur ne doit pas être corrigée par le FSM de la machine.**
 - R : Valeur de la Recommandation exprimée en mW/cm^2 ou en V^2_{rms}/m^2 ou en A^2_{rms}/m^2 ou en % de la recommandation (dans ce cas 100%)
 - t : 360 secondes
 - D_r : Durée d'exposition réelle lorsque le niveau d'exposition se répète avec la même intensité (exprimée en secondes). La durée d'exposition réelle est égale au FSM multiplié par 360 secondes.



VIII - SYMBOLES DE MISE EN GARDE ⁽¹⁾

8.1 Conception des symboles de mise en garde approuvés

Trois symboles de mise en garde ont été approuvés. Ces symboles, ou d'autres symboles de remplacement raisonnables, doivent être utilisés. Ils ont été conçus pour indiquer la nature et l'importance du danger associé à un dispositif ou à un endroit donné. La nature du danger est indiquée par le symbole et son degré, par la forme et la couleur. Les symboles de mise en garde et leur signification sont donnés ci-dessous. Les dimensions du symbole doivent être telles qu'il soit bien visible dans les conditions appropriées, c'est-à-dire éclairé ou fait d'un matériau réfléchissant. Le symbole *ATTENTION* est *NOIR* sur fond *JAUNE*, le symbole *PRUDENCE* est *NOIR* sur fond *ORANGE* et le symbole *DANGER* est *ROUGE* sur fond *BLANC*.

En général, le symbole *ATTENTION* n'est pas utilisé pour la démarcation des zones, mais il doit être placé sur les dispositifs pour indiquer qu'ils émettent des rayonnements RF. Tous les dispositifs pour lesquels des règlements ont été promulgués en vertu de la Loi sur les dispositifs émettant des radiations ont un symbole *ATTENTION* faisant partie des exigences de marquage. Par exemple, tous les fours à micro-ondes conformes aux Règlements sur les fours à micro-ondes comportent un symbole *ATTENTION*. Les symboles *PRUDENCE* et *DANGER* sont utilisés pour identifier des dispositifs dangereux et pour la démarcation des zones.

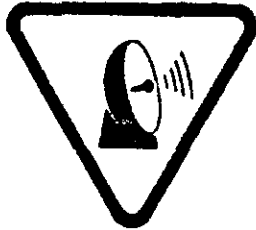
8.2 Démarcation des zones

- (a) Le symbole *PRUDENCE* doit être placé à l'entrée de toute zone dans laquelle un contrôle des rayonnements a montré quels niveaux de rayonnement dépassaient ceux spécifiés à l'article 2.2, tout en étant inférieurs à ceux spécifiés à l'article 2.1. Le symbole *PRUDENCE* indique qu'une occupation limitée est permise à l'intérieur de la zone démarquée pour les travailleurs sous RF. Il doit être placé chaque fois que c'est nécessaire pour indiquer une durée d'occupation recommandée. Dans de tels cas, le symbole *PRUDENCE* doit être accompagné d'une inscription telle que : «Prudence, rayonnement radiofréquence - durée d'occupation maximale (t) minutes» et son équivalent en anglais, où t est calculé selon les limites spécifiées à l'article 2.1 en tenant compte que la moyenne est calculée sur 0,1 h.
- (b) Le symbole *DANGER* doit être placé à l'entrée de toute zone où les niveaux de rayonnement dépassent les limites spécifiées à l'article 2.1. Le symbole *DANGER* indique donc une zone d'*OCCUPATION INTERDITE*. Quand on l'utilise pour la démarcation des zones, le symbole *DANGER* doit être accompagné d'une inscription telle que : «Danger, rayonnement radiofréquence - défense d'entrer» et de son équivalent en anglais.

⁽¹⁾ Cette section est tirée intégralement du document de Santé et Bien-être social, Canada : Limites d'exposition à des champs de radiofréquences de la gamme 10 kHz-300 GHz. N° de catalogue H46-2/90-160F.



- (c) Quand la distance normale de lecture du symbole est de 1 m ou moins, les symboles ne doivent pas avoir une dimension extérieure inférieure à 2 cm. Quand la distance normale de lecture est supérieure à 1 m, les symboles et toutes les inscriptions doivent être proportionnellement agrandis.

**ATTENTION RAYONNEMENT RADIOFRÉQUENCE**

-Zone d'occupation sans limitation

-Lésions mineures possibles en cas de mauvais usage

**PRUDENCE RAYONNEMENT RADIOFRÉQUENCE**

-Zone d'occupation limitée

-Lésions sérieuses possibles en cas de mauvais usage

**DANGER RAYONNEMENT RADIOFRÉQUENCE**

-Zone d'occupation interdite

-Lésions critiques ou mort possible en cas de mauvais usage

8.3 Symboles pour le marquage des dispositifs

Lorsque les symboles sont utilisés pour le marquage d'un dispositif, les recommandations suivantes s'appliquent :

- (a) Le symbole **PRUDENCE** doit être appliqué à tout dispositif, en cours de mise au point ou utilisé à des fins industrielles, scientifiques ou médicales, si le dispositif produit des niveaux d'exposition qui dépassent ceux spécifiés à l'article 2.2, tout en étant inférieurs aux niveaux



spécifiés à l'article 2.1. Le symbole **PRUDENCE** doit être fixé à un dispositif si le mauvais usage ou une défaillance peuvent entraîner des lésions dues aux rayonnements RF.

- (b) Le symbole **DANGER** doit être fixé sur tout dispositif en cours de mise au point ou utilisé à des fins industrielles, scientifiques ou médicales, s'il produit des niveaux d'exposition qui dépassent ceux spécifiés à l'article 2.1. En outre, même si les niveaux d'exposition sont inférieurs à ceux spécifiés en 2.1, le symbole **DANGER** doit être fixé si la défaillance du dispositif peut entraîner des lésions graves ou la mort.



IX - 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".

Blindage du champ électrique

Le blindage est simple à réaliser et le matériel requis pour le blindage est peu coûteux. Il peut être installé sur des machines déjà utilisées en milieu de travail et permet de protéger les opérateurs et opératrices suffisamment pour respecter les recommandations des expositions. En général, le blindage sera installé sur le dessus, la face avant et sur les deux côtés de la matrice de travail de la machine.

Le blindage consiste à entourer la matrice de travail (source du champ électrique intense) avec des plaques conductrices (ex. aluminium) reliées au châssis de la machine. Des manchettes, faites de feuillard de laiton replié sur lui-même, installées au bas des plaques viennent compléter le blindage. L'ensemble du blindage doit être isolé de la matrice de travail pour ne pas nuire au fonctionnement de la soudeuse. La mise au châssis de l'ensemble du blindage est essentielle à son bon fonctionnement. Lorsque la matrice s'abaisse vers la table de travail en comprimant les pièces à souder, les manchettes de laiton qui bordent le bas des plaques d'aluminium établissent un contact flexible avec la table qui est reliée au châssis. Le champ électrique parasite émis par la matrice de travail sera ainsi capté par le blindage et retourné au générateur de radiofréquence par le châssis de la soudeuse.

Consultez la fiche technique de l'IRSST numéro RF-094 intitulée «Le blindage comme moyen de contrôle des radiofréquences des machines industrielles chauffant par perte diélectrique» pour plus d'informations concernant le blindage et sa réalisation.

- **Recommandation 1.** Pour les opérateurs(trices) travaillant assis, maintenir une séparation d'au moins 10 cm entre les genoux et le châssis de la machine par l'ajout de matériau isolant tel la mousse de polystyrène, du caoutchouc ou du silicone.

- **Recommandation 2.** Éviter de porter des boucles de ceinture de métal, stérilet en cuivre, bracelets en métal, montre, stylos avec pièces métalliques, lunette avec rebord métallisé ou tout autre objet métallique. En effet, ces objets métalliques concentrent le champ électrique et accentuent son effet thermique. Cet effet est d'autant plus grand que la durée d'exposition est longue.

- **Recommandation 3.** Utiliser des tabourets, tables de travail, supports ou autres en plastique plutôt qu'en métal.



X - BIBLIOGRAPHIE

- 1) American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold Limit Value and Biological Exposure Indices 1997. Cincinnati, Ohio 45240-1634.
- 2) ANSI. American National Standards Institute. IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. ANSI C95.1-1992.
- 3) Gardiol, Fred. Traité d'électricité. Volume III - Électromagnétisme. Presses polytechniques romandes, CH-1015 Lausanne, p 149, 1989.
- 4) Hitchcock, R Timothy and Patterson, Robert M. Radio-Frequency and ELF Electromagnetic Energies - A Handbook for Health Professionals. Van Nostrand Reinhold. 1995.
- 5) IEEE. Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Recommended Practice for the measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields - RF and Microwave. IEEE Std C95.3-1992.
- 6) Laliberté, Lambert. Machines industrielles chauffant par perte diélectrique ou par effet d'induction - nature, méthode de mesure et contrôle des radiofréquences. IRSST. Juillet 1992.
- 7) Levallois, Patrick ; Gauvin, Denis; Lajoie, Pierre et Saint-Laurent, Josée. Bilan des normes et recommandations d'exposition aux champs électromagnétiques (0 à 300 GHz) et aux rayonnements ultraviolets. IRSST B-047. Juillet 1996.
- 8) Narda Microwave Corporation. Radio Frequency Radiation Meter Model 8512 Operation Manual.
- 9) Narda Microwave Corporation. Induced Current Measurement Products Technical Manual
- 10) 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 H46/90-160F. Groupe Communication Canada - Publication, Ottawa, Canada K1A 0S9,



ANNEXE 1

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



Avis au lecteur

Une exposition peut se mesurer (selon l'instrument) ou s'exprimer en unité d'intensité : V/m, A/m ou de puissance : V^2/m^2 , A^2/m^2 ou $mW_{\text{équi}}/cm^2$. C'est à vous de choisir. Mais une fois les unités choisies, vous devez rester consistant et toujours exprimer vos résultats de la même façon. Puisque la moyenne spatiale s'effectue directement avec des unités de puissance et que le FSM ne doit multiplier que des unités de puissance, il devient alors évident que l'utilisation d'unités de puissance facilite les calculs.

Le champmètre 8512 mesure les champs directement en unité de puissance équivalente. Au lieu de convertir toutes les valeurs mesurées en unité d'intensité, il est plus facile d'utiliser directement les valeurs du 8512 et de ne convertir que les valeurs d'intensité des recommandations en valeurs de puissance pour fin de comparaison.

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 13,56 MHz.

Si l'hygiéniste ou l'inspecteur possède une estrade ampèremétrique, 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 ampèremétrique, est de 150% (300 mA) alors que la recommandation est de 100% (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.

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

Courants de contact mesuré avec la sonde ampèremétrique	
objets métalliques seulement	% ou (courant en mA)
interrupteur de la soudeuse	175% (175)
table d'entreposage	128% (128)
tabouret	27% (27)
recommandations ANSI C95.1- 1992/ACGIH 1997	inférieur à 100% (100)



La mise à la terre des objets qui dépassent les recommandations est donc nécessaire. N.B. La mise à la terre aux radiofréquences nécessite des feuillards de laiton ou cuivre et non des fils qui offrent une trop grande résistance aux courants de haute fréquence.

Le remplacement des objets métalliques par des objets isolants (bois, plastique, fibre de verre) peut aussi se faire, si c'est plus avantageux.

Supposons maintenant que le courant induit est inférieur à la recommandation, la mesure des champs électrique et magnétique est alors nécessaire.

Les temps d'exposition relevés à la position de l'opérateur A (certaines soudeuses nécessitent deux et parfois trois travailleurs) sont de 2 sec. fixés par une minuterie. Les temps de non-exposition relevés au chronomètre 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 demi-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. La valeur de n est subjective et est laissée à votre jugement. (NdA : par expérience, $n = 5$ donne de bons résultats), 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 la sonde (FC_{sonde}) @ 13,56 MHz sont de 1,01 pour le champ électrique et de 1,59 pour le champ magnétique tel qu'indiqué sur le côté du champmètre. Nous les utiliserons même si la fréquence mesurée (13,25 MHz) n'est pas tout à fait la même.

Comme nous sommes en champ proche (considérez qu'aux fréquences inférieures à 300 MHz, vous êtes à 99% du temps, en champ proche), les champs ne sont pas homogènes et 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 m x 1 m de dimension située à 0,5 m du sol doit donc être effectuée. Nous aurions aussi pu utiliser la moyenne selon la méthode de la baguette.

Intensité en mW/cm ² équivalent pour le champ électrique			
Machine: no 1	opérateur: A	date: 15/08/1997	technicien: RS
point de mesure ⁽¹⁾	Lecture du champmètre	Fac. Corr. Sonde	Lecture corrigée
1	69	1,01	70
2	186	1,01	188
3	133	1,01	134
4	74	1,01	75
5	130	1,01	131
6	114	1,01	115
7	21	1,01	21
8	37	1,01	37
9	29	1,01	29

⁽¹⁾ Consultez la figure 8



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

$$P_{\text{corrigée pour } FC_{\text{sonde}} \text{ et la moyenne spatiale}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i |_{\text{corrigée } FC_{\text{sonde}}}}{n}$$

où P représente la densité de puissance équivalente pour l'exposition au champ électrique.

$$P_{\text{corrigée } FC_{\text{sonde}} \text{ et Moy spatiale}} = \frac{(70 + 188 + 134 + 75 + 131 + 115 + 21 + 37 + 29)}{9}$$

$$P_{\text{corrigé } FC_{\text{sonde}} \text{ et Moy spatiale}} = 89 \text{ mW/cm}^2$$

Puissance équivalente en mW/ cm ² pour le champ magnétique			
machine: no 1	opérateur: A	date: 15/08/97	technicien: RS
point de mesure ⁽¹⁾	Lecture du champmètre	Fac.Corr.Sonde	Lecture corrigée
1	1,7	1,59	2,7
2	2,0	1,59	3,2
3	1,6	1,59	2,5
4	1,3	1,59	2,1
5	1,5	1,59	2,4
6	1,4	1,59	2,2
7	0,57	1,59	0,9
8	0,68	1,59	1,1
9	0,53	1,59	0,8

⁽¹⁾ Consultez la figure 8



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

$$P_{\text{corrigée pour } FC_{\text{sonde}} \text{ et la moyenne spatiale}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i |_{\text{corrigée } FC_{\text{sonde}}}}{n}$$

où P représente la densité de puissance équivalente à l'exposition au champ magnétique.

$$P_{\text{FC}_{\text{sonde}} \text{ et Moy spatiale}}^{\text{corrigée}} = \frac{(2,7 + 3,2 + 2,5 + 2,1 + 2,4 + 2,2 + 0,9 + 1,1 + 0,8)}{9}$$

D'où

$$P_{\text{FC}_{\text{sonde}} \text{ et Moy spatiale}}^{\text{corrigée}} = 2,0 \text{ mW/cm}^2$$

La densité de puissance équivalente corrigée pour 6 minutes s'obtient en utilisant la formule suivante :

$$C = FSM \times E$$

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 $\text{mW}_{\text{équi}}/\text{cm}^2$ ou en $\text{V}_{\text{rms}}^2/\text{m}^2$ ou en $\text{A}_{\text{rms}}^2/\text{m}^2$.

FSM : Facteur de Service Moyen de la machine

E : Valeur d'Exposition corrigée pour le facteur de la sonde et la moyenne spatiale exprimée en $\text{mW}_{\text{équi}}/\text{cm}^2$ ou en $\text{V}_{\text{rms}}^2/\text{m}^2$ ou en $\text{A}_{\text{rms}}^2/\text{m}^2$.

La fréquence mesurée au compteur est de 13,25 MHz alors que la fréquence nominale (supposée) est de 13,56 MHz. Cette petite différence n'est pas assez significative pour en tenir compte dans le facteur de correction de la sonde. Par contre, on déterminera les recommandations à 13,25 MHz.

On obtient:



RÉSULTATS DES MESURES D'EXPOSITION				
Densité de puissance équivalente corrigée pour FC_{sonde} , Moy_{spatiale}	FSM	Densité de puissance équivalente corrigée pour FC_{sonde} , Moy_{spatiale} et 6 min	Recommandations @ 13,25 MHz 1) Santé et Bien-être 2) ANSI C95.1-1992	Conclusion
<p>Pour le champ électrique</p> <p>89 $mW_{\text{équi}}/cm^2$</p>	0,124	11 $mW_{\text{équi}}/cm^2$	<p>1) $3,6 \times 10^3 V_{\text{rms}}^2/m^2$ ou $\sim 1mW/cm^2$</p> <p>2) $19,3 \times 10^3 V_{\text{rms}}^2/m^2$ ou $5,1 mW/cm^2$</p>	<p>dépasse 11 fois</p> <p>dépasse 2,2 fois</p>
<p>Pour le champ magnétique</p> <p>2,0 $mW_{\text{équi}}/cm^2$</p>	0,124	0,25 $mW_{\text{équi}}/cm^2$	<p>1) $13,7 \times 10^{-2} A_{\text{rms}}^2/m^2$ ou $5,2 mW/cm^2$</p> <p>2) $1,51 A_{\text{rms}}^2/m^2$ ou $57 mW/cm^2$</p>	ok

Même si la moyenne spatiale a été calculée «au cadre», les recommandations d'ANSI sont toutes aussi valables et interchangeables.

La densité de puissance équivalente pour la recommandation s'obtient par les équations suivantes :

$$P_{\text{équi}} (mW/cm^2) = \frac{E^2(V^2/m^2)}{3\ 770}$$



$$P_{\text{équi}} \text{ (mW/cm}^2\text{)} = H^2(A^2/m^2) \times 37,7$$

La valeur d'exposition aux yeux, corrigée pour le facteur de correction de la sonde, pour le champ électrique, est de 188 mW/cm² (mesurée au deuxième point de mesure) et la valeur d'exposition aux gonades, pour le champ électrique, est de 131 mW/cm² (mesurée au cinquième point de mesure).

Ces valeurs d'exposition corrigées deviennent donc :

188 mW/cm² x 0,124 (FSM) = 23,3 mW/cm² dépasse 23 fois (code 6); 4,7 fois (ANSI/ACGIH)

131 mW/cm² x 0,124 (FSM) = 16,2 mW/cm² dépasse 16 fois (code 6); 3,2 fois (ANSI/ACGIH)

Il y a donc danger d'échauffement local aux yeux et aux gonades. N.B. Il n'est pas nécessaire de refaire les calculs pour le champ magnétique puisque celui-ci est toujours plus faible que le champ électrique pour les machines chauffant par **perte diélectrique**.

De plus, la valeur d'exposition spatiale corrigée dépasse la recommandation, il est recommandé de procéder à des mesures correctives.

Le problème peut aussi se voir sous un autre angle en considérant le temps d'exposition au lieu du niveau d'exposition. Vous n'êtes pas obligé de faire vos calculs selon les 2 méthodes.

La durée d'exposition permise est de:

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

* 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 secondes.

R: Valeur de la Recommandation exprimée en mW/cm² ou en V²_{rms}/m² ou en A²_{rms}/m².

t : 360 secondes

E : Valeur d'Exposition corrigée pour le facteur de la sonde et la moyenne spatiale exprimée en mW_{équi}/cm² ou en V²_{rms}/m² ou en A²_{rms}/m². **Cette valeur ne doit pas être corrigée par le FSM de la machine.**



ANNEXE 2

Aide-mémoire pour la prise de mesure.



**CONFORMITÉ AUX RECOMMANDATIONS
MACHINE CHAUFFANT PAR PERTE DIÉLECTRIQUE**

Fiche de renseignements

Par : _____ Par : _____	Organisme de santé/sécurité effectuant l'étude _____ _____ Date : _____
COMPAGNIE	Machine
Nom : _____ _____ _____	Fabricant : _____ Modèle : _____ N° de série : _____ Année : _____ MACHINE N° _____ (Voir croquis de la disposition des machines) Servant à : _____ _____
Adresse : _____ _____ _____	Fréquence nominale Fréquence mesurée : 13,56 MHz <input type="checkbox"/> 27,12 MHz <input type="checkbox"/> _____ MHz 40,68 MHz <input type="checkbox"/>
Ville : _____ _____	Soudeuse <input type="checkbox"/> Sècheuse alimentée par un convoyeur <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/> _____
Téléphone : _____	Nombre d'opérateurs travaillant sur cette machine : _____
Fax : _____	Puissance nominale : _____ kW
Représentant patronal : _____	Puissance utilisée : _____ %
Représentant syndical : _____ _____	Temps d'émission : _____ sec (1) Fixé par une minuterie sauf pour une sècheuse alimentée par un convoyeur qui émet de façon continue



Représentant(s) comité de santé et sécurité : _____ _____ _____	Temps mort : 1) _____ sec 2) _____ sec 3) _____ sec 4) _____ sec 5) _____ sec Mesuré au chronomètre sauf pour une sècheuse alimentée par un convoyeur où le temps mort est égal à 0	
	Moyenne des temps morts : _____ sec (2)	
Remarques : _____ _____ _____ _____	FSM = (1) / {(1)+(2)} = _____ pour une sècheuse alimentée par un convoyeur = 1 Facteur de correction de la sonde pour le champ électrique : _____ champ magnétique : _____	
Valeurs mesurées		
Courant induits maximum (Narda 8850) mesuré pendant la période d'émission l'opérateur de la machine ne touche à rien de conducteur durant les mesures	Courants de contacts (Narda 8870) (jusqu'à 30 MHz) mesuré pendant la période d'émission avec les objets métalliques environnants Maintenez 15 cm d'éloignement entre les câbles à boudin et vous et tout ce qui est conducteur	
Opérateur #1: _____ % ACGIH/ANSI	objet	% ACGIH/ANSI
Opérateur #2: _____ % ACGIH/ANSI	_____	_____
Opérateur #3: _____ % ACGIH/ANSI	_____	_____



S'il y a dépassement pour le courant induit (>100%) il n'y pas lieu de poursuivre les mesures. Un blindage doit être effectué sur la machine.	_____	_____
	_____	_____
Valeurs d'exposition en mW/cm²		
champ électrique	champ magnétique	
opérateur absent <input type="checkbox"/> opérateur présent <input type="checkbox"/>		
point #1 :	point #1 :	
point #2 :	point #2 :	
point #3 :	point #3 :	
point #4 :	point #4 :	
point #5 :	point #5 :	
point #6 :	point #6 :	
point #7 :	point #7 :	
point #8 :	point #8 :	
point #9 :	point #9 :	
point #10:	point #10:	
Moyenne spatiale : Cadre <input type="checkbox"/> Baguette <input type="checkbox"/>	Moyenne spatiale : Cadre <input type="checkbox"/> Baguette <input type="checkbox"/>	
Valeur aux yeux :		
Valeur aux gonades :		
Valeurs corrigées pour le facteur de correction de la sonde et le FSM de la machine		
Moyenne spatiale :	Moyenne spatiale :	
Valeur aux yeux :		
Valeur aux gonades :		



Recommandation : _____ mW/cm ² à la fréquence de : _____ MHz ACGIH/ANSI <input type="checkbox"/> Code 6 <input type="checkbox"/>	Recommandation : _____ mW/cm ² à la fréquence de : _____ MHz ACGIH/ANSI <input type="checkbox"/> Code 6 <input type="checkbox"/>
Rencontre les recommandations <input type="checkbox"/>	Rencontre les recommandations <input type="checkbox"/>
Dépassement au niveau de la : Moyenne spatiale <input type="checkbox"/> Valeur aux yeux <input type="checkbox"/> Valeur aux gonades <input type="checkbox"/>	Dépassement au niveau de la : Moyenne spatiale <input type="checkbox"/>
Croquis	



Croquis

