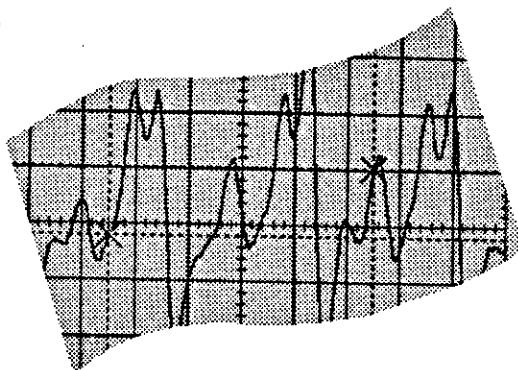


**Guide d'utilisation d'instruments
pour la mesure
de champs magnétiques
non sinusoidaux compris
entre 5 Hz et 300 kHz**



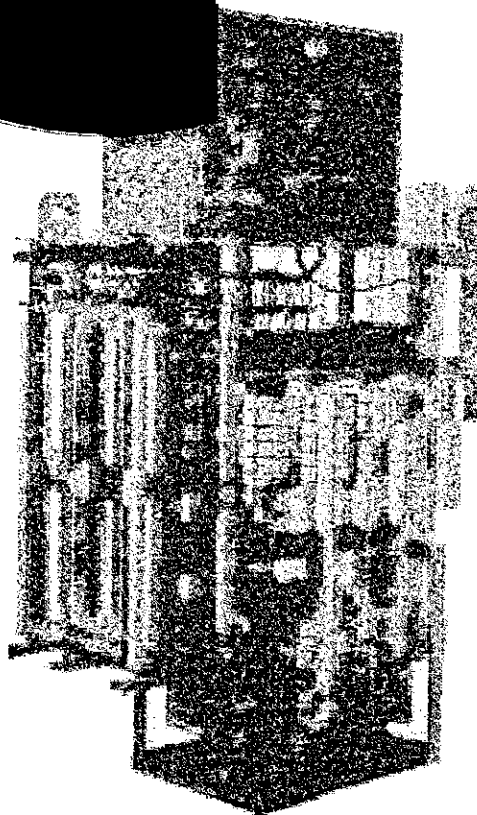
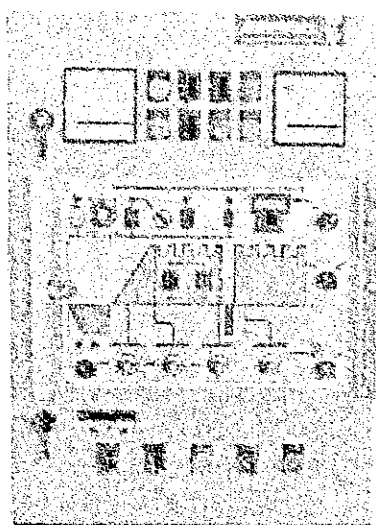
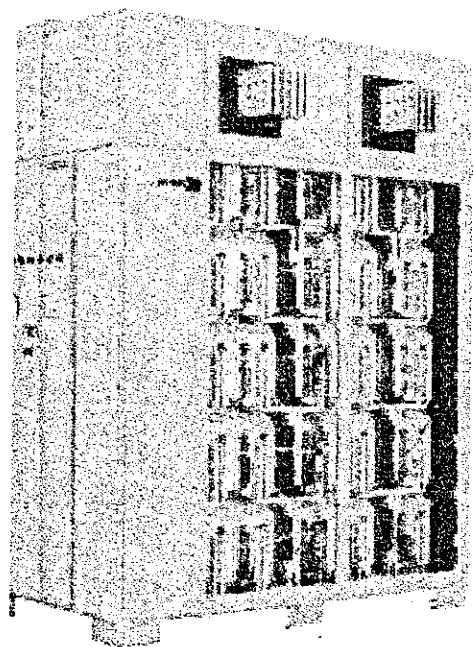
**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Lambert Laliberté

Mars 1998

R-183

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
de champs magnétiques
non sinusoïdaux compris
entre 5 Hz et 300 kHz**

Lambert Laliberté
Programme soutien analytique, IRSST

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

RAPPORT



Table des matières

| | page |
|---|-------------|
| AVIS AUX LECTEURS | 1 |
| INTRODUCTION | 2 |
| I NOTIONS DE BASE | 4 |
| 2. MÉTHODE D'ACQUISITION D'UN SIGNAL AVEC UNE BOBINE ÉTALONNÉE ET L'OSCILLOSCOPE FLUKE 97 | 5 |
| 3. OBTENTION DE LA TRANSFORMÉE DE FOURIER RAPIDE (TFR) | 10 |
| 4. ÉVALUATION DE L'EXPOSITION | 14 |
| 5. TRACÉ DE LA LIGNE DE SEUIL (OPTIONNEL) | 16 |



Liste des figures

| | page |
|---|-------------|
| Figure 1 : Signal sinusoïdal sans distorsion | 4 |
| Figure 2 : Raie unique indiquant un signal sinusoïdal sans distorsion | 4 |
| Figure 3 : Signal sinusoïdal imparfait | 4 |
| Figure 4 : Contenu spectral du signal de la figure 3 | 4 |
| Figure 5 : Bobine uniaxiale Perfection Mica raccordée à l'oscilloscope Fluke 97 | 7 |
| Figure 6 : Opérations pour régler le ratio de sonde à 1:1 | 7 |
| Figure 7 : Opérations pour saisir un signal | 8 |
| Figure 8 : Opérations pour mettre une forme d'onde en mémoire | 9 |
| Figure 9 : Écran d'ouverture du programme «97» pour le transfert des données de l'oscilloscope vers l'ordinateur et la création de fichiers .BWV et .WAD | 11 |
| Figure 10 : Écran d'ouverture du programme Timeview pour permettre de visualiser les signaux acquis en usine et d'effectuer une TFR | 12 |
| Figure 11 : Exemple de TFR pour l'évaluation de l'exposition | 14 |
| Figure 12 : Exemple de ligne de voltage seuil pour le tronc | 18 |



Liste des tableaux

page

| | | |
|-------------|---|----|
| Tableau 1 : | Équations d'équivalence voltage/densité magnétique pour les 3 bobines | 18 |
| Tableau 2 : | Valeurs de voltage seuil, basées sur les recommandations de l'ACGIH 1997, pour différentes bobines | 20 |



AVIS AUX LECTEURS

CERTAINES MESURES DE CHAMP MAGNÉTIQUE DOIVENT ÊTRE FAITES PRÈS D'INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES SOUS HAUTE TENSION.

ASSUREZ-VOUS D'ÊTRE TOUJOURS ACCOMPAGNÉ, LORS DE TELLES MESURES, PAR UN ÉLECTRICIEN QUI CONNAÎT BIEN LE SITE ET LES CONSIGNES DE SÉCURITÉ.



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 plus particulièrement l'oscilloscope de marque Fluke modèle 97 et ses logiciels «97» et «TimeviewTM».

Le but du présent guide est de compenser les lacunes des instruments de mesure des champs magnétiques présentement disponibles **lorsque plus d'une fréquence comprise entre 5 Hz et 300 kHz est émise par une source.**

En effet, les recommandations sont spécifiques aux fréquences alors que la plupart des instruments de mesure portatifs, sont incapables de discriminer entre les différentes fréquences présentes dans l'environnement. Certains ne mesurent qu'à une fréquence unique telle que 60 Hz «abandonnant» toutes les autres fréquences qui pourraient être présentes alors que d'autres intègrent toutes les fréquences présentes sur une plage de fréquences en une seule lecture. Le premier évalue correctement l'intensité du champ magnétique sur la seule fréquence de 60 Hz mais nous renseigne guère sur l'existence possible d'harmoniques (fréquences multiples de la fréquence fondamentale telles que 120Hz, 180 Hz, 240 Hz, etc.) coexistantes avec la fondamentale. Quant au second, il évalue correctement l'intensité d'une fréquence unique mais encore faut-il connaître cette fréquence car l'instrument seul est incapable de la mesurer. Par contre, si plusieurs fréquences sont présentes, il surestimera l'intensité à la fréquence choisie puisque toutes les autres fréquences présentes contribueront à la lecture. Que faire ?

La meilleure solution consiste à utiliser un analyseur de spectre et une bobine étalonnée ⁽²⁾ sur la plage de fréquences observées. L'analyseur de spectre affiche l'intensité de toutes les fréquences présentes dans un spectre délimité. Chaque intensité de tension, à une fréquence donnée, doit être convertie en unité de densité magnétique par l'équation fournie par le fabricant. Puis chaque densité magnétique doit être comparée avec sa recommandation correspondante. Malheureusement, un tel instrument portatif n'est pas encore disponible pour couvrir toutes les fréquences jusqu'à 300 kHz.

Pourquoi 300 kHz ? Parce qu'à 300 kHz, le champmètre 8716 de Narda prend la relève. En effet, le champmètre Narda 8716 jumelé à sa sonde magnétique 8732 permet de mesurer chaque fréquence individuelle selon la recommandation ANSI/ACGIH de 300 KHz à 200 MHz, de les pondérer, de faire leur somme quadratique et de donner une exposition totale en pourcentage de la recommandation pour toutes les fréquences présentes sur cette plage. Sa sonde magnétique est pondérée en fonction des recommandations alors que les sondes des instruments Holaday HI-3627 et HI-3637 qui couvrent les fréquences inférieures à 300 KHz ne sont pas pondérées. On doit faire cette

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

(2) Bobine dont la tension de sortie a une corrélation connue avec la densité magnétique.



pondération nous-même à l'aide des équations des bobines de mesure, de la tension lue à l'oscilloscope et des logiciels d'analyse.

La seule chose à faire pour l'instant est de transformer le champ magnétique en tension électrique à l'aide d'une bobine étalonnée (Perfection Mica, modèle EP-102A ou autre selon la plage à couvrir), de numériser cette tension à l'aide d'un oscilloscope numérique portatif (Fluke 97), de saisir le fichier de l'oscilloscope et de le convertir en un fichier compatible pour l'ordinateur à l'aide du logiciel «97», puis d'analyser ce même fichier afin d'en connaître les différentes fréquences qui le composent à l'aide d'un logiciel de transformée de Fourier («Timeview™»). Tous ces outils sont disponibles dans la banque d'instruments de la CSST et leur utilisation est expliquée dans le présent guide.

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.

L'introduction explique la raison d'être du présent guide. Le lecteur trouvera dans la section 1 des notions de base sur les harmoniques et la façon de les mesurer. La méthode de mesure, faisant appel à une bobine étalonnée et un oscilloscope numérique, se trouve à la section 2. Les logiciels permettant d'effectuer une transformée de Fourier sont présentés à la section 3. La section 4 montre comment évaluer une exposition à partir d'un spectrographe de densité magnétique. Finalement, la section 5 explique comment tracer la ligne de seuil limite, pour une exposition au tronc, sur un spectrographe magnétique.



I NOTIONS DE BASE

Tout signal n'ayant pas une forme sinusoïdale est nécessairement composé d'un ensemble d'ondes sinusoïdales d'amplitudes, de fréquences ou de phases différentes. Comme les recommandations sont spécifiques à la fréquence, il est important d'isoler chacune des composantes du signal.

La figure 1 ci-bas, illustre un signal sinusoïdal évoluant dans le temps pouvant représenter le champ magnétique autour d'un four à induction opérant à 978 Hz. La figure 2 correspond à la transformée de Fourier du même signal, elle illustre son contenu spectral qui n'est formé que d'une seule fréquence. La recommandation s'applique alors à la seule fréquence de 978 Hz. Notez que la figure 1 représente l'amplitude du signal en fonction du temps alors que la figure 2 représente l'amplitude et la valeur de la fréquence qui compose le signal.

La figure 3 représente le champ magnétique émis par une soudeuse à point (spot welder). Remarquez

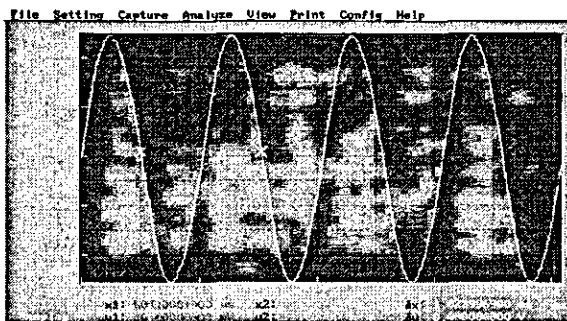


Figure 1 : Signal sinusoïdal sans distortion

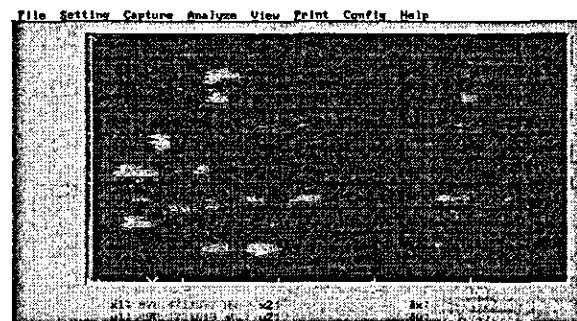


Figure 2 : Raie unique indiquant un signal sinusoïdal sans distortion

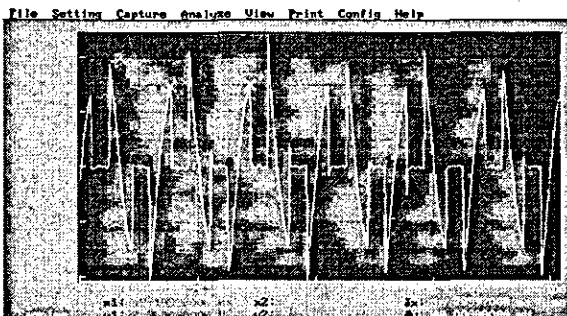


Figure 3 : Signal sinusoïdal imparfait

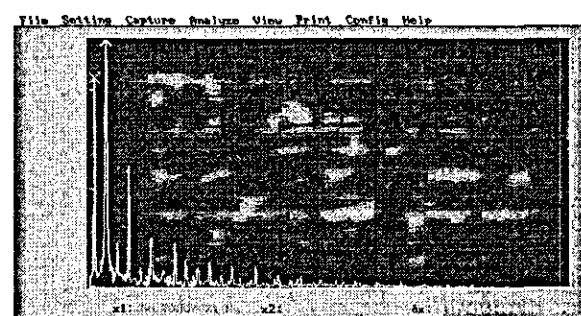


Figure 4 : Contenu spectral du signal de la figure 3

la forme originellement sinusoïdale du signal qui est interrompu à maintes reprises par le procédé pour contrôler la chaleur de la soudure pour finalement prendre la forme d'ailerons de requin. La figure 4 illustre le contenu spectral du champ magnétique. Comme vous pouvez le voir, le champ magnétique est constitué de plusieurs harmoniques (dans ce cas-ci impaires) même si le courant qui



alimente les électrodes est à 60 Hz. C'est l'interruption rapide du courant de 60 Hz, à l'intérieur d'une période de l'onde, qui provoque les harmoniques dans ce cas-ci. D'où l'importance de bien connaître le contenu spectral d'un signal.

Deux types d'appareils existent pour analyser le contenu spectral : l'analyseur de spectre à filtres discrets ou à balayage en fréquence et l'ordinateur chargé d'un logiciel capable d'exécuter une transformée de Fourier rapide (TFR) sur un signal préalablement numérisé.

Nous traiterons dans le présent document du deuxième type d'appareil et plus particulièrement du logiciel capable d'effectuer une transformée de Fourier rapide.

Le signal est obtenu par une bobine uniaxiale étant donné que nous n'avons pas accès à trois canaux à l'oscilloscope. La numérisation du signal est effectuée par l'oscilloscope Fluke 97 et enregistrée dans l'une de ses 8 mémoires. Il vous est donc impossible d'enregistrer plus de 8 signaux dans l'oscilloscope à moins de les transférer dans la mémoire d'un ordinateur portatif à l'aide du logiciel «97».

2. MÉTHODE D'ACQUISITION D'UN SIGNAL AVEC UNE BOBINE ÉTALONNÉE ET L'OSCILLOSCOPE FLUKE 97

Comme en règle générale, ce sont toujours les 10 premières harmoniques qui sont les plus significatives, il est important de prévoir une bobine d'acquisition du champ magnétique qui possède une bande passante 10 fois plus élevée que la fondamentale mesurée par l'oscilloscope ou le compteur de fréquence. Lorsque nous mesurons la fréquence du signal de la figure 3 ci-haut, nous obtenons 60 Hz. C'est-à-dire que le «motif» ou le dessin singulier du signal se répète 60 fois par seconde. Or voyant qu'il ne s'agit pas d'un signal pur ou sinusoïdal, il sera composé d'une multitude d'harmoniques. Pour des raisons pratiques, seules les 10 premières harmoniques seront significatives pour nos mesures. Elles doivent donc être captées par la bobine sans atténuation, c'est donc important que la bobine mesure correctement la fondamentale f_0 jusqu'à $10 f_0$. Ainsi une bobine comme la Perfection Mica pourra mesurer un signal non sinusoïdal jusqu'à une fondamentale de 300 Hz puisque son étalonnage n'est valide que jusqu'à 3 000 Hz soit 10 fois la fondamentale.

Pour des champs n'excédant pas 3 kHz :

La bobine Perfection Mica a une surface d'intégration de 7 cm² et un noyau d'air. Son équation de conversion de voltage à tesla est :

$$B \text{ (tesla rms)} = \frac{60 \times E \text{ (mV}_{rms})}{56 \times f \text{ (Hz)} \times 10^4}$$



Son étalonnage est valide jusqu'à 3 kHz avec une erreur de +8%. Comme cette bobine est de taille moyenne, elle est valable pour la mesure près des sources aussi bien que pour les mesures loin des sources. Comme cette bobine compte de nombreux tours de fils, elle est très sensible. Elle doit être orientée dans toutes les directions pour la recherche du vecteur maximum. La distance de la source à la bobine doit être mesurée par rapport au ruban jaune qui entoure la bobine et non sa face avant. Ce qui a pour conséquence de ne permettre une mesure qu'à une distance minimale de 2,5 cm d'une source.

Pour des champs n'excédant pas 100 kHz :

La bobine RFL modèle 49922 a une surface d'intégration de 3,9 cm² et un noyau d'air. Son équation de conversion de voltage à tesla est :

$$B \text{ (tesla rms)} = \frac{10,67 \times E \text{ (V}_{rms}\text{)}}{f \text{ (Hz)}}$$

Son étalonnage est valide jusqu'à 100 kHz avec une erreur maximale de -11,8%. Comme cette bobine est très petite, elle est valable pour la mesure très près des sources aussi bien que pour les mesures loin des sources. Comme cette bobine compte peu de tours de fils (38 tours), elle est peu sensible. Elle nécessite des champs relativement élevés en intensité ou en fréquence. En effet, une hausse de fréquence compense une faible amplitude car le voltage développé aux bornes d'une bobine est fonction non seulement de l'amplitude du champ magnétique mais aussi du taux de changement de ce champ. Elle doit être orientée dans toutes les directions pour la recherche du vecteur maximum. La distance de la source à la bobine doit être mesurée par rapport au milieu de son épaisseur et non de sa face avant. Ce qui nous donne une distance minimale de 3 mm.

Pour des champs n'excédant pas 300 kHz :

La bobine IRSST modèle 1 a une surface d'intégration de 45,4 cm² et un noyau d'air. Son équation de conversion de voltage à tesla est :

$$B \text{ (tesla rms)} = \frac{4,39 \times E \text{ (V}_{rms}\text{)}}{f \text{ (Hz)}}$$

Son étalonnage est valide jusqu'à 300 kHz avec une erreur maximale de +5%. Comme cette bobine



est de dimension moyenne, elle est valable pour la mesure de sources 5 fois plus grandes que son diamètre aussi bien que pour les mesures loin des sources. Comme cette bobine compte peu (8) de tours de fils, elle est peu sensible. Elle nécessite des champs élevés en intensité ou en fréquence. Elle doit être orientée dans toutes les directions pour la recherche du vecteur maximum. La distance minimale de mesure est de 3 mm.

Mode d'opération :

Branchez la bobine appropriée au canal A de l'oscilloscope (figure 5) à l'aide de l'adaptateur pour convertir la fiche banane en une fiche BNC. Si ce n'est déjà fait, alignez la borne terre (une oreille marquée «GND» se trouve sur le côté terre de la fiche banane mâle) de la fiche banane mâle surmontée de la vis (pour la bobine Perfection Mica) avec la borne noire de la prise banane femelle, de sorte que les mises à la terre soient reliées entre elles.

Allumez l'oscilloscope en appuyant sur le bouton vert «on/off» en bas à gauche de l'instrument (Figure 6). Assurez-vous qu'il soit en mode «scope» en appuyant sur le bouton gris «Scope».

Assurez-vous que le ratio de sonde soit à 1:1 sur l'oscilloscope (la ligne du haut affiche «1:1 probe»). Dans le cas contraire, appuyez sur le bouton noir «LCD» puis sur le bouton bleu correspondant à «Probe Cal». Choisissez à l'aide des boutons bleus de défilement vers le haut et vers le bas (au haut du clavier et à droite) le ratio 1:1 pour le canal A.



Figure 5 : Bobine uniaxiale Perfection Mica raccordée à l'oscilloscope Fluke 97

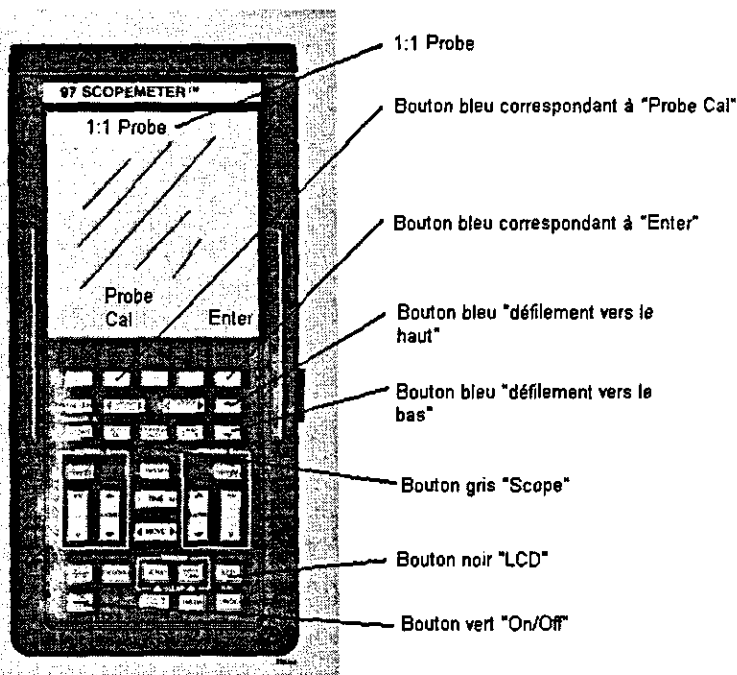


Figure 6 : Opérations pour régler le ratio de sonde à 1:1



Lorsque la source émet un champ, faites un réglage automatique de l'oscilloscope en appuyant sur le bouton turquoise «Autoset»⁽¹⁾ (figure 7). Orientez la sonde selon différentes directions pour optimiser l'intensité. Appuyez de nouveau sur «Autoset» pour régler l'amplitude si c'est nécessaire.

Placez l'oscilloscope en mode «single» en appuyant sur le bouton «SCOPE» (figure 7) puis appuyez sur le bouton bleu de la 1^{ère} colonne pour obtenir le mode «single». Dans ce mode, l'oscilloscope agit comme une caméra : lorsque la source émettra son champ magnétique appuyez sur le bouton «Hold/Run» (au-dessus du bouton vert «on/off»). Le signal sera ainsi capturé à l'écran de l'oscilloscope et y demeurera aussi longtemps que vous n'appuierez pas de nouveau sur le bouton «Hold/Run».

Pour ajuster manuellement l'amplitude du signal, appuyez d'un côté ou de l'autre du bouton gris foncé «mV/V» dans l'encadré blanc «Channel A» (figure 7) et pour ajuster manuellement le nombre de cycles apparaissant à l'écran, appuyez d'un côté ou de l'autre du bouton noir «s TIME ns». Pour chaque nouvel ajustement de l'amplitude ou du balayage, vous ne pourrez voir les résultats qu'en capturant une nouvelle onde en appuyant de nouveau sur «Hold/Run».

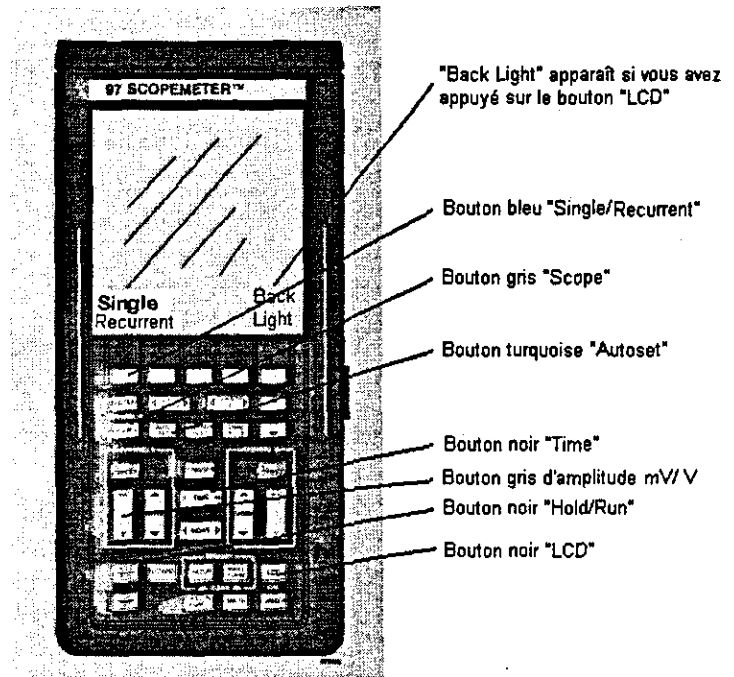


Figure 7 : Opérations pour saisir un signal

(1) Vous pouvez éclairer l'écran de l'oscilloscope en appuyant sur le bouton noir «LCD» (Liquid Cristal Display) puis sur le 5^{ème} bouton bleu «Back Light». Utilisez les boutons bleus de défilement vers le haut et vers le bas, pour régler le contraste.



Lorsque vous êtes satisfait de la clarté du signal et que celui-ci représente le signal maximum obtenu par orientation optimale de la bobine, placez-le en mémoire :

Appuyez sur le bouton gris «waveform» dans la case blanche «Memory» (figure 8). Appuyez sur le bouton bleu de la 3^e colonne correspondant à «copy». Utilisez les boutons bleus de défilement vers le haut et vers le bas, pour choisir le canal A puis appuyez sur le bouton bleu correspondant à «Enter». Puis choisissez la mémoire dans laquelle vous voulez mémoriser le signal à l'aide des boutons bleus de défilement vers le haut et vers le bas, ensuite appuyez sur le bouton bleu correspondant à «Enter». Il est recommandé d'identifier le contenu de chaque mémoire sur une feuille à part puisque vous ne pouvez identifier chaque tracé à l'oscilloscope.

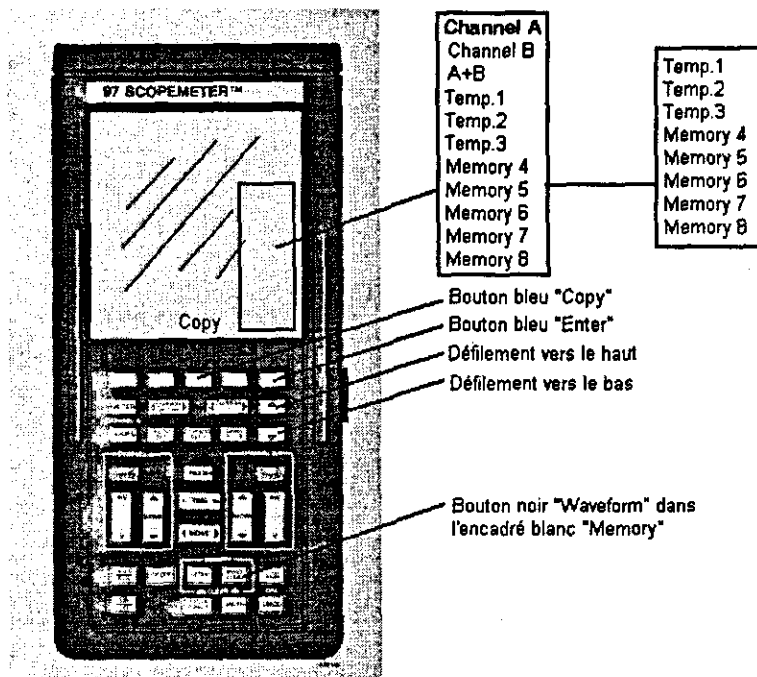


Figure 8 : Opérations pour mettre une forme d'onde en mémoire



3. OBTENTION DE LA TRANSFORMÉE DE FOURIER RAPIDE (TFR)

La TFR s'obtient par le logiciel qui accompagne l'oscilloscope Fluke 97. Pour démarrer le logiciel, l'oscilloscope doit être relié à l'ordinateur, par le port RS-232. Utilisez le câble noir fourni avec l'oscilloscope, il est muni d'un interface optique à RS-232. La partie optique du câble s'agrippe au côté droit de l'oscilloscope. Le mot PHILIPS sur le coupleur optique doit faire face vers le haut. L'ordinateur doit avoir un écran VGA ou EGA. Pour optimiser la vitesse d'opération, la disquette devrait être copiée sur le disque dur. Par contre, le logiciel peut fort bien fonctionner à partir de la disquette. N.B. La disquette ne doit pas être protégée en écriture.

Mode d'opération :

Placez-vous en mode DOS. Allumez l'oscilloscope.

- 1) Appelez le répertoire «FlukeTFR» (cd FlukeTFR) et tapez 97. L'oscilloscope doit être relié au port de communication COM 1. Tapez 97 2 s'il est relié au port COM2. Des dessins verts apparaissent à l'écran (fig.9), faites retour. «Com1 : Baud Rate 9600» apparaît au haut de l'écran. Si la communication a réussi avec l'oscilloscope, «ScopeMeter model 97; V4,02; 92-11-03» apparaît au bas de l'écran maintenant de couleur bleue. Si le message «ScopeMeter Not Responding» apparaît, c'est que l'oscilloscope n'est pas allumé. Allumez-le et recommencez la procédure.
- 2) Choisissez «Waveform & Setup to Binary (.BWV)» pour créer un fichier binaire du signal mémorisé dans l'oscilloscope. L'extension .BWV sera ajoutée automatiquement.
- 3) Dans le champ «SELECT WAVEFORM TO TRANSFER», choisissez la mémoire dans laquelle vous avez enregistré le signal. Le pourcentage de données transférées s'inscrit. Lorsque le transfert est complété, «COMPLETE» apparaît.
- 4) À la question «Save waveform»? Tapez «Y » (Yes), puis faites retour.
- 5) À la commande «Enter name of file», choisissez un nom de 8 caractères au maximum pour le signal. L'extension BWV sera ajoutée automatiquement.
- 6) Choisissez «Convert» sur la ligne de commande supérieure avec les touches «◀▶».
- 7) Choisissez .BWV to .WAD avec les touches «▶», pour générer un fichier sur lequel une TFR pourra être effectuée.

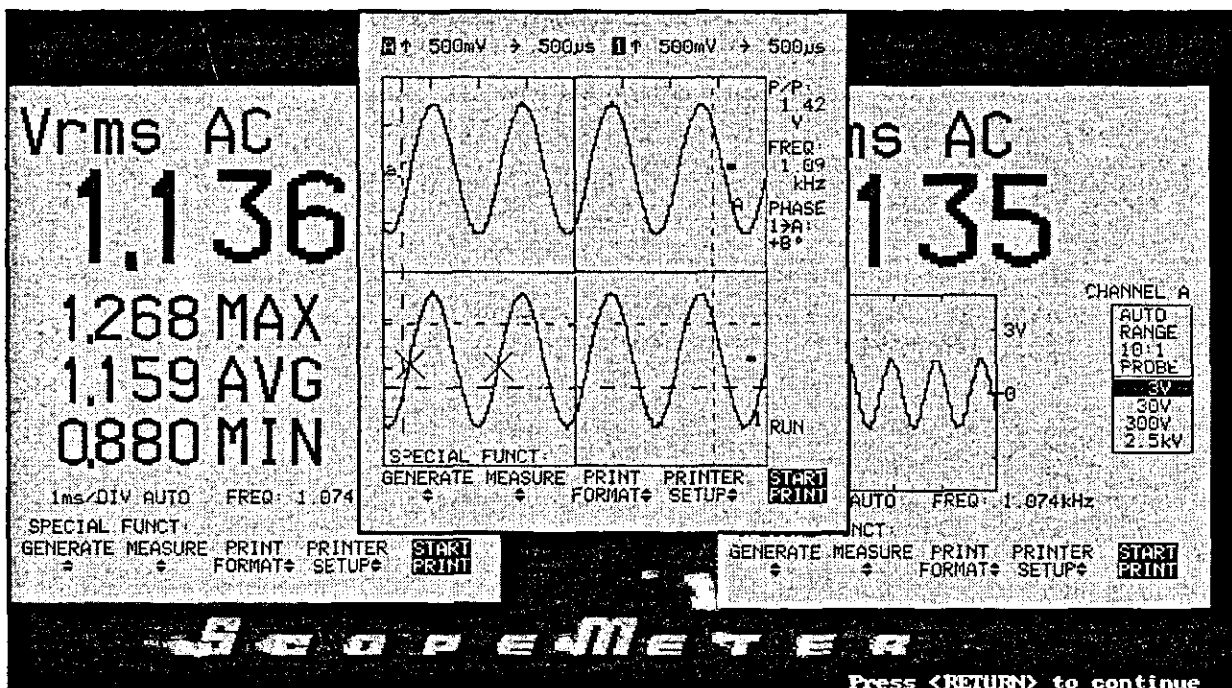


Figure 9 :Écran d'ouverture du programme «97» pour le transfert des données de l'oscilloscope vers l'ordinateur et la création de fichiers .BWV et .WAD.

- 8) À la question « File spec : *.BWV », entrez le même nom que précédemment puis faites retour. L'extension .BWV ne doit pas être effacée. Rajoutez-la si nécessaire.
- 9) Nom.BWV apparaît à l'écran dans une boîte. Faites retour. «Connecting to .WAD» apparaît. «Sample Size = xx». À la question «Save Waveform» tapez «Y» (Yes) puis retour.
- 10) «Enter name of file» : Tapez le même nom que précédemment (8 caractères maximum) puis retour. L'extension .WAD est ajoutée automatiquement.
- 11) «Enter graphic name» : tapez le nom que vous voulez voir apparaître au-dessus du graphique.
- 12) Allez dans le champ «Miscellaneous» et choisissez «Quit» avec les touches ▲▼ ou faites F10.
- 13) Tapez : «Timeview» puis retour. Si « can't find configuration ou can't find National Interface Card» apparaît tapez retour à chaque fois.
- 14) L'écran suivant apparaît (fig. 10) suivi de «No data».

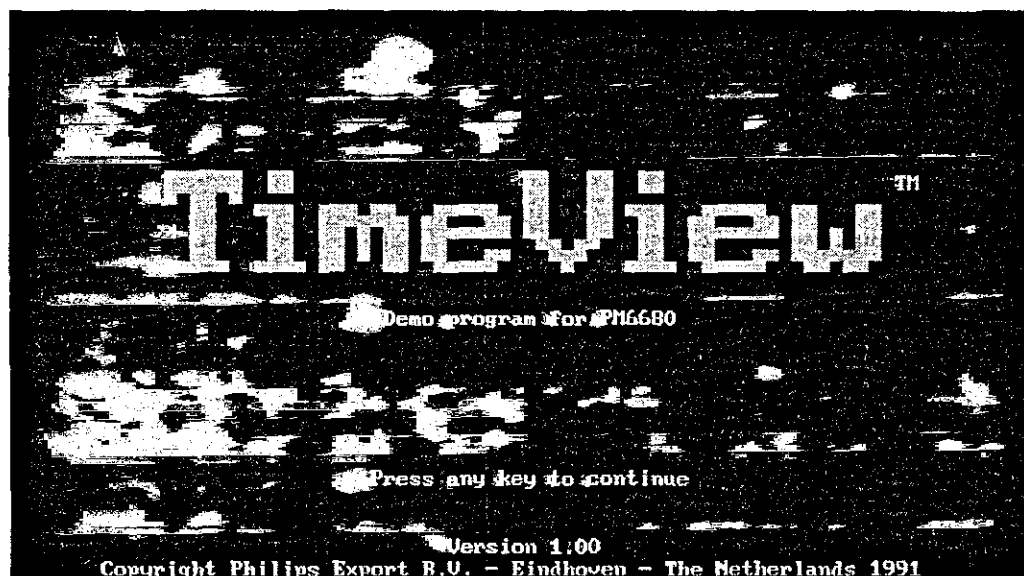


Figure 10 :Écran d'ouverture du programme Timeview pour permettre de visualiser les signaux acquis en usine et d'effectuer une TFR.

- 15) Choisissez le champ «File» en tapant Alt F
- 16) Choisissez «Retrieve» avec les touches ▲▼ ou tapez R
- 17) Puis par les touches ▲▼ et ◀ ▶ choisissez le champ «Waveform data», puis choisissez le fichier voulu, puis retour.
- 18) Vous êtes maintenant dans le mode graphique temporel, le signal qui apparaît est identique à ce que vous aviez sur l'oscilloscope en usine. Quittez le curseur de commande par la touche d'échappement. Retournez au curseur de commande en appuyant sur Alt et la première lettre de la commande. Utilisez le curseur rouge en faisant appel aux touches ◀ ▶ et le curseur vert par les touches «Shift ◀ ▶».
- 19) Pour effectuer la transformée de Fourier rapide (TFR) sur le signal, allez à la colonne «ANALYSE» en appuyant sur «Alt Analyse».
- 20) Choisissez «Fast Fourier Transform» pour effectuer une TFR.
- 21) Faites «Go» ou F7 suivi de retour.
Pour imprimer, appuyez sur «Alt Print» ou faites F9 puis retour.



- 22) Contrôlez le curseur rouge par les touches ◀ ▶ et le curseur vert par les touches «Shift◀ ▶».

«Home» : pour déplacer le curseur au début.

Fin (End) : pour déplacer le curseur à la fin.

Défilement activé (Scroll lock on) : pour choisir avec les touches ◀ ▶ le curseur vert.

Défilement désactivé (Scroll lock off) : pour choisir avec les touches ◀ ▶ le curseur rouge.

Ctrl ◀ ▶ pour déplacer le curseur rouge rapidement.

Ctrl Alt ◀ ▶ pour déplacer le curseur vert rapidement.

- 23) Appuyez sur Échappement (Escape) pour reprendre le contrôle des commandes.
- 24) Pour visualiser un autre fichier, tapez sur «Alt File».
- 25) Pour sortir, faites «Alt File» puis Exit.



4. ÉVALUATION DE L'EXPOSITION

Dans le graphique TFR (figure 11), déplacez le curseur rouge ou vert sur chacune des extrémités supérieures des composantes entre 0 Hz et la fréquence supérieure d'étalonnage de la bobine. Notez la valeur de chacune des amplitudes données par la valeur des «y» et des fréquences correspondantes données par les «x». Elles apparaissent au bas de l'écran.

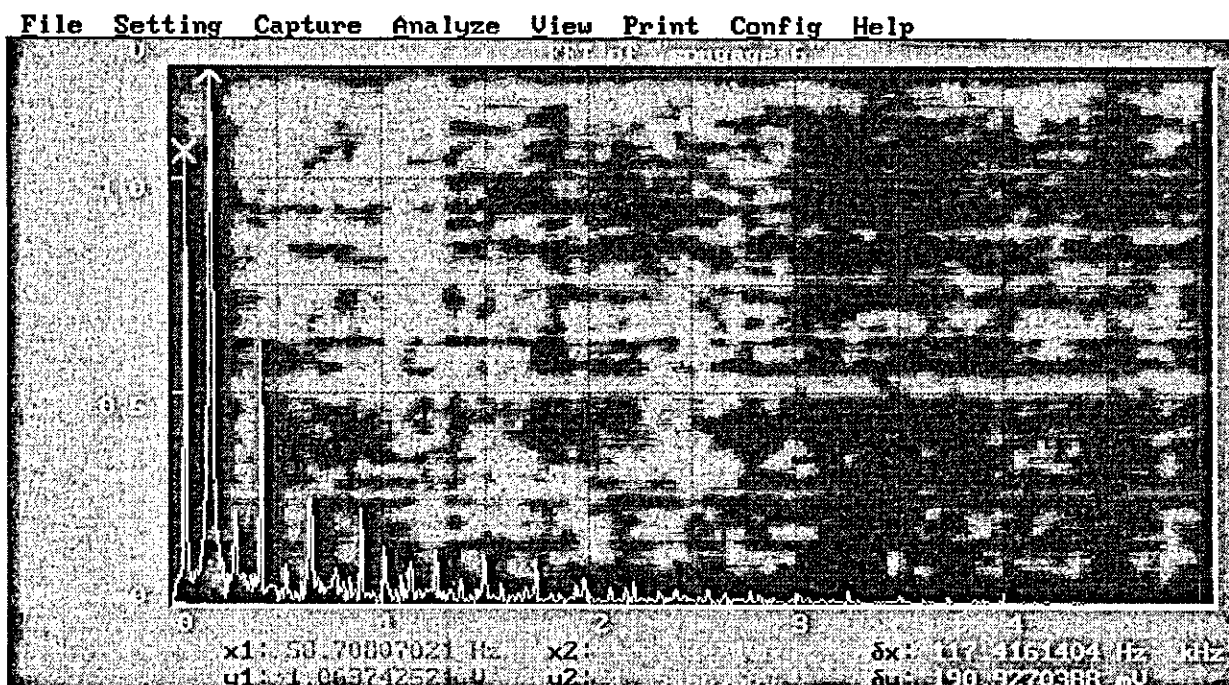


Figure 11 : Exemple de TFR pour l'évaluation de l'exposition.

Entrez ces valeurs dans l'équation affichée après la bobine afin de trouver la valeur correspondante en tesla pour chacune des raies. Attention, pour la bobine Perfection Mica, les valeurs doivent être en millivolts.

Comparez ces valeurs avec les recommandations de l'ACGIH 1996. Attention, des transitions ont lieu pour les fréquences de 300 Hz, 30 kHz et 100 kHz.

Exemple:

La première raie sur la figure 11 possède une amplitude de 1,06 volt rms et une fréquence de 58,7 Hz. Pour convertir cette première raie en tesla nous utilisons l'équation fournie avec la bobine.



Supposons que nous ayons utilisé la bobine Perfection Mica, l'équation est :

$$B \text{ (tesla rms)} = \frac{60 \times E \text{ (mV}_{rms})}{56 \times f \text{ (Hz)} \times 10^4}$$

d'où l'amplitude de la première fréquence :

$$B \text{ (tesla rms)} = \frac{60 \times 1,06 \times 10^3 \text{ mV}_{rms}}{56 \times 58,7 \text{ Hz} \times 10^4}$$

Soit $1,9 \times 10^{-3}$ tesla rms ou $1,9 \text{ mT}_{rms}$. La recommandation de l'IRPA est de $0,5 \text{ mT}_{rms}$ et celle de l'ACGIH 1997 est de 1 mT_{rms} . Il y a donc dépassement pour la première fréquence de 58,7 Hz.

N.B. La fréquence est de 60Hz en réalité. Il s'agit d'une imprécision due à l'échantillonnage de l'oscilloscope.

La seconde fréquence se trouve à 180 Hz (176 Hz au graphique) ou 3^e harmonique de 60 Hz, son amplitude est de 1,25 volt rms.

D'où :

$$B \text{ (tesla rms)} = \frac{60 \times 1,25 \times 10^3 \text{ mV}_{rms}}{56 \times 180 \text{ Hz} \times 10^4}$$

Soit : 744×10^{-6} tesla rms ou $744 \mu\text{T}_{rms}$. La recommandation de l'ACGIH 1996 à 180 Hz est de $60/180 \text{ mT}_{rms}$ ou $333 \mu\text{T}_{rms}$. De nouveau , il y a dépassement à 180 Hz.

On procède de même pour toutes les autres raies significatives à l'intérieur de la limite d'étalonnage de la bobine, soit 3 kHz dans ce cas.



5. TRACÉ DE LA LIGNE DE SEUIL (OPTIONNEL)

Comme le voltage aux bornes de la bobine croît linéairement avec la fréquence et comme la recommandation de l'ACGIH 1996 décroît linéairement avec la fréquence entre 0 et 300 Hz, la combinaison des deux phénomènes nous donne une droite horizontale qui sert de seuil limite. Ainsi donc, on pourra d'un seul coup d'oeil, voir quelles raies dépassent les recommandations. Pour ce, il suffit de trouver à quel voltage correspond la recommandation entre 0 et 300 Hz puis de tracer une courbe à ce voltage. Toute raie qui dépasse la courbe, excède la recommandation.

Entre 0 et 300 Hz pour la bobine Perfection Mica :

Le fabricant donne :

$$B \text{ (tesla rms)} = \frac{60 \times E \text{ (mV}_{rms})}{56 \times f \text{ (Hz)} \times 10^4}$$

D'où :

$$E \text{ (mV rms)} = \frac{B \text{ (tesla rms)} \times 56 \times f \text{ (Hz)} \times 10^4}{60} \quad (1)$$

Sachant que la recommandation de l'ACGIH 1996 entre 0 et 300 Hz est de :

$$\frac{60}{f \text{ (Hz)}} \times 10^{-3} \text{ (tesla rms)} \quad (2)$$

En substituant (2) dans (1) :

$$E \text{ (mV rms)} = \frac{60 \times 10^{-3} \text{ (tesla rms)} \times 56 \times f \text{ (Hz)} \times 10^4}{f \text{ (Hz)} \times 60}$$

Notez que le seul paramètre, soit la fréquence s'annule dans l'équation ci-haut. C'est pourquoi nous obtenons une constante peu importe la fréquence

Soit :

$$E \text{ (mV rms)} = 560$$



Traçons donc sur la figure 12 une droite horizontale à 560 mV entre 0 et 300 Hz. Toutes les raies qui dépasseront cette valeur (pour des mesures effectuées avec la bobine Perfection Mica) seront au-dessus de la recommandation.

Entre 300 Hz et 30 kHz pour la bobine Perfection Mica :

Sachant qu'entre 300 Hz et 30 kHz l'ACGIH 1996 donne un seuil de 0,2 mT, voyons quel voltage est généré aux bornes de la bobine pour un champ de 0,2 mT de densité magnétique.

$$E \text{ (mV rms)} = 0,2 \times 10^{-3} \text{ (tesla rms)} \frac{56 \times f \text{ (Hz)} \times 10^4}{60}$$

Soit :

$$E \text{ (mV rms)} = 1,87 \times f \text{ (Hz)}$$

Ou encore :

$$E \text{ (volts rms)} = 1,87 \times 10^{-3} \times f \text{ (Hz)}$$

La ligne de seuil prend l'allure d'une droite ascendante de la forme $y = mx$ où y est le voltage de la raie (c'est-à-dire le voltage aux bornes de la bobine), m la pente positive qui est égale à $1,87 \times 10^{-3}$, et x est la fréquence en hertz.

Pour dessiner cette droite, il nous faut deux points. Or l'un des deux points est déjà connu à 300 Hz puisque la droite horizontale est déjà tracée, pour ce qui est du second point, il est possible de l'évaluer n'importe où dans le spectre.

Prenons 500 Hz. L'équation du tableau 2, pour la bobine Perfection Mica et pour des fréquences situées entre 300 Hz et 30 kHz, donne une valeur de $[1,87 \times 10^{-3} \times 500 \text{ Hz}]$ volt soit 0,93 volt. Ce voltage doublera pour tous les multiples de 500 Hz. Toutes les raies qui excéderont cette ligne, dépasseront la recommandation de l'ACGIH 1997.

Nous pouvons maintenant compléter la ligne de seuil telle qu'illustrée sur la figure 12.

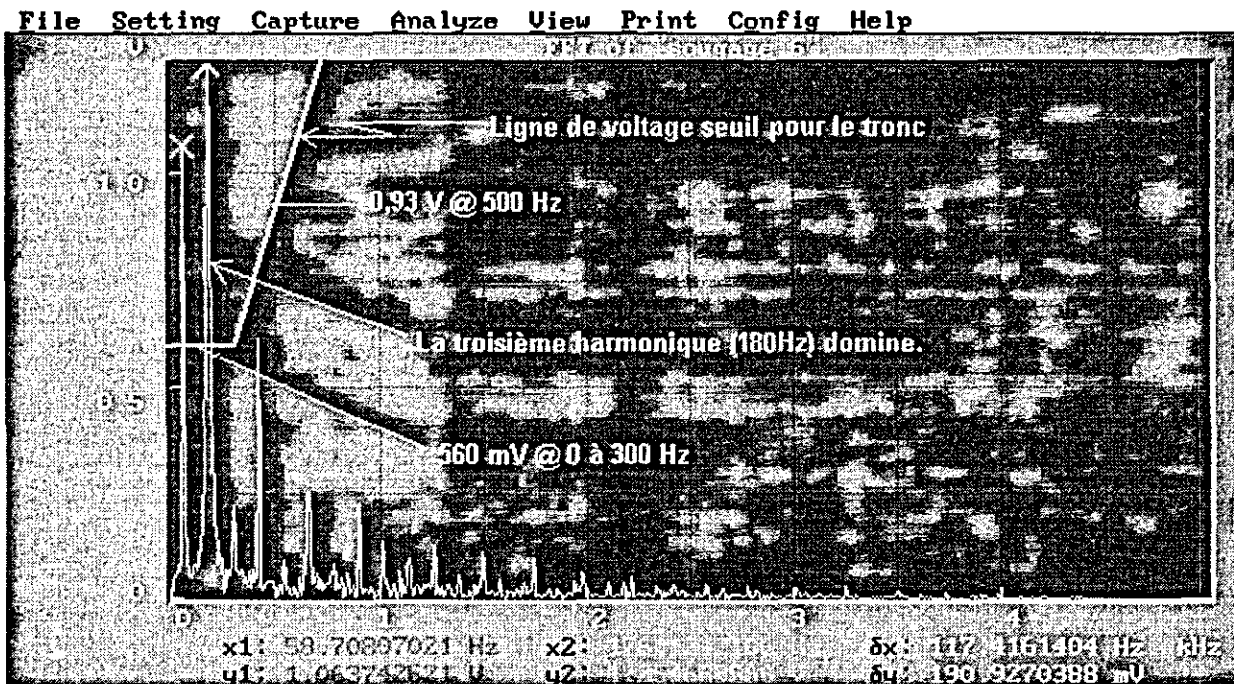


Figure 12 : Exemple de ligne de voltage seuil pour le tronc

Le tableau 1 résume les équations à utiliser selon la bobine de mesure.

| Tableau 1 : Équations d'équivalence voltage/densité magnétique pour les 3 bobines | | |
|---|---|---|
| Bobine | 1 Densité magnétique en fonction du voltage aux bornes de la bobine et de la fréquence | 2 Voltage aux bornes de la bobine en fonction d'une densité magnétique recherchée pour une fréquence donnée |
| Perfection Mica | $B(T_{rms}) = \frac{60 \times E (mV_{rms})}{56 \times f (Hz) \times 10^4}$ | $E (mV) = \frac{B(T_{rms}) \times 56 \times f (Hz) \times 10^4}{60}$ |
| RFL 49922 | $B(T_{rms}) = \frac{10,67 \times E (V_{rms})}{f (Hz)}$ | $E (V_{rms}) = \frac{B(T_{rms}) \times f (Hz)}{10,67}$ |



| Tableau 1 : Équations d'équivalence voltage/densité magnétique pour les 3 bobines | | |
|---|---|---|
| Bobine | 1 Densité magnétique en fonction du voltage aux bornes de la bobine et de la fréquence | 2 Voltage aux bornes de la bobine en fonction d'une densité magnétique recherchée pour une fréquence donnée |
| IRSST # 1 | $B(T_{rms}) = \frac{4,39 \times E (V_{rms})}{f (Hz)}$ | $E (V_{rms}) = \frac{B(T_{rms}) \times f (Hz)}{4,39}$ |

Où : B : densité magnétique
E : tension aux bornes de la bobine
f : fréquence
rms : valeur efficace (root mean squared)

Les équations de la colonne 1 permettent de transformer une lecture de voltage aux bornes de la bobine en densité magnétique. Les équations de la colonne 2 permettent de cibler un voltage pour une recommandation de densité magnétique. Cette façon de procéder est particulièrement utile lorsque vous désirez déterminer une zone «sécuritaire».

Les équations de la colonne 2 ont été résolues pour les recommandations de l'ACGIH 1997 et les constantes ou équations simplifiées sont rapportées au tableau 2.

Ainsi, pour la mesure illustrée à la figure 12, nous observons clairement la domination de la troisième harmonique (180 Hz). Se référant au tableau 2, une fréquence de 180 Hz mesurée avec la bobine Perfection Mica ne doit pas excéder 560 mV. On déplacera donc la bobine de la source jusqu'à une distance telle que notre instrument de lecture indique une valeur de 560 mV. On répétera cette opération tout autour de la source pour finalement déterminer une zone dite sécuritaire.

N.B. Le voltage lu à l'instrument de mesure correspond à la somme de toutes les fréquences présentes dans le spectre. Idéalement nous ne voudrions lire que la valeur correspondant à 180 Hz. On devra donc s'attendre à trouver une légère différence entre la valeur lue à l'instrument de mesure et la valeur de l'amplitude de la troisième harmonique lors d'une vérification à l'analyse spectrale. Cette différence n'aura pour conséquence, que d'augmenter légèrement la distance de sécurité.



| Tableau 2 : Valeurs de voltage seuil, basées sur les recommandations de l'ACGIH 1997, pour différentes bobines | | | | |
|---|---|---|--|--|
| Bobine | Fréquences | | | |
| | 0 à 300 Hz | 300Hz à 30 kHz | 30 kHz à 100 kHz | 100 kHz à 300 kHz |
| Perfection Mica | 560 mV pour le tronc | $1,87 \times 10^{-3} \times f$ (Hz) volt pour le tronc jusqu'à 3 kHz | Hors étalonnage | Hors étalonnage |
| RFL 49922 | 5,62 mV pour le tronc | $1,87 \times 10^{-5} \times f$ (Hz) volt pour le tronc | $1,87 \times 10^{-5} \times f$ (Hz) volt permet une exposition continue ⁽¹⁾ | Hors étalonnage |
| IRSST # 1 | 13,7 mV pour le tronc | $4,56 \times 10^{-5} \times f$ (Hz) volt pour le tronc | $4,56 \times 10^{-5} \times f$ (Hz) volt permet une exposition continue ⁽¹⁾ | 4,56 volts permet une exposition continue ⁽¹⁾ |
| Recommandations de l'ACGIH 1997 N.B. Les valeurs de voltage dans le tableau suivent les facteurs de multiplication ou division | $60/f$ (Hz) mT pour le tronc 5 fois plus pour les bras et les jambes 10 fois plus pour les mains et les pieds 10 fois moins pour les porteurs de stimulateur cardiaque | 0,2 mT pour le tronc 5 fois plus pour les bras et les jambes 10 fois plus pour les mains et les pieds | 163 A/m ou 0,2 mT doit être comparé à la racine carrée de l'exposition au carré pondérée sur 6 minutes | $[16,3/f$ (MHz)] A/m ou $[0,02/f$ (MHz)] mT doit être comparé à la racine carrée de l'exposition au carré pondérée sur 6 minutes |

(1) Une valeur de voltage plus élevée est acceptable si l'exposition est intermittente. Une pondération sur 6 minutes de l'exposition doit alors être calculée et comparée à la recommandation. N.B. La pondération sur 6 minutes doit toujours se faire avec une puissance et non une intensité. C'est pourquoi l'intensité magnétique doit être élevée au carré avant de faire la moyenne temporelle.



N.B. Assurez-vous que l'instrument de mesure de voltage alternatif que vous utilisez possède une bande passante qui laisse passer la fondamentale ainsi que ses 10 premières harmoniques.

L'oscilloscope Fluke 97 mesure jusqu'à 50 MHz en mode oscilloscope (bouton scope), 5 MHz en mode compteur de fréquences (boutons memory recall, setup, setup 1) et 1 MHz en mode multimètre (bouton meter).

Pour une fréquence égale ou plus élevée que 300 kHz, utilisez le champmètre Narda 8716 jumelé à sa sonde magnétique et le module de pondération temporelle Narda 8696. Le Narda 8716 utilise des sondes qui sont pondérées en fréquences. Ainsi, qu'il y ait une ou plusieurs fréquences ou harmoniques, l'instrument pondère chaque fréquence individuellement en fonction de la recommandation ANSI C95.1-1992/ACGIH 1997 et fournit un pourcentage de la recommandation comme valeur finale.

Le module 8696 pondère la lecture du 8716 en pourcentage. On obtient ainsi sur le 8696, un pourcentage du pourcentage d'échelle choisie sur le 8716.

Exemple 1)

L'échelle du 8716 est à 300% et la lecture du 8696 donne 75% après 6 minutes . La réponse est 75% de 300% soit 225% de la recommandation. Il y a donc dépassement de la norme ANSI C95.1 1992/ACGIH 1997.

Exemple 2)

L'échelle du 8716 est à 3% et la lecture du 8696 donne 92% après 6 minutes . La réponse est 92% de 3% soit 2,8% de la recommandation. Il n'y a donc pas de dépassement de la norme ANSI C95.1 1992/ACGIH 1997.