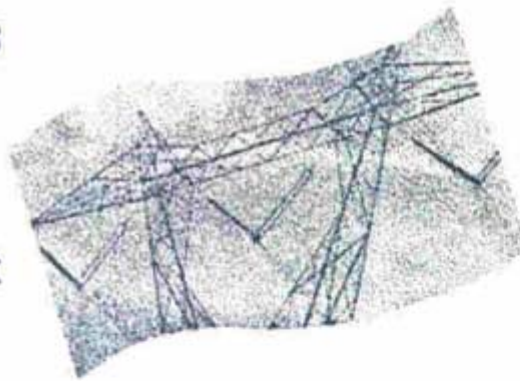


**Guide d'utilisation d'instruments
pour la mesure du
champ magnétique à 60 Hertz
dans le milieu industriel**

**Nature, sources, évaluation
de l'exposition, recommandations et
moyens de contrôle**



**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Lambert Laliberté

Décembre 1997 R-178

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 du
champ magnétique à 60 Hertz
dans le milieu industriel**

**Nature, sources, évaluation
de l'exposition, recommandations et
moyens de contrôle**

Lambert Laliberté,
Programme soutien analytique, IRSST

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

RAPPORT

Table des matières

	page
AVIS AUX LECTEURS	1
NOTICE	1
REMERCIEMENTS	1
INTRODUCTION	2
I. RÉPONSES AUX QUESTIONS LES PLUS FRÉQUEMMENT DEMANDÉES	3
Quelle est la nature du champ magnétique ?	3
Quelle forme le champ magnétique prend-il dans l'espace ?	3
Pourquoi l'hygiéniste doit-il mesurer le champ magnétique ?	4
Comment exprime-t-on l'intensité du champ magnétique ?	6
La fréquence du champ magnétique a-t-elle une importance ?	6
Lorsque l'image sur un écran cathodique est déformée, suis-je exposé à un fort champ magnétique ?	7
Quelle intensité doit avoir un champ magnétique pour effacer une cassette audio, une carte de crédit ou une disquette d'ordinateur ?	7
II. LIMITES D'EXPOSITION	10
III. NOTIONS DE PHYSIQUE	13
A) Les sources	13
B) Le détecteur	16
C) Étalon de champ magnétique	18
D) Influence de la dimension et de la forme de la bobine et de la composition de son noyau	21
IV. SOURCES INDUSTRIELLES DE CHAMP MAGNÉTIQUE À 60 Hz	24
V. STRATÉGIE DE MESURE DE LA DENSITÉ MAGNÉTIQUE	27
A) Aspect Général	27
B) Cas concret	30
VI. MESURE DU CHAMP MAGNÉTIQUE AVEC LE TESLAMÈTRE DE MARQUE DEXIL FIELDSTAR 4 000	35

VII.	MESURE DU CHAMP MAGNÉTIQUE AVEC LE TESLAMÈTRE DE MARQUE HOLADAY HI-3627	53
VIII.	MESURE DES CHAMPS MAGNÉTIQUES AVEC LA BOBINE PERFECTION MICA ET L'OSCILLOSCOPE FLUKE 97.	56
IX.	MESURES DE PROTECTION DU TRAVAILLEUR	59
X.	BIBLIOGRAPHIE	61

Liste des annexes

	page
Annexe 1 : Champs magnétiques en bordure des lignes de transport	64
Annexe 2 : Sources industrielles de champs magnétiques	66
Annexe 3 : Sources domestiques de champs magnétiques à titre comparatif	76
Annexe 4 : Graphiques obtenus à l'aide du logiciel FSGP dans le mode «timed data»	84
Annexe 5 : Graphiques obtenus à l'aide du logiciel FSGP dans le mode «distance data» ...	88
Annexe 6 : Déploiement de la roue de mesure pour cartographier avec le teslamètre Fieldstar 4 000	92
Annexe 7 : Graphiques obtenus à l'aide du logiciel FSGP dans le mode «mapping data» ...	98
Annexe 8 : Graphiques obtenus à l'aide du logiciel FSGP dans le mode «spot reading» ...	109

Liste des figures

	page
Figure 1 : Analogie entre le champ magnétique et la turbulence de l'eau autour de la cuillère de pêche.	4
Figure 2 : Sonde uniaxiale formée de plusieurs tours de fil pour mesurer le champ magnétique.	17
Figure 3 : Étalon de champ magnétique formé d'une seule bobine	18
Figure 4 : Étalon de champ magnétique obtenu à l'aide de la bobine de Helmholtz	20
Figure 5 : Similitude entre la surface d'intégration d'une bobine et la longueur du clinomètre pour déceler les gradients	21
Figure 6 : Importance de la géométrie et de la composition du noyau dans une bobine de mesure	23
Figure 7 : Télémètre à laser	28
Figure 8 : Inducteur de courant de Foucault	30
Figure 9 : Forme d'onde sinusoïdale obtenue autour de l'inducteur	32
Figure 10 : Fieldstar 4 000 utilisé comme teslamètre à lecture directe	35
Figure 11 : Utilisation du Fieldstar 4 000 avec la roue de mesure pour cartographier un site	44
Figure 12 : Clavier du Fieldstar 4 000	45
Figure 13 : Teslamètre triaxial Holaday HI-3627	53
Figure 14 : Oscilloscope Fluke 97	54
Figure 15 : Bobine uniaxiale Perfection Mica raccordée à l'oscilloscope Fluke 97	56
Figure 16 : Écriteau de mise en garde	59
Figure 17 : Pince ampèremétrique	60

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.

NOTICE

Les lignes de transport et de distribution d'électricité de même que les appareils de transformation de l'énergie électrique ainsi qu'une part importante de la machinerie industrielle mue par l'électricité constituent les principales sources de champs magnétiques à 60 Hz.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier monsieur Mario Belisle pour les photos et les nombreuses personnes de l'IRSST qui ont collaboré à la réalisation de ce document.

INTRODUCTION

Ce guide d'utilisation d'instruments de mesure du champ magnétique 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 teslamètre/dosimètre Fieldstar 4 000 de Dexsil. Des explications additionnelles sont fournies pour le Holaday HI-3627 et pour l'oscilloscope numérique Fluke modèle 97 dont la mallette de transport contient également la bobine étalonnée Perfection Mica. L'utilisation de ces deux instruments permet à l'utilisateur de bien identifier la fréquence du champ magnétique et son unicité, facteurs essentiels pour bien appliquer les recommandations de l'ACGIH⁽²⁾, de l'INIRC⁽³⁾ ou du CENELEC⁽⁴⁾.

Le présent document ne traite pas des effets biologiques entraînés par une exposition aux champs 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 magnétiques de 60 Hz.

La section I répond à une série de questions souvent demandées par les hygiénistes. La section II porte sur les limites d'exposition des travailleurs. On notera les limites spécifiques pour le tronc, les membres, les extrémités et pour les porteurs de stimulateurs cardiaques ou prothèses. Les notions de physiques introduites à la section III présentent les sources les plus simples (géométriquement) de champs magnétiques à 60 Hz et la façon d'en évaluer mathématiquement la densité magnétique, les équations qui lient la densité magnétique à la tension développée aux bornes de la bobine de mesure, la construction d'un étalon de champ magnétique et l'importance de la géométrie de la bobine sur la précision de la mesure. Une liste partielle de sources de champs magnétiques est présentée à la section IV. Une stratégie générale pour la mesure de la densité magnétique et un exemple concret sont présentés à la section V afin de choisir l'instrument ou les instruments appropriés à l'évaluation d'une source. Les sections VI, VII et VIII décrivent la procédure d'utilisation des différents instruments de mesure. Enfin la section IX propose des mesures de protection pour le travailleur.

-
- (1) CSST : Commission de la santé et de la sécurité du Travail du Québec
- (2) ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists
- (3) INIRC: International Non-Ionizing Radiation Committee
- (4) CENELEC : Comité européen de normalisation électrotechnique

I. RÉPONSES AUX QUESTIONS LES PLUS FRÉQUEMMENT DEMANDÉES

Quelle est la nature du champ magnétique ?

La vraie nature du champ magnétique est encore inconnue. Ce que l'on sait à l'heure actuelle, c'est que le champ magnétique est un champ de force. Cette force émane d'une particule chargée seulement lorsqu'elle est en mouvement et n'agit que sur d'autres particules chargées seulement lorsqu'elles sont en mouvement.

Donc, tout courant électrique, aussi faible soit-il, sera toujours accompagné d'un champ magnétique. La propagation de l'influx nerveux ainsi que le déplacement constant des particules physiques et chimiques dans l'organisme humain génèrent des champs magnétiques. Ils se situent aux environs de 10^{-11} et 10^{-13} tesla. La mise au point d'un instrument de mesure très sensible comme le SQUID (Supraconductor Quantum Interference Device) permet l'émergence de nouvelles disciplines médicales dans le domaine de la cartographie magnétique de l'influx nerveux que sont la magnétoencéphalographie (MEG), la magnétocardiographie (MCG), la magnétoencephalographie (MNG) et la magnétogastrographie (MGG). Le simple mouvement de rotation de l'électron sur lui-même (spin) engendre également un champ magnétique.

Le champ magnétique traverse aisément la grande majorité des matériaux. Le corps humain est facilement traversé par le champ magnétique sans même modifier sa trajectoire. Seuls les matériaux dits ferromagnétiques (fer, nickel, cobalt, etc.) ou ferrimagnétiques (ferrite, magnétite) peuvent affecter de façon significative le champ magnétique. Comme ces deux types de matériaux sont fortement attirés par un aimant, ils peuvent être facilement identifiés. Essayer de trouver le nord, à l'aide d'une boussole, lorsque vous êtes dans votre voiture !

Quelle forme le champ magnétique prend-il dans l'espace ?

Le champ magnétique origine du milieu dans lequel se déplacent les charges sous forme de cercles concentriques placés perpendiculairement autour du milieu conducteur. Ainsi, si l'on imagine un caillou tomber dans l'eau, le déplacement du caillou représente le déplacement de la charge et le déplacement des vagues à la surface de l'eau représente le champ magnétique. Noter que le déplacement des vagues se fait de façon concentrique et perpendiculaire au déplacement du caillou.

Dans l'air et le vide, le déplacement du champ magnétique s'effectue à la vitesse de la lumière. En plus d'un déplacement excentrique du conducteur, le champ magnétique effectue une rotation autour du milieu conducteur. Rotation dont le sens dépend du sens du courant qui l'engendre. Ainsi, si le courant change de sens 120 fois par seconde pour une ligne d'alimentation de 60 Hz, on observera 120 changements de rotation par seconde du champ magnétique autour du conducteur.

Améliorons notre modèle de la charge électrique et du champ magnétique en remplaçant le caillou et la vague dans l'exemple précédent par une cuillère de pêche placée dans l'eau (figure 1). Ainsi, la

cuillère représente la charge électrique et la perturbation de l'eau le champ magnétique. La direction du déplacement de la cuillère (courant électrique) impose un sens de rotation à la cuillère qui à son tour fait tourbillonner l'eau dans une direction. Ce tourbillonnement s'agrandit autour de la direction du déplacement de la cuillère tout en s'atténuant. Le tourbillonnement change de sens si la cuillère (courant) change de sens.

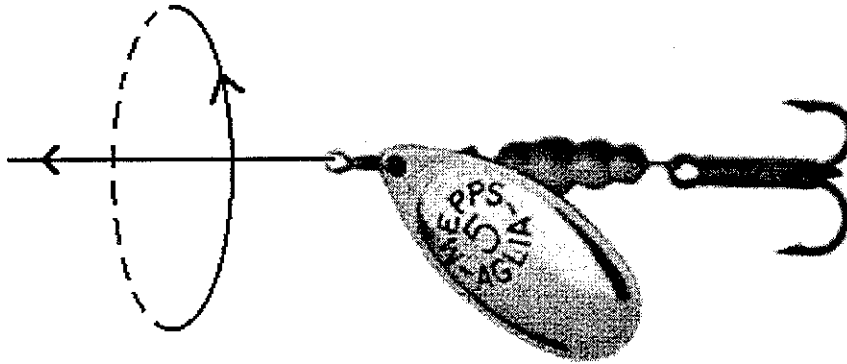


Figure 1 : Analogie entre le champ magnétique et la turbulence de l'eau autour de la cuillère de pêche.

Afin de respecter les conventions établies pour la polarité des tensions induites, il est important de connaître le sens de rotation du champ magnétique en fonction du sens de déplacement du courant électrique. Ainsi, la règle de la main droite, établit que pour un conducteur saisi dans la main droite avec le pouce pointant dans la direction conventionnelle du courant (courant non électronique), l'orientation des doigts donne le sens de rotation du champ magnétique.

Tout comme les vagues et les tourbillons s'atténuent avec la distance, ainsi il en sera avec le champ magnétique. De même qu'un récif peut modifier la trajectoire d'une vague en créant des remous, des matériaux ferro ou ferrimagnétiques peuvent créer des remous pour le champ magnétique. La raison en est simple. Ces matériaux sont plus facilement traversés que l'air. Le champ magnétique «préfère» donc les «emprunter» dans son déplacement. Ainsi, le champ a tendance à se «déverser» dans ce matériau lors de son déplacement. La dérivation du champ vers ces matériaux crée des gradients élevés de champ magnétique aux alentours de ces matériaux magnétiques. Le fer et l'acier doux (peu de carbone mélangé au fer contrairement à la fonte qui en contient beaucoup) sont des matériaux ferromagnétiques très répandus. Par contre, l'acier inoxydable et l'aluminium, également très répandus, n'ont aucun effet significatif sur le champ magnétique.

Pourquoi l'hygiéniste doit-il mesurer le champ magnétique ?

Le relevé des champs magnétiques en fonction des différents milieux de travail aide les épidémiologistes lors de leurs enquêtes sur les causes du cancer. De plus, les niveaux d'expositions rapportés au médecin permettent d'effectuer ou non un retrait préventif. L'hygiéniste doit s'appuyer sur des règlements ou recommandations en vigueur pour faire effectuer des changements dans le

milieu de travail. Ces règlements portent pour l'instant sur les tensions et densités de courants induits dans le corps par un champ magnétique extérieur. Comment cela se produit-il ?

D'abord parce que le champ magnétique dévie les charges mobiles qui circulent dans notre corps. Les ions dans notre sang en sont un bon exemple. Il dévie les charges mobiles positives d'un côté des artères et veines et les charges négatives de l'autre ce qui a pour effet de faire apparaître des tensions et des champs électriques dans notre corps. Ces champs électriques peuvent à leur tour faire apparaître des courants électriques.

De plus, par la loi d'induction de Faraday, un champ magnétique alternatif induit un courant circulaire dans un milieu conducteur. Plus le milieu conducteur qui baigne dans le champ magnétique occupe de l'espace, plus le courant est fort. Ainsi, une personne qui baignerait totalement dans un champ magnétique homogène, aurait une série de boucles de courant allant du plus fort à la surface au plus faible vers l'intérieur du corps.

L'équation suivante, permet de calculer la densité de courant induit dans le corps d'une personne soumise à un champ magnétique :

$$J = \frac{\pi r^2}{2 \pi r} \times \frac{d\vec{B}}{dt} \times \sigma = \frac{\sigma r}{2} \times \frac{d\vec{B}}{dt}$$

J : densité de courant induit (A/m)

r : rayon de la boucle inductive de tissus (m)

σ : conductivité (Siemens/m). Varie de 0,01 à 1 pour les tissus humains

dB/dt : taux de changement de la densité magnétique

$$J = \pi r f \sigma B_0$$

Pour un champ magnétique dont l'intensité varie de façon sinusoïdale de fréquence f, l'équation précédente se réduit à :

B_0 : amplitude du champ magnétique

f : fréquence en Hertz

Et finalement, certaines personnes possèdent des prothèses chirurgicales métalliques qui pourraient s'échauffer ou dont le fonctionnement électronique pourrait être perturbé par ces courants parasites.

Le travail de l'hygiéniste est de s'assurer que les tensions et courants induits ne dépassent pas un

certain niveau prescrit par les organismes de référence tels que l'ACGIH⁽¹⁾ ou l'INIRC⁽²⁾. Connaissant les liens entre tensions induites, courants induits et champ magnétique, il est plus facile de mesurer le champ magnétique et de s'assurer qu'il ne dépasse pas les niveaux prescrits en fonction des fréquences. Pour en savoir plus sur les effets biologiques qu'entraînerait une exposition supérieure aux recommandations et des effets controversés du champ magnétique, consulter la bibliographie ou 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».

Comment exprime-t-on l'intensité du champ magnétique ?

Le champ magnétique peut s'exprimer en ampère par mètre. C'est-à-dire que l'on mesure ou exprime, de façon sous-entendue, la force du champ magnétique par rapport à l'intensité du courant qui le génère pour une distance normalisée de 1 mètre. Ainsi donc, en connaissant uniquement le courant qui circule dans un conducteur, il est possible de connaître l'intensité du champ magnétique dans l'espace avoisinant. Or, nous avons vu que le fer peut faire dévier et intensifier les boucles de champ aussi appelées lignes de champ. Ce phénomène est très efficace pour plusieurs matériaux jusqu'aux fréquences d'environ 30 kHz (il s'étend jusqu'à 100 kHz mais en perdant plus ou moins rapidement son efficacité).

C'est pourquoi, jusqu'à cette fréquence, la plupart des organismes normatifs parle de densité des lignes de force plutôt que de l'intensité du champ magnétique, pour tenir compte des matériaux de l'environnement qui peuvent concentrer et intensifier les lignes de force en certains endroits de l'espace à la manière de rochers immergés qui augmentent les courants marins, en créant des remous, en certains endroits de la mer.

L'unité internationale qui exprime le nombre de lignes de force par unité de surface est le tesla et ses fractions sont le millitesla (mT, 1 / 1 000 de tesla) et le microtesla (uT, 1 / 1 000 000 de tesla).

La fréquence du champ magnétique a-t-elle une importance ?

Oui. Plus la fréquence d'un champ magnétique donné est élevée, plus l'intensité du courant induit dans les tissus du corps est élevée. C'est pourquoi le seuil limite des recommandations décroît proportionnellement avec la fréquence entre 0 et 300 Hz (ACGIH).

De plus, les instruments de mesure sont souvent limités à une fréquence bien précise ou à une bande de fréquences en dehors de laquelle l'instrument fait une erreur de mesure ou est tout simplement insensible.

(1) ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists

(2) INIRC : International Non-Ionizing Radiation Committee

Lorsque l'image sur un écran cathodique est déformée, suis-je exposé à un fort champ magnétique ?

Une valeur aussi faible que 1 uT est suffisante pour modifier la trajectoire des électrons dans le tube cathodique d'un écran couleur. Soit une valeur 500 fois plus basse que la recommandation de l'INIRC.

Quelle intensité doit avoir un champ magnétique pour effacer une cassette audio, une carte de crédit ou une disquette d'ordinateur ?

La force de démagnétisation est fonction du matériau utilisé pour enregistrer les données. Le tableau 1 illustre ce principe :

Tableau 1 : Force de démagnétisation pour la plupart des supports magnétiques		
Revêtement magnétique	Force magnétique coercitive H_{ci}	Densité magnétique minimale ⁽¹⁾ correspondante dans l'air environnant pour démagnétiser le revêtement
Oxyde ferrique gamma standard ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$)	25 kA/m	31 mT
Oxyde ferrique gamma particules fines	32 kA/m	40 mT
Oxyde ferrique gamma cubique	6 à 12 kA/m	8 à 15 mT
Oxyde ferrique gamma adsorbé au cobalt (grade audio)	44 kA/m	55 mT
Oxyde ferrique gamma adsorbé au cobalt (grade vidéo)	56 kA/m	71 mT
Oxyde ferrique adsorbé au cobalt	54 kA/m	68 mT
Oxyde ferrique modifié (dopé) au cobalt	32 kA/m	40 mT
Particules métalliques fer-cobalt	95 kA/m	120 mT

Tableau 1 : Force de démagnétisation pour la plupart des supports magnétiques		
Revêtement magnétique	Force magnétique coercitive H_{ci}	Densité magnétique minimale ⁽¹⁾ correspondante dans l'air environnant pour démagnétiser le revêtement
Particules métalliques fer-cobalt traitement H_2 à coercitivité très élevée	175 kA/m	220 mT
Particules métalliques fer et alliage de cobalt ou nickel	80 à 160 kA/m	101 à 202 mT
Bioxyde de chrome CrO_2 (cassette audio type II)	32 kA/m	40 mT
Carte de crédit et ruban d'ordinateur	20 kA/m	25 mT
Magnétite cubique	8 à 14 kA/m	10 à 18 mT
Magnétite aciculaire (Fe_3O_4)	28 kA/m	35 mT

Source : Camras Marvin, Magnetic Recording Handbook, Van Nostrand Reinhold, 1988, pp 108 à 117 et 584

- (1) Les appareils électroniques utilisent des valeurs 3 fois plus élevées afin d'obtenir un rapport signal/bruit de 60 dB lors du second enregistrement. Notez que le champ de démagnétisation est localisé dans un espace d'environ 6 microns et n'existe pratiquement plus passé la tête de démagnétisation.

Notez qu'il est pratiquement impossible de rencontrer de tels champs alternatifs dans la majorité des environnements. **Seuls des champs magnétiques statiques en provenance de barres de distribution à courant continu (on les retrouve dans l'industrie électrochimique) pourraient générer de tels champs.** Prenons pour exemple, une carte de crédit qui nécessite 25 mT de densité magnétique pour l'effacer. Quel courant devrait circuler dans un conducteur de distribution placé à 1 mètre de celle-ci pour pouvoir l'effacer ? Par la loi de Biot-Savard :

$$I = \frac{B \cdot 2 \pi r}{\mu_0} = \frac{25 \times 10^{-3} T \times 2\pi \times 1 m}{4\pi \times 10^{-7} \text{ weber/A-m}} = 39,7 \text{ kA}$$

où : 1 weber /m² = 1 tesla

Or, les courants nominaux de transmission pour une ligne de 735 kV sont de l'ordre de 2 kA mais peuvent atteindre 4 kA. Les courants nominaux dans les postes varient de 170 à 3 735 A. Les courants admissibles dans le réseau de distribution, pour les conducteurs sans gaine, peuvent aller jusqu'à 630 A.

De plus, on y retrouve deux ou trois conducteurs qui transportent un courant de phase inverse ce qui vient grandement atténuer le champ magnétique généré.

Par contre, les aimants permanents atteignent facilement ces niveaux. On les retrouve fixés sur les portes d'armoires (75 mT), de réfrigérateurs et congélateurs (38 mT), sur les tableaux blancs (38 à 84 mT), les ouvre-boîtes (55 mT), les jouets d'enfants, les haut-parleurs (30 mT- 60 mT) hors de l'enceinte, les fermetures de sacs (75 à 103 mT), les porte-clés, etc.

II. LIMITES D'EXPOSITION

Le Québec n'a aucun règlement relatif à l'exposition aux champs magnétiques. Trois organismes ont émis des recommandations pour les champs magnétiques de 60 Hz, l'International Non-Ionizing Radiation Committee (INIRC), l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) et le Comité européen de normalisation électrotechnique (CENELEC).

La densité du courant endogène du corps humain se situe aux environs de 1 mA/m² à 10 mA/m² pour le coeur, malgré qu'elle puisse atteindre des niveaux plus élevés durant certaines activités. Les recommandations conseillent donc de ne pas s'exposer à des champs qui pourraient induire des courants supérieurs à 10 mA/m² dans les tissus.

RECOMMANDATIONS INIRC (1991) FACE À L'EXPOSITION AU CHAMP MAGNÉTIQUE DE 60 HZ	
Pour une journée, tout le corps	500 µT
Exposition inférieure à 2 heures, tout le corps	5 000 µT
Exposition aux membres	25 000 µT

Source : International Non-Ionizing Radiation Committee. Interim Guidelines on Limits of Exposure to 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields dans IRPA Guidelines on Protection Against Non-Ionizing Radiation. Pergamon Press, 1991. p 83 - 94.

RECOMMANDATIONS ACGIH (1997) FACE À L'EXPOSITION AU CHAMP MAGNÉTIQUE DE 60 HZ	
Exposition au tronc, pour la journée	1 000 µT
Pour travailleurs avec stimulateur cardiaque	100 µT
Exposition aux bras et jambes	5 000 µT (5 fois la valeur du tronc)
Exposition aux mains et pieds	10 000 µT (10 fois la valeur du tronc)

Source : American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold Limit Value and Biological Exposure Indices for 1997. Cincinnati, Ohio, 45211-4438.

Notez que les valeurs sont plus élevées pour les petites surfaces du corps en accord avec l'équation de courant induit (voyez la section I).

Voltage aux bornes de la bobine Perfection Mica équivalent aux recommandations de l'ACGIH 97 entre 1 et 300 Hz			
Tronc (référence)	Bras/Jambes (référence x 5)	Mains/Pieds (référence x 10)	Stimulateur cardiaque (référence ÷ 10) 60 Hz seulement
560 mV _{rms}	2,8 V _{rms}	5,6 V _{rms}	56 mV _{rms}

Les valeurs ci-hauts sont obtenues par les équations suivantes :

Le fabricant de la bobine Perfection Mica 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, au niveau du tronc, pour la densité magnétique (B) de l'ACGIH 1997 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 :

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

Niveaux maximaux d'exposition aux champs magnétiques recommandés par le CENELEC⁽¹⁾ (1995) pour le milieu de travail	
Fréquences (Hz)	Densité magnétique (mT)
4 à 1 500	$80 / f$ (Hz)

Source : ENV50166-1, January 1995, CENELEC, Human Exposure to Electromagnetic Fields, Low Frequency (0 Hz to 10 kHz)

⁽¹⁾ CENELEC : Comité européen de normalisation électrotechnique

III. NOTIONS DE PHYSIQUE

A) Les sources

Comme nous l'avons vu précédemment, un champ magnétique est issu d'un déplacement de charges électriques. Ce déplacement de charges se fait dans un milieu plus ou moins conducteur tel qu'un plasma, un gaz, un liquide ou un solide. Quel que soit le médium, le déplacement assume généralement un mouvement rectiligne ou circulaire qui peut être vu comme un courant électrique circulant dans un fil rectiligne ou une spire.

Ainsi, le champ magnétique en provenance d'un seul conducteur ou d'une ligne (2 ou 3 conducteurs) non balancée (l'intensité des courants n'est pas égale dans chaque conducteur) s'atténue comme l'inverse de la distance ; le champ magnétique en provenance d'une ligne balancée (2 ou 3 conducteurs) s'atténue comme le carré de la distance, alors que le champ issu d'un bobinage (à noyau d'air) s'atténue comme l'inverse du cube de la distance.

Voici les équations qui permettent de calculer l'ordre de grandeur du champ magnétique présent pour un courant donné et une géométrie donnée :

- i.- **Pour un seul conducteur** (fil ou barre omnibus) transportant un courant alternatif et dont la distance source-point de mesure est dix fois plus petite que la longueur d'onde⁽¹⁾ émise par la source (largement respecté pour le 60 Hz), l'intensité est donnée par la loi de *Biot-Savart* telle que :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2 \pi r}$$

où :

- B : densité du champ magnétique (tesla)
 μ_0 : perméabilité du vide ($4\pi \times 10^{-7}$ Weber/A-m)
 I : intensité du courant (ampère)
 r : distance, **du centre** de la barre d'alimentation ou du conducteur au point de mesure (mètre)

L'intensité du champ magnétique est donc proportionnelle au courant et inversement proportionnelle à la distance.

⁽¹⁾ La longueur d'onde (λ) en mètre est donnée par :
 $\lambda = c/f$ dans l'air ou le vide.
 où C: vitesse de la lumière 3×10^8 m/s

Exemple : Un soudeur utilise un générateur de courant alternatif à 60Hz non redressé capable de fournir 200 ampères. L'un de ses fils est attaché à la masse de l'objet à souder et passe donc loin de lui, l'autre fil passe sur son épaule avant de rejoindre l'électrode de travail. Les conducteurs ont chacun 14 mm de diamètre. Les vêtements du soudeur totalisent 5 mm. Quelle est son exposition ?

Comme il est exposé qu'à un seul conducteur, nous prendrons l'équation précédente soit :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2 \pi r} = \frac{4 \pi \times 10^{-7} \text{ weber/A-m} \times 200 \text{ A}}{2 \pi \times 0,012 \text{ m}} = 3,3 \times 10^{-3} \text{ tesla} = 3,3 \text{ mT}$$

où le 0,012 m correspond à la distance extérieure du fil à son centre soit : 7 mm plus 5 mm d'épaisseur de vêtement.

3,3 mT correspond donc à l'exposition maximale, c'est-à-dire lorsque les 200 ampères circuleront vraiment dans les conducteurs. Cette valeur n'est valable que pour la distance spécifiée au point de contact du conducteur avec le soudeur. Pour les autres points du corps, on devra utiliser de nouvelles distances. Par ailleurs le 3,3 mT constitue une surexposition considérant la recommandation de 500 μ T de l'INIRC.

ii.- **Pour deux conducteurs** (2 fils ou 2 barres omnibus) rapprochés transportant des courants alternatifs de phases inverses dont la distance source-point de mesure est dix fois plus petite que la longueur d'onde émise par la source (largement respecté pour le 60 Hz). L'intensité est donnée par la loi de *Biot-Savart* telle que :

$$B = \frac{\mu_0 I d}{2 \pi r^2}$$

où :

- B : densité du champ magnétique (tesla)
- μ_0 : perméabilité du vide ($4\pi \times 10^{-7}$ Weber/A-m)
- I : intensité du courant (ampère)
- d : distance séparant le **centre** des deux conducteurs (mètre). La distance «d» doit être beaucoup plus petite que «r» (voir le nota bene ci-après). Pour des conducteurs triphasés, on remplacera deux des trois conducteurs par un seul placé à mi-chemin entre eux. On revient ainsi à la situation de deux conducteurs.
- r : distance, du **centre** des deux barres d'alimentation ou des deux conducteurs au point de mesure (mètre).

L'intensité du champ magnétique est donc proportionnelle au courant et inversement proportionnelle au carré de la distance.

N.B. Si «d» devait être plus grande que «r» dans l'équation ci haut, il est alors préférable de se

rapporter au cas n° 1, pour 1 seul conducteur.

Exemple : Le même soudeur utilise un générateur de courant alternatif à 60Hz non redressé capable de fournir 200 ampères. Cette fois-ci, les 2 conducteurs ont été enrubannés ensemble jusqu'à une distance de 1 mètre passé l'épaule du soudeur. Puis l'un des deux conducteurs se détache en faisant un angle de 90° pour aller se brancher à la masse de l'objet à souder. L'autre conducteur poursuit son chemin plus loin en avant du soudeur puis revient jusqu'à l'électrode de travail située à 60 cm de celui-ci. Le conducteur passe par une poignée évidée de 33 mm de diamètre et 3mm d'épaisseur. Les conducteurs ont chacun 14 mm de diamètre. Les vêtements du soudeur totalisent 5 mm. Quelle est son exposition ?

Calculons d'abord l'exposition à son épaule due aux deux conducteurs :

$$B = \frac{\mu_0 I d}{2 \pi r^2} = \frac{\mu_0 \times 200 \text{ A} \times 0,014 \text{ m}}{2 \pi \times 0,012 \text{ m}} = 47 \mu T$$

L'exposition à son épaule est donc de 47 μT au lieu de 3,3 mT lorsqu'il n'y avait qu'un seul conducteur. Soit une diminution de 70 fois. La recommandation de L'INIRC pour le tronc est de 500 μT et celle de l'ACGIH 1 000 μT .

Puis calculons l'exposition au tronc due au seul conducteur situé à 60 cm du soudeur :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2 \pi r} = \frac{\mu_0 \times 200 \text{ A}}{2 \pi \times 0,060 \text{ m}} = 667 \mu T$$

La valeur dépasse la recommandation de l'INIRC mais respecte celle de l'ACGIH.

Finalement, calculons l'exposition à sa main due à l'électrode qu'il tient. Puisqu'il s'agit d'un seul conducteur :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2 \pi r} = \frac{\mu_0 \times 200 \text{ A}}{2 \pi \times (0,007 \text{ câble} + 0,003 \text{ poignée évidée}) \text{ m}} = 4 \text{ mT}$$

La poignée évidée apporte peu en fait de séparation puisque le câble est libre de venir s'appuyer contre la paroi de la poignée qui n'a que 3mm d'épaisseur. Quoiqu'il en soit, l'exposition est plus faible que la recommandation de 25 mT de l'INIRC et de 10 mT de l'ACGIH.

Si le fabricant avait immobilisé le câble dans le centre de la poignée en y ajoutant du plastique, quelle serait l'exposition à la main du soudeur :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2 \pi r} = \frac{\mu_0 \times 200 \text{ A}}{2 \pi \times (0,007 \text{ câble} + 0,0165 \text{ poignée pleine}) \text{ m}} = 1,7 \text{ mT}$$

soit une réduction de 2,3 fois par le simple ajout de plastique qui permet un éloignement du conducteur.

- iii.- **Pour une spire de fil sans noyau de fer** (le champ d'un moteur ou d'un transformateur sera encore plus faible car son noyau de fer concentre le champ magnétique à l'intérieur de lui-même) transportant un courant alternatif dont la distance centre de la spire au point de mesure est dix fois plus petite que la longueur d'onde émise par la bobine (largement respecté pour le 60 Hz). L'intensité est donnée par la loi de *Biot-Savart* telle que :

$$B = \frac{\mu_0 N I a^2}{2 r^3}$$

où :

- B : densité du champ magnétique dans le plan de la spire (tesla)
- μ_0 : perméabilité du vide ($4\pi \times 10^{-7}$ Weber/A-m)
- N : nombre de tours de fil
- I : intensité du courant (ampère)
- a : rayon de la spire (mètre)
- r : distance du centre de la spire au point de mesure (mètre)

L'intensité du champ magnétique est donc proportionnelle au courant et inversement proportionnelle au cube de la distance.

N.B. À une grande distance de la spire (environ 10 fois son diamètre), le champ magnétique s'atténue comme l'inverse du cube de la distance non seulement dans le plan de la spire mais dans toutes les autres directions.

B) Le détecteur

Le détecteur le plus simple à construire et le moins coûteux est la bobine de fil (figure 2). En effet, une bobine baignant dans un champ magnétique alternatif verra une tension alternative de même fréquence apparaître à ses bornes. La tension sera proportionnelle au nombre de tours de fil, à la surface de la bobine et à la fréquence et à l'intensité du champ magnétique. Comme les trois premiers paramètres sont généralement fixes, la tension aux bornes de la bobine devient donc proportionnelle à l'intensité du champ magnétique.

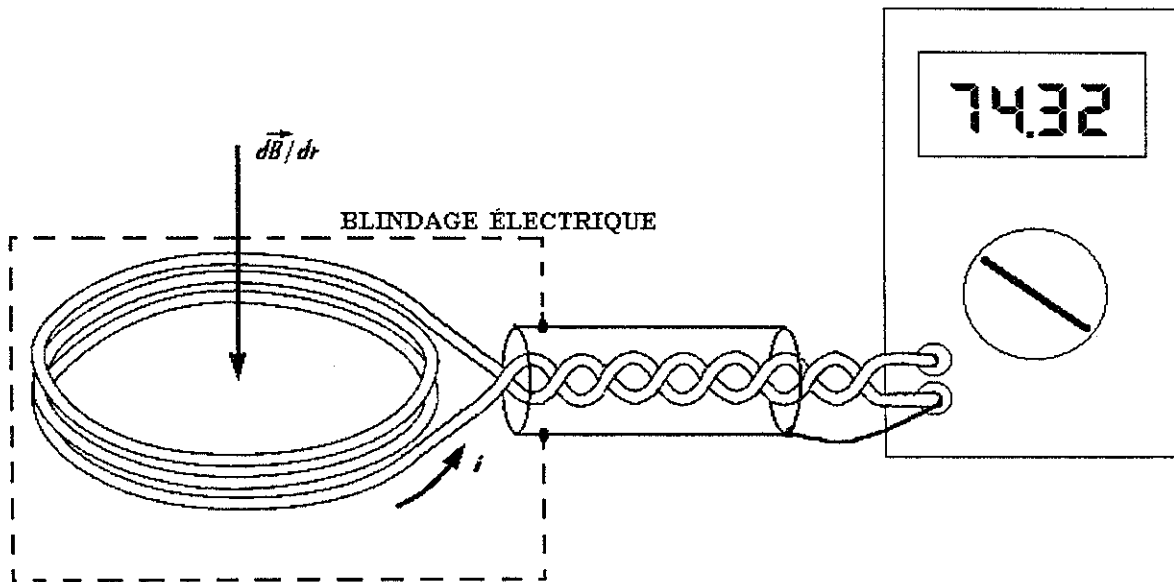


Figure 2 : Sonde uniaxiale formée de plusieurs tours de fil pour mesurer le champ magnétique.

L'équation suivante permet de connaître la tension aux bornes d'une seule spire de surface A lorsque celle-ci baigne totalement dans un champ magnétique homogène qui lui est perpendiculaire :

$$f.e.m. = -\frac{d}{dt} \phi_A (\vec{B}) = -A \frac{d\vec{B}}{dt}$$

où :

f.e.m. : force électromotrice (voltage)

$\phi (B)$: flux magnétique

B : $B_0 \sin \omega t$

et

$$f.e.m. = -\frac{d}{dt} (A B_0 \sin \omega t) N = -\omega B_0 A \cos \omega t N$$

où :

A : surface de la bobine (m^2)

$\omega = 2\pi f$

f : fréquence (Hertz)

B_0 : intensité de la densité magnétique (tesla)

N : nombre de spires de fil

C) Étalon de champ magnétique

Une bobine peut générer une densité magnétique homogène en son centre.

Cette bobine (figure 3) sera utile pour un instrument dont le ou les détecteurs de champ magnétique sont 5 fois plus petits que le diamètre de la bobine et dont l'épaisseur excède très peu celle de la bobine.

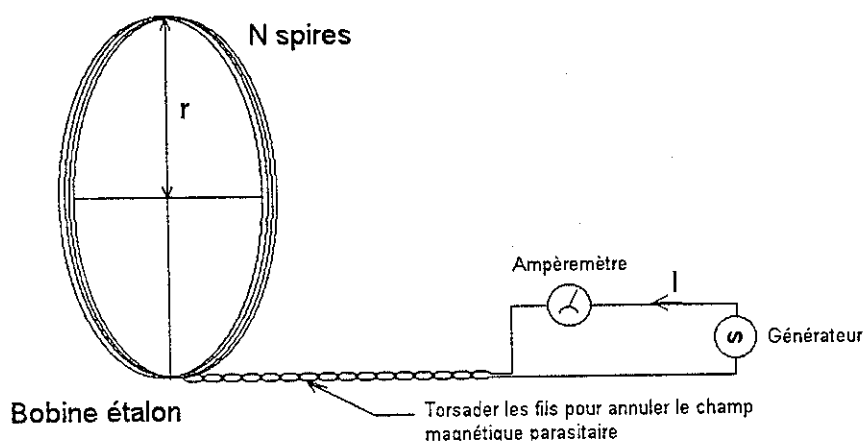


Figure 3 : Étalon de champ magnétique formé d'une seule bobine

La bobine peut être entourée de ruban de cuivre ou d'aluminium puis relié à la terre pour couper le champ électrique. On prendra soin de ne pas fermer le circuit périphérique de cet enroulement de ruban afin d'éviter les courants de Foucault. Le support de la bobine devra être fabriqué avec des matériaux isolants (bois, plastique) afin d'éviter un couplage capacitif ou inductif qui s'aggrave avec la fréquence du courant.

L'équation pour obtenir la densité magnétique pour une bobine s'obtient à partir de la loi de Biot-Savard. La densité magnétique, le long de son axe central, est obtenue par intégration du flux magnétique dans l'air, autour de la périphérie de la bobine de rayon « r », parcourue par un courant « I », soit :

$$B = \frac{\mu_0 N I r^2}{2 (r^2 + x^2)^{3/2}}$$

On obtient la valeur du champ magnétique en son centre en posant $x = 0$. Ce qui nous donne :

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2 r}$$

Où :

B : densité magnétique en tesla. Elle aura la même fréquence que le courant

I : courant continu ou alternatif en ampère circulant dans la bobine

N : nombre de spire

r : rayon moyen de la bobine en mètre

μ_0 : $1,256 \times 10^{-6}$ Wb/A-m

1 Wb/m² = 1 tesla

Pour une bobine donnée, tous les paramètres sont fixes à l'exception du courant. La valeur du champ magnétique dépendra donc du courant qui peut être facilement mesuré à l'aide d'un ampèremètre.

Pour un instrument dont le ou les détecteurs deviennent trop volumineux par rapport à l'épaisseur de la bobine, on doit construire une bobine de Helmholtz. Cette bobine (figure 4) est en fait un ensemble de 2 bobines de même diamètre et de même nombre de spires dont la distance de séparation est égale au rayon d'une des bobines. Les 2 bobines sont branchées en série, de façon à ce que leurs champs s'additionnent au centre.

L'équation pour la bobine de Helmholtz s'obtient à partir de la loi de Biot-Savard. On obtient d'abord la valeur du champ magnétique à la position x le long de l'axe d'une seule bobine formée de N spires. L'intégration du flux magnétique dans l'air, autour de la périphérie d'une bobine de rayon « r », parcourue par un courant « I », donne :

$$B = \frac{\mu_0 N I r^2}{2 (r^2 + x^2)^{3/2}}$$

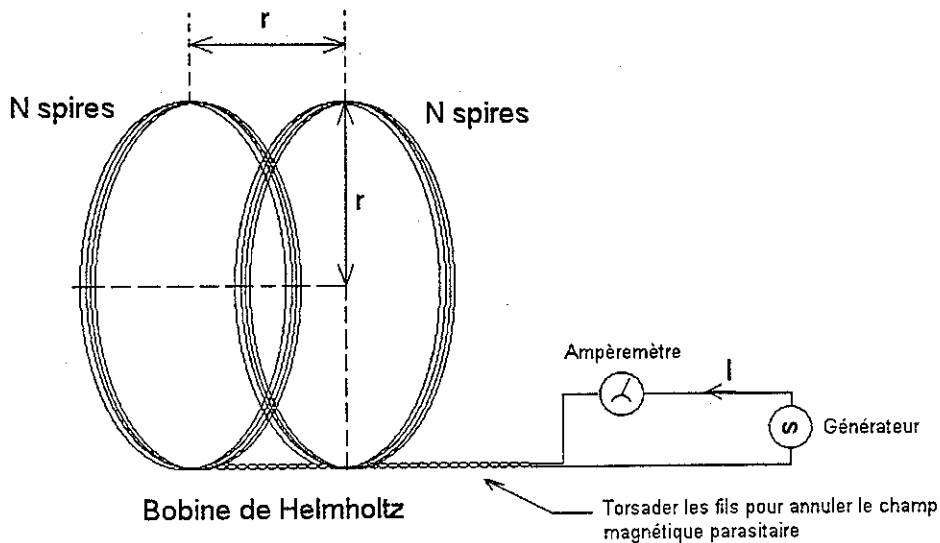


Figure 4 : Étalon de champ magnétique obtenu à l'aide de la bobine de Helmholtz

La densité magnétique au centre de deux telles bobines, séparées d'une distance r , est la somme de la contribution de chacune des bobines au point $x = r/2$. L'équation devient donc :

$$B = \frac{8 \mu_0 N I}{5^{3/2} r}$$

Ce qui se simplifie à :

$$B = \frac{8,987 \times 10^{-7} N I}{r}$$

Où :

B : densité magnétique en tesla. Elle aura la même fréquence que le courant

I : courant continu ou alternatif en ampère circulant dans la bobine

N : nombre de spire

r : rayon moyen de la bobine en mètre

μ_0 : $1,256 \times 10^{-6}$ Wb/A-m

$1 \text{ Wb/m}^2 = 1 \text{ tesla}$

Le champ magnétique est donc constant le long de l'axe de la bobine et ce, aussi longtemps que le détecteur magnétique demeure entre les 2 bobines. Le champ magnétique est également homogène à $\pm 2\%$ près, pour la région centrale de la bobine, pour des dimensions verticale et horizontale qui n'excèdent pas le cinquième du diamètre de la bobine et ce, tout le long de l'axe intérieur de la bobine.

La bobine peut être entourée de ruban de cuivre ou d'aluminium puis relié à la terre pour couper le champ électrique. On prendra soin de ne pas fermer le circuit périphérique de cet enroulement de ruban afin d'éviter les courants de Foucault. Le support de la bobine devra être fabriqué avec des matériaux isolants (bois, plastique) afin d'éviter un couplage capacitif ou inductif qui s'aggrave avec la fréquence du courant.

D'autres designs à 3, 4 et 5 bobines sont possibles pour accroître le volume utile. Le lecteur consultera [Kirschvink, 1992] pour plus de renseignements.

D) Influence de la dimension et de la forme de la bobine et de la composition de son noyau

Afin de mieux visualiser le problème, imaginez une montagne (figure 5) avec plusieurs accidents de terrain ou gradients. L'arpenteur doit mesurer la dénivellation le long du flanc de la montagne et rapporter la valeur maximum dans son rapport. S'il choisit le clinomètre A, la pente maximum sera relativement faible mais s'il choisit le clinomètre B, il sera en mesure d'identifier clairement deux zones à haut gradient.

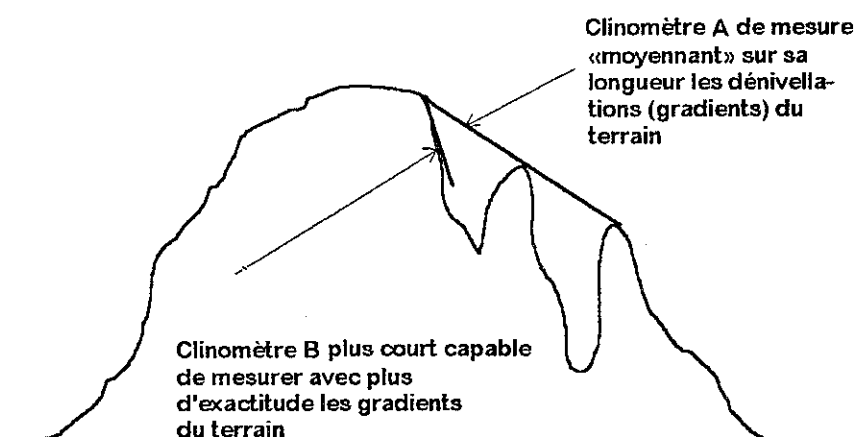


Figure 5 : Similitude entre la surface d'intégration d'une bobine et la longueur du clinomètre pour détecter les gradients

Il en va de même pour le choix de bobines de mesure du champ magnétique. Plus la bobine de mesure est petite plus la résolution de mesure est fine et moins il y a de chance de moyenner ensemble des zones de haute densité avec des zones de moindre densité de lignes magnétiques sur la même surface de mesure. Ceci est d'autant plus vrai que la mesure s'effectue près de la source.

De plus, le champ magnétique s'atténue rapidement avec la distance. Ainsi donc, les zones à haut gradient magnétique se situeront très près de la source. Plus loin de la source, le gradient magnétique est faible et l'utilisation d'une petite bobine ou d'une grosse bobine donnera les mêmes résultats.

Voilà pourquoi il est important de rapporter la valeur de la surface de la bobine de mesure afin que les mesures puissent être interprétées ou répétées correctement.

Beaucoup d'instruments n'utilisent qu'une seule bobine pour la mesure de la densité du champ magnétique. Celle-ci doit donc être orientée pour une lecture maximale puisque le champ magnétique est directionnel. La bobine à noyau magnétique, même si elle facilite la mesure uniaxiale et n'entraîne pas d'erreur lorsque les mesures sont exécutées loin de la source, reste néanmoins à proscrire étant donné l'erreur de mesure qu'elle entraîne près d'une source en modifiant son gradient magnétique naturel.

D'autres instruments utilisent une sonde triaxiale non concentrique. C'est-à-dire que la sonde est formée de trois bobines orientées selon les 3 axes orthogonaux mais elles ne sont pas toutes concentrées au même point de mesure. En effet, afin de simplifier la construction de l'instrument, les fabricants utilisent 3 bobines identiques mais placées à trois endroits différents du circuit de mesure. Il s'agit bien d'une sonde triaxiale, ce qui nous évite d'orienter la sonde pour une lecture maximale, mais malheureusement elle est distribuée sur la surface du circuit de l'instrument. Les 3 vecteurs ainsi récoltés représentent des intensités en trois points différents de l'espace. On perd en quelque sorte la raison d'être d'une sonde triaxiale.

Par contre, si le gradient magnétique n'est pas trop élevé entre les différentes bobines, l'erreur n'est pas importante. Elle le sera d'autant moins que les 3 bobines seront rapprochées les unes des autres.

Finalement, la meilleure sonde est celle fabriquée de trois bobines orientées orthogonalement autour du même centre. La mesure se fait en un seul point de l'espace qui est le centre de la sonde.

De plus, ces trois bobines devraient être enroulées sur un cadre qui a la forme d'un disque plutôt que d'un cylindre afin que le vecteur, de densité magnétique homogène, qui intercepte la bobine avec un angle quelconque, ait le plus de chance de toute la traverser, de sorte que toutes les spires de la bobine «participent» à la génération de la tension. Sans cela, une erreur de lecture s'ensuit, puisque lors de l'étalonnage de l'instrument dans un champ idéal (homogène, c'est-à-dire sans gradient de densité magnétique et parallèle à l'axe de la bobine), toutes les spires collaborent à générer une tension proportionnelle au champ magnétique.

Le noyau des 3 bobines devrait être exempt de tout matériau magnétique afin de pas modifier la

trajectoire du vecteur magnétique. En effet, la bobine est sensible à la composante du vecteur magnétique qui est perpendiculaire à sa surface. Tout matériau magnétique placé dans le noyau de la bobine «force» l'ensemble du vecteur et non pas la composante normale à la traverser (figure 6).

Dans tous les cas, la bobine ou la sonde devrait être blindée contre le champ électrique afin de lui être insensible.

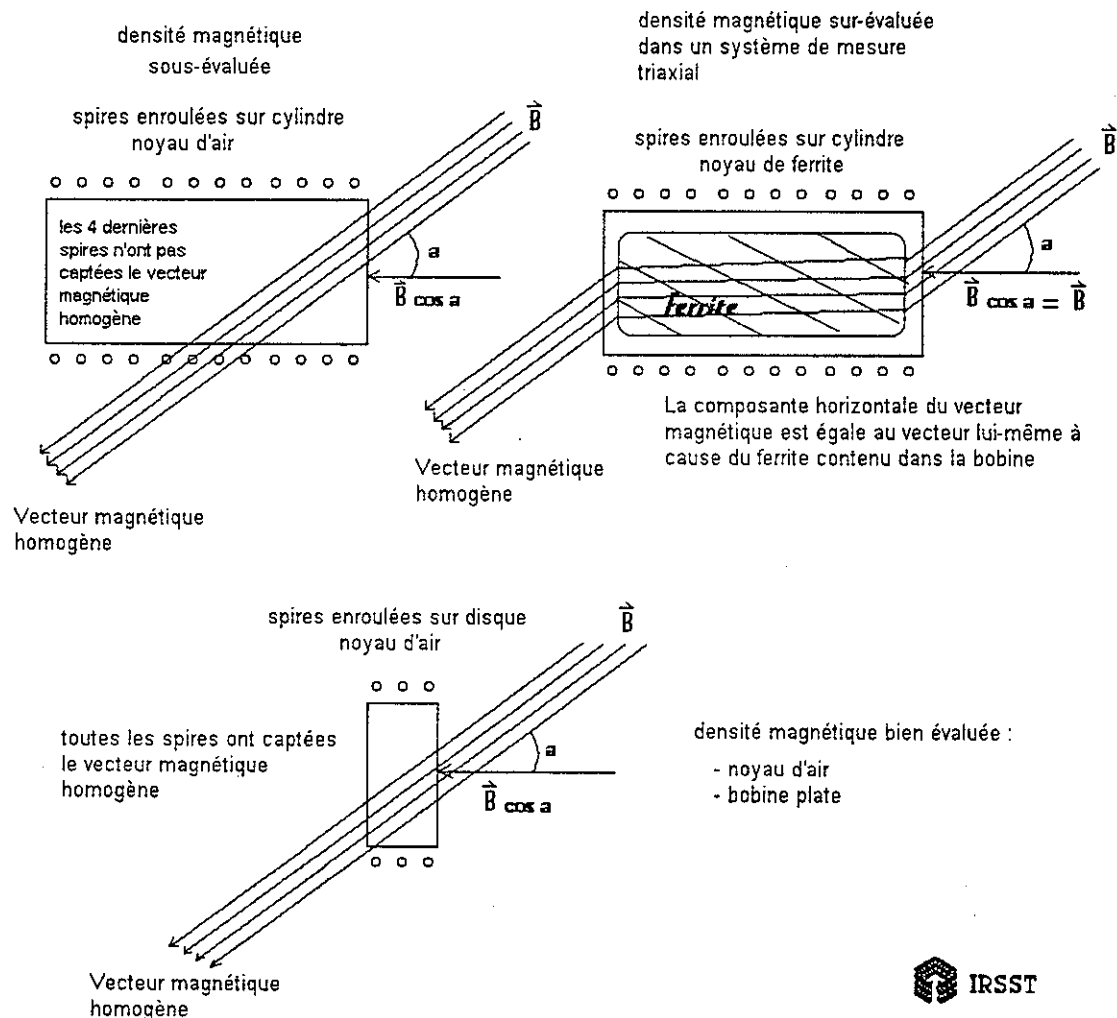


Figure 6 : Importance de la géométrie et de la composition du noyau dans une bobine de mesure

IV. SOURCES INDUSTRIELLES DE CHAMP MAGNÉTIQUE À 60 Hz

Les lignes de transport (voir l'annexe 1) et de distribution d'électricité de même que les appareils de transformation de l'énergie électrique ainsi qu'une part importante de la machinerie industrielle (voir l'annexe 2) mue par l'électricité constituent les principales sources de champs magnétiques à 60 Hz. Bref, tout ce qui utilise un courant électrique est susceptible d'émettre un champ magnétique.

- Transmission et distribution électrique peuvent générer de la radiofréquence lorsque l'humidité est élevée «effet couronne» ou par des décharges partielles le long d'isolants contaminés par le sel ou par décharge de la quincaillerie électrisée capacitivement ou inductivement. L'intensité du champ magnétique fluctue durant la journée en fonction de la demande électrique. Surtout du 60 Hz peut contenir du 180 Hz.
- Câblage l'intensité du champ magnétique fluctue durant la journée en fonction de la demande électrique. Surtout du 60 Hz peut contenir du 180 Hz.
- Sous-stations d'électricité l'intensité du champ magnétique fluctue durant la journée en fonction de la demande électrique. Surtout du 60 Hz peut contenir du 180 Hz.
- Transformateur principalement ses câbles de sortie qui sont à bas voltage et haut courant. L'intensité du champ magnétique fluctue durant la journée en fonction de la demande électrique. Surtout du 60 Hz peut contenir du 180 Hz.
- Redresseurs de courant à diodes 60 Hz et multiples de 360 Hz, génèrent quelques harmoniques
- Redresseurs de courant à triacs 60 Hz et multiples de 360 Hz, génèrent beaucoup d'harmoniques
- Appareillages et outillages électriques surtout du 60 Hz mais peuvent générer beaucoup d'harmoniques s'ils sont munis d'un régulateur de vitesse électronique
- Chauffage radiant dans les plafonds et dans les planchers usage intermittent sous le contrôle d'un thermostat. 60 Hz seulement.

- Chauffe-eau usage intermittent sous le contrôle d'un thermostat. 60 Hz seulement.

- Courant parasite dans la mise à la terre et tuyauterie varie de façon sporadique, surtout du 60 Hz peut contenir du 180 Hz et une foule d'autres harmoniques.

- Entrée électrique et boîte de distribution l'intensité du champ magnétique fluctue durant la journée en fonction de la demande électrique. Surtout du 60 Hz peut contenir du 180 Hz.

- Soudeuse à arc électrique courant redressé à 120 pulsations par secondes (120 Hz) ou alternatif de 60 Hz interrompu plusieurs fois dans le cycle, génère beaucoup d'harmoniques de fréquences extrêmement basses, très basses, basses et de la radiofréquence.

- Soudeuse par points courant de 60 Hz interrompu plusieurs fois dans le cycle, génère beaucoup d'harmoniques de fréquences extrêmement basses, très basses, basses et de la radiofréquence.

- Four à arc surtout du 60 Hz, peut générer du 180 Hz et de la radiofréquence de façon sporadique au début de la fonte du métal, lorsque les électrodes s'enfoncent dans le four

- Four à induction⁽¹⁾

60 Hz	
180 Hz - 3 kHz	pour la fusion de métaux
60 Hz	
180 Hz - 10 kHz	pour le forgeage, façonnage, moulage, mise en forme et le profilage
1 - 10 kHz	
200 - 500 kHz	traitement thermique et conditionnement de surface
10 - 50 kHz	
200 - 500 kHz	assemblage de métaux

⁽¹⁾ Source : McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, 7th Edition. Vol 9. McGraw-Hill, 1992. pp 92 -94.

- Détecteurs de fissures pour pièces métalliques critiques surtout utilisés par les compagnies de transport 60 Hz

Beaucoup d'appareillage industriel transforme le courant sinusoïdal d'alimentation de 60 Hz en une autre fréquence ou autre forme. Ainsi, ces courants se retrouveront à la sortie de l'appareillage, là où s'effectue le travail mécanique. Ainsi, tous les appareillages industriels auront une entrée à 60 Hz mais pas nécessairement une sortie à 60 Hz.

À titre comparatif, des sources domestiques de champs magnétiques sont données à l'annexe 3.

V. STRATÉGIE DE MESURE DE LA DENSITÉ MAGNÉTIQUE

A) Aspect Général

Trois instruments de mesure sont à votre disposition.

- Le teslamètre/dosimètre Fielstar 4 000 de Dexsil (section VI)
- Le Holaday HI-3627 pouvant être raccordé à l'oscilloscope Fluke 97 (section VII)
- La bobine étalonnée Perfection Mica et l'oscilloscope Fluke 97 (section VIII)

Chacun a ses avantages et ses inconvénients. Voici un résumé qui vous permettra de choisir l'instrument apte à vos mesures.

Utilisez toujours le Fieldstar 4 000 pour toutes les mesures à lecture directe, dosimétriques et cartographiques qu'elles soient loin d'une source ou près d'une source. Vos lectures ne sont valables que pour le 60 Hz car l'instrument exclut toutes les autres fréquences à l'aide d'un filtre. Si vous n'êtes pas sûr de la fréquence, alors utilisez la bobine Perfection Mica ou le HI- 3627 jumelé à l'oscilloscope Fluke pour vous assurer que vous ne mesurerez qu'une seule fréquence sinusoïdale à 60 Hz. Rapportez-vous respectivement aux sections VIII ou VII pour le mode d'opération.

Si l'instrument sature, c'est-à-dire que le niveau de densité magnétique que vous mesurez dépasse sa capacité (403,2 μ T) alors suivez la procédure ci-bas :

Faites-vous des mesures environnementales ?

- Oui, alors utilisez le **Holaday Hi-3627 jumelé à l'oscilloscope Fluke** pour vous assurer que vous ne mesurerez qu'une seule fréquence sinusoïdale à 60 Hz. Rapportez-vous à la section VII pour le mode d'opération.

La forme d'onde est sinusoïdale mais n'est pas à 60 Hz. Si votre fréquence est comprise entre 5 Hz et 2 kHz, la densité inscrite au cadran du Holaday HI-3627 est valide.

La forme d'onde ressemble à une sinusoïde, elle est quelque peu déformée. Notez vos valeurs en mentionnant que l'onde était légèrement déformée. Un dessin de l'onde aidera à l'interprétation. Vous pouvez mettre des formes d'onde en mémoire dans l'oscilloscope et les rappeler plus tard, voire même les imprimer.

La forme d'onde ne ressemble plus du tout à une sinusoïde. Référez-vous au document spécial «Guide de mesure de champs magnétiques non-sinusoïdaux».

- Non, je mesure autour d'un appareil électrique. Alors utilisez la **Bobine Perfection Mica et l'oscilloscope**. Rapportez-vous à la section VIII pour le mode d'opération. Un voltmètre (plus léger) en mode voltage alternatif peut remplacer l'oscilloscope si ce dernier vous a confirmé que vous êtes en présence d'une **fréquence unique** inférieure à 3 kHz.

La forme d'onde ressemble à une sinusoïde, elle est quelque peu déformée. Notez vos valeurs en mentionnant que l'onde était légèrement déformée. Un dessin de l'onde aidera à l'interprétation. Vous pouvez mettre des formes d'onde en mémoire dans l'oscilloscope et les rappeler plus tard, voire même les imprimer.

La forme d'onde ne ressemble plus du tout à une sinusoïde. Référez-vous au document spécial «Analyse de signaux non-sinusoidaux».

Il est important de toujours rapporter la surface d'intégration de la sonde ou bobine afin que les mesures puissent être interprétées ou répétées avec des instruments qui possèdent des bobines de mêmes surfaces d'intégration. L'IRSST a inscrit sur tous les instruments la valeur de la surface d'intégration des bobines.

Si la source est bien identifiée, alors précisez la distance qui la sépare de l'instrument de lecture. Les mesures autour d'une source bien précise n'ont de sens que si la distance de séparation entre le point de mesure et la source est indiquée puisque les champs s'atténuent rapidement avec la distance. Indiquez également la hauteur des mesures. Utilisez de préférence un galon à mesurer ou un ruban en fibre de verre ou une règle en plastique ou bois plutôt qu'un ruban en métal afin d'éviter des chocs possibles par contact ou induction car un champ magnétique alternatif induit une tension aux bornes de tout objet métallique⁽¹⁾. Le télémètre à laser Leica (figure 7) peut vous faciliter la tâche dans ces cas-ci. Il peut mesurer des distances de 20 cm à 30 m \pm 3 mm sans sa cible réfléchissante, alors qu'avec son usage, sa portée passe à 100 m.

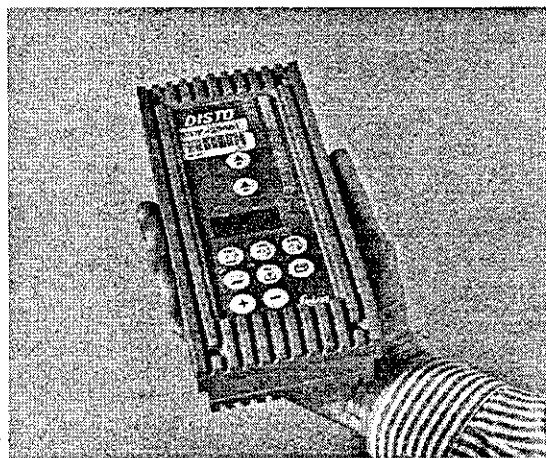


Figure 7 : Télémètre à laser

Si vous utilisez le Fieldstar 4 000, la roue de mesure peut également uniformiser vos lectures à

⁽¹⁾ L'auteur a été témoin d'un électricien qui a pris un choc électrique causé par une **tension induite** aux bornes de son ruban métallique déployé alors qu'il s'apprêtait à mesurer les dimensions d'un transformateur d'alimentation pour une usine.

1 mètre de hauteur.

Attention au battement (variation plus ou moins prononcée de la lecture de l'instrument) lors de la mesure de champs d'intensités similaires et de fréquences très voisines.

Exemple : Vous devez mesurer le champ magnétique de 63 Hz provenant d'un terminal à écran cathodique (celui-ci possède son propre générateur qui n'est pas synchronisé avec le réseau) et le champ magnétique ambiant 60 Hz. Utilisez les équations suivantes pour isoler l'intensité de la source de l'intensité du bruit de fond :

$$\text{signal désiré} = \frac{\text{Max} + \text{Min}}{2}$$

$$\text{bruit de fond} = \frac{\text{Max} - \text{Min}}{2}$$

où Max. : intensité maximale
 Min. : intensité minimale

Les définitions précédentes supposent que le bruit de fond est inférieur au niveau de l'écran. Vous pouvez vous en assurer en éteignant l'écran et en mesurant le bruit de fond uniquement.

N'oubliez pas que le champ magnétique est proportionnel au courant qui circule dans un ou plusieurs conducteurs, et comme tel, il est proportionnel à la charge de l'usine. Ainsi, il est logique de s'attendre à ce que le champ soit moins fort l'été que l'hiver puisque le chauffage électrique ne fonctionne pas et que le champ magnétique varie dans la journée en fonction du courant que tire l'usine selon l'usage qui est fait de la machinerie.

Il est donc important de connaître la charge électrique de l'usine lorsque vous faites des mesures environnementales. De noter la période de l'année et la période de la journée. Identifiez les lignes de production en fonction et la machinerie hors fonction.

Pour des mesures autour de sources bien précises, notez la distance qui sépare le teslamètre de la source. La source opère-t-elle à pleine capacité au moment où vous prenez vos lectures ?

Ne vous fiez pas à la marque ou au modèle d'un équipement pour estimer son champ à partir de mesures faites sur des sources semblables. Chaque appareil émet un champ différent. Cela peut tenir de son usure, du mauvais assemblage de son boîtier, de la géométrie d'enroulement du fil, dans le cas d'un moteur ou transformateur, qui varie selon le pays d'origine ou d'une défectuosité, etc.

B) Cas concret

Soit la Compagnie De Roues d'Acier ABC Ltée qui fait appel à un inducteur de courant de Foucault pour chauffer un roulement à billes afin qu'il prenne suffisamment d'expansion pour l'enfiler sur l'axe d'une roue.

La figure 8 nous montre l'inducteur qui n'est en fait que le primaire d'un transformateur enroulé autour d'un noyau de fer qui conduit les lignes de force magnétique, le tout placé à l'intérieur d'un boîtier muni d'un interrupteur de mise en marche. Le noyau de fer excède la partie supérieure du boîtier afin que le travailleur puisse y enfiler le roulement à billes à chauffer. Celui-ci devient alors le secondaire du transformateur et puisque qu'il s'agit d'une boucle d'acier fermée sur elle-même, elle constitue un enroulement court-circuité.

Il s'ensuit un fort courant dans le roulement à billes qui s'échauffe à un point tel, que l'acier prend de l'expansion. Le travailleur peut alors l'enfiler sur l'axe de la roue.

À cause des forts courants qui parcourent le transformateur et le roulement à billes, le travailleur placé tout près de l'inducteur subit une exposition élevée de champ magnétique au niveau du tronc.

Estimons cette exposition à 1, 2 et 3 cm du centre de l'inducteur à partir du courant de 25 A (fourni par le fabricant de l'inducteur) qui circule dans la spire de 6 cm que constitue le roulement à bille.

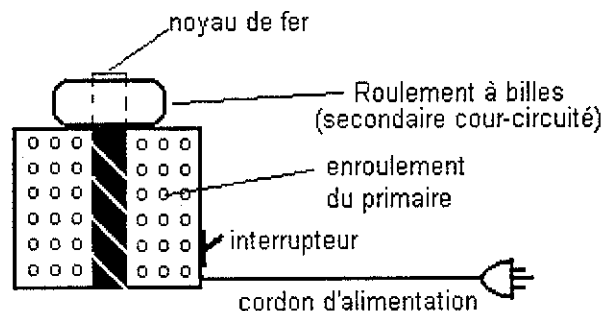


Figure 8 : Inducteur de courant de Foucault

L'intensité pour une spire est donnée par la loi de *Biot-Savart* telle que :

$$B = \frac{\mu_0 N I a^2}{2 r^3}$$

où :

B	: densité du champ magnétique dans le plan de la spire (tesla)
μ_0	: perméabilité du vide ($4\pi \times 10^{-7}$ Weber/A-m)
N	: nombre de tours de fil
I	: intensité du courant (ampère)
a	: rayon de la spire (mètre)
r	: distance du centre de la spire au point de mesure (mètre)

Nous obtenons respectivement :

à	1 cm	56 mT
	2 cm	7 mT
	3 cm	2 mT
	4 cm	0,88 mT
	5 cm	0,45 mT

Notez la décroissance très rapide pour un enroulement. Compte tenu de ces hautes valeurs, le Fieldstar 4 000 ne sera pas utilisé pour la mesure à l'intérieur d'une distance de 5 cm puisque sa limite supérieure de mesure est de $403,2 \mu\text{T}$. Il est alors nécessaire d'utiliser la bobine Perfection Mica jumelée à l'oscilloscope. Ce duo n'a pas de limite supérieure pratique.

Première Étape :

La première opération consiste à **déterminer la fréquence** d'opération de l'inducteur. Un électricien pourra vous confirmer la fréquence de travail de l'inducteur.

N.B. ce n'est pas parce qu'un appareil est relié à une prise de courant à 60 Hz que le champ magnétique dominant sera nécessairement à 60 Hz. Il peut y avoir une circuiterie à l'intérieur du boîtier qui transforme le courant d'alimentation à une fréquence de travail différente.

Si personne ne peut vous confirmer la fréquence de travail de l'inducteur, vous devrez la mesurer à l'aide de l'oscilloscope Fluke 97 relié à sa bobine Perfection Mica qui se trouve dans sa mallette de transport.

Consultez la section VIII pour le mode d'opération.

Seconde Étape :

La seconde opération consiste à déterminer l'**unicité** de la fréquence d'opération de l'inducteur. Un électricien pourra vous confirmer si l'inducteur possède un contrôle électronique d'intensité ou non.

Un contrôle d'intensité électronique entraîne presque toujours les générations d'une série d'harmoniques dans le champ magnétique. Si l'inducteur n'en possède pas, alors il est presque certain que la fréquence de travail sera unique. Vous pouvez vous en assurer, en visualisant le champ magnétique avec l'oscilloscope. Suivez le même mode d'opération que précédemment.

Si la forme d'onde ressemble à une sinusoïde et est très peu déformée, notez vos valeurs en mentionnant que l'onde était légèrement déformée. Un dessin de l'onde aidera à l'interprétation. Vous pouvez mettre des formes d'onde en mémoire dans l'oscilloscope et les rappeler plus tard, voire même les imprimer.

Si la forme d'onde ne ressemble plus du tout à une sinusoïde. Référez-vous au document spécial «Guide de mesure de champs magnétiques non-sinusoïdaux».

Troisième étape :

La troisième étape consiste en l'évaluation de la densité magnétique autour de l'inducteur et à la position du travailleur au niveau de ses mains, bras et tronc. Rappelez-vous que les recommandations sont différentes pour chacun de ces cas. La bobine (orientée pour un maximum) est passée partout autour de l'inducteur pour identifier la valeur la plus élevée et l'endroit où elle se trouve.

Puis, des mesures à différentes distances et différentes hauteurs sont effectuées pour connaître le profil du champ magnétique autour de l'inducteur afin d'optimiser le poste de travail pour le travailleur et ses voisins. Comme les mesures de voltage prises avec la bobine Perfection Mica demandent à être converties en tesla à l'aide d'une équation, on pourra, lorsque les valeurs tomberont sous les 696 mT, utiliser le Fieldstar 4 000 pour les autres mesures afin d'accélérer le processus.

Un croquis avec différentes distances ou angles et leur intensité correspondante est très utile.

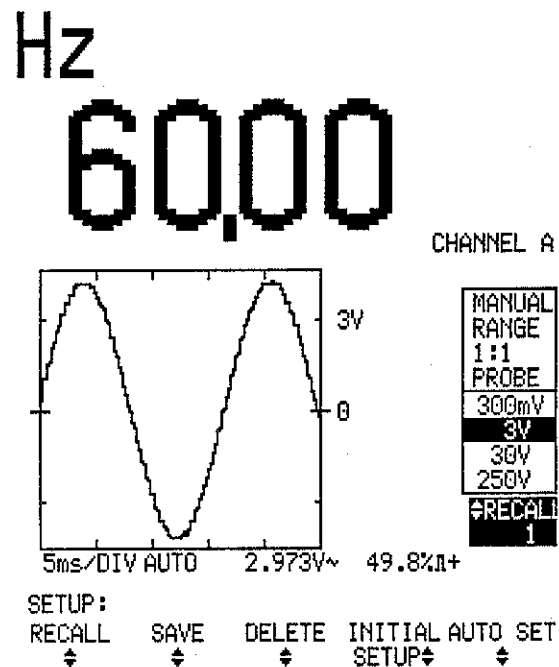


Figure 9 : Forme d'onde sinusoïdale obtenue autour de l'inducteur

Finalement, on s'assure d'avoir des lectures au niveau des mains, bras et tronc du travailleur pour que l'on puisse comparer son exposition avec les recommandations choisies.

Il est bon de noter les distances auxquelles les recommandations pour les mains, bras et tronc sont rencontrées. Dans le cas d'un instrument à lecture directe, cette procédure est simple. Mais pour une lecture de voltage à l'oscilloscope avec la bobine perfection Mica, il faut insérer la recommandation dans la formule et en déduire la tension aux bornes de la bobine à ne pas dépasser. Le tableau suivant vous simplifiera la tâche :

Voltage seuil aux bornes de la bobine Perfection Mica équivalent aux recommandations de l'ACGIH 97 pour une fréquence comprise entre 1 et 300 Hz			
Tronc (référence)	Bras/Jambes (référence x 5)	Mains/Pieds (référence x 10)	Stimulateur cardiaque (référence ÷ 10) 60 Hz seulement
560 mV	2,8 V	5,6 V	56 mV

Quatrième étape :

Si les recommandations sont excédées, vous devez assurer un périmètre dit «de sécurité» afin de rencontrer les recommandations. Un disque de plastique ou de bois (matériaux isolants seulement) placé autour de l'inducteur limitera l'accès du tronc dans la zone élevée.

Un ruban placé par terre pourra délimiter une zone interdite. Consultez la section IX intitulée : MESURES DE PROTECTION DU TRAVAILLEUR pour en savoir davantage.

Exemple de feuille de données pour une expertise :

ÉVALUATION DU CHAMP MAGNÉTIQUE		
Statique <input type="checkbox"/>		Mesure autour d'un appareil <input type="checkbox"/>
Alternatif <input type="checkbox"/>		Mesure environnementale <input type="checkbox"/>
Par : _____		Date : _____
Par : _____		
COMPAGNIE	Instruments de Mesure	Usine
Nom :	Fielstar 4 000 <input type="checkbox"/> détecteur triaxial : 0,6 cm ²	Nom de l'usine :
Adresse :	60 Hz seulement 16 nT à 403,2 µT	Endroit dans l'usine :
Ville :	HI-3627 <input type="checkbox"/> détecteur triaxial: 100 cm ²	Capacité présente _____KVA
Téléphone :	0 à 2 kHz 5 nT à 2 mT	Capacité possible _____KVA
Fax :	Bobine Perfection Mica <input type="checkbox"/> détecteur uniaxial : 7 cm ²	Redresseurs triphasés Nombre jumelés :
Représentant patronal :	0 à 3 kHz aucune limite d'intensité	fréquence du champ : _____Hz
Représentant syndical :	Oscilloscope Fluke 97 <input type="checkbox"/> mesure de voltage et de fréquence entre 0 à 50 MHz	Appareil
Représentant comité de santé et sécurité :		Courant consommé : _____A
Heure de départ :		1 phase <input type="checkbox"/> 2 phases <input type="checkbox"/> 3 phases <input type="checkbox"/>
Heure d'arrêt :		fréquence du champ : _____Hz
		Sinusoïde pure <input type="checkbox"/> distordionée <input type="checkbox"/>

VI. MESURE DU CHAMP MAGNÉTIQUE AVEC LE TESLAMÈTRE DE MARQUE DEXIL FIELDSTAR 4 000

Le teslamètre/dosimètre magnétique Fieldstar 4000 (figure 10) effectue une mesure triaxiale sur une largeur de bande très étroite centrée sur 60 Hz. Ceci a l'avantage d'avoir une lecture ciblée sur le 60 Hz sans danger de contamination par d'autres fréquences. Car dans un tel cas, quelles recommandations appliqueriez-vous ?

La surface d'intégration de chacune des 3 bobines est de $0,6 \text{ cm}^2$. Ce qui conférerait à l'instrument une excellente résolution n'eût été du fait que les 3 bobines sont malheureusement réparties sur une surface de 21 cm^2 . Vous ne mesurez pas en un point mais sur une petite surface.

Considérez le centre de cette surface, c'est-à-dire un point de mesure virtuel, comme étant placé à environ 5 cm du devant de l'instrument si vous l'utilisez à l'horizontale. Si vous êtes près d'une source (en deçà de 35 cm), déplacez l'instrument de gauche à droite sur toute sa largeur et retenez la valeur maximale de la résultante.

Vous pouvez aussi, placer le teslamètre à la verticale et utiliser les 8 cm du haut comme partie sensible. Dans cette position, le centre des bobines est à environ 16 mm de la base du teslamètre (partie sur laquelle est apposée l'étiquette signalétique). Déplacez le teslamètre de gauche à droite sur toute la largeur de sa zone sensible et retenez la valeur maximale de la résultante.

Le fabricant a malheureusement utilisé des bobines à noyau de ferrite. Ce qui a pour effet de diminuer le nombre de circuits d'amplification mais qui augmente l'erreur de lecture en perturbant la trajectoire du vecteur magnétique. Les bobines étant tout de même assez petites, la perturbation sera d'autant moindre.

À la lumière de ce qui précède, vous comprendrez que le choix de cet instrument, représente un compromis.



Figure 10 : Fieldstar 4 000 utilisé comme teslamètre à lecture directe

Les mesures que vous allez prendre avec le teslamètre/dosimètre Fieldstar 4000 ne sont valables que pour les champs magnétiques de 60 Hz. **Si des champs de fréquences différentes sont présents, vous ne pourrez les détecter, sauf pour des valeurs très voisines : bande passante 55 à 65 Hz @ -3 dB.**

Les densités de champ mesurables par le Fieldstar sont situées entre 0,016 microtesla et 403,2 microtesla. Si vous devez faire des mesures à des densités supérieures, utilisez le HI-3627 de Holaday (maximum de 2 millitesla) ou l'oscilloscope portatif Fluke 97 et la bobine Perfection Mica⁽¹⁾ qui l'accompagne (aucune limite supérieure d'intensité). Le voltage indiqué à l'oscilloscope peut facilement être converti en tesla par la formule imprimée sur la bobine et celui-ci a l'avantage de vous indiquer la fréquence et la forme de l'onde.

Un voltmètre peut tout aussi bien faire l'affaire que l'oscilloscope mais vous devez connaître la fréquence du signal que vous mesurez et celui-ci ne doit pas dépasser 3 kHz qui est la limite de l'étalonnage de la bobine.

Le Fieldstar 4 000 vous permet de mesurer de 2 façons différentes :

- A) **Comme teslamètre à lecture directe, nul besoin du logiciel graphique.** L'instrument affiche en temps réel (à toutes les secondes) la valeur de la densité magnétique détectée aux bornes de ses trois bobines orientées selon les axes x, y et z. La valeur de la résultante R est celle qui importe.

Mode d'opération :

- 1) Appuyez sur «ON»
- 2) Appuyez 1 fois sur «NEXT»
- 3) Attendez 10 secondes
- 4) L'instrument affiche maintenant la densité magnétique en fraction de tesla efficace (rms). La valeur affichée représente la résultante (R) d'une mesure triaxiale (selon X, Y, et Z).
- 5) Pour éteindre l'instrument, appuyez sur «ESC» puis sur «ENTER».

N.B. Le début du clignotement de l'affichage indique une réserve d'énergie de 30 minutes. Pour vérifier l'état des piles, allumez l'instrument en appuyant sur «ON» puis une fois sur «NEXT». L'affichage indique le numéro de série, la version du logiciel interne,

⁽¹⁾ Modèle EP-102A, Magnetic Shield Corp., Perfection Mica Co., 740 North Thomas Drive, Bensenville, IL 60106, U.S.A. tél.: 630-766-7800, fax.: 630-766-2813

le pourcentage de mémoire utilisée et le pourcentage de réserve d'énergie des deux piles de 9 volts.

- B) Comme accumulateur de données de densité magnétique (dosimètre) avec une autonomie de 2 jours et demi, vous devez faire appel au logiciel graphique FSGP (version DOS) pour extraire les données.**

De plus, le logiciel vous permet d'obtenir les fonctions statistiques suivantes :

- 1- Valeur crête
- 2- Moyenne arithmétique
- 3- Écart-type
- 4- Médiane, L5 et L95
- 5- Exposition cumulative

Voici les 4 fonctions disponibles :

- 1) **Timed Data - Accumulation de données instantanées.** Le logiciel accompagnant l'instrument permet d'obtenir des graphiques tels qu'illustrés à l'annexe 4.
 - L'instrument cumule des données instantanément à toutes les secondes ou à toutes les x minutes situées entre 1 minute et 15 minutes.
 - L'énergie contenue dans les 2 piles alcalines (fraîches) de 9 volts, permet d'accumuler automatiquement 22 000 données (pour un échantillonnage en seconde) et environ 9 000 données (pour un échantillonnage en minute). Ces données resteront en mémoire même lorsque les piles alcalines seront épuisées car elles sont alimentées par une pile indépendante.
 - Chacun de vos fichiers porte un nom personnalisé, l'heure et la date de vos mesures. Vous pouvez faire plusieurs enregistrements distincts, l'un à la suite de l'autre, sous le même nom. Chaque nouvel enregistrement porte alors un nombre annexé au nom qui s'incrémente automatiquement de un.
 - Possibilité de laisser le teslamètre dans une pièce ou sur un travailleur. Dans le premier cas, vous pouvez utiliser les touches numériques portant des flèches (sauf le 0 et le 5) pour rattacher aux données des événements particuliers. Dans le second cas, placez le teslamètre dans son étui et attachez-le à la ceinture du travailleur.

Mode d'opération :

- 1) Allumez le dosimètre en appuyant sur «ON»

- 2) Appuyez immédiatement 4 fois sur «NEXT». Les 4 menus suivants déferleront automatiquement avec une pause de 3 secondes :

1-Append Data (annexer les prochaines données)

2-Overwrite Data (écraser les données existantes par les prochaines données)

3-Upload data (transférer les données en mémoire vers l'ordinateur)

4-Set default (régler les paramètres : date, heure, axe x, y, z ou la résultante R affichée)

- 3) Appuyez sur le 2, à n'importe quel moment, (vous n'avez pas besoin d'attendre que le bon mode apparaisse pour appuyer sur le chiffre correspondant), si vous désirez effacer les données déjà présentes ou sur le 1 si vous désirez annexer vos mesures aux précédentes. Appuyez sur le 4 si vous désirez régler la date ou l'heure. Consulter le manuel à la page 15 pour ces ajustements.

- 4) Une fois le 1 ou le 2 choisi, vous êtes maintenant dans le «Set Sampling Menu» :

1) Timed Data

2) Distance Data

3) Mapping Data

4) Spot Reading

- 5) Appuyez sur le 1 puis sur «ENTER»

Timed Sampling

Rec = xx M= xx% s'affiche pour 3 secondes

où :

Rec xx : numéro de l'enregistrement

M xx% : pourcentage de mémoire utilisée

Après 3 secondes, ces deux options vous sont offertes :

1) Sample in sec (échantillonnage à toutes les secondes)

2) Sample in min (échantillonnage aux minutes)

- 6) Appuyez sur le 1 ou sur le 2 puis «ENTER»

- 7) Si vous avez choisi le 1, faites «ENTER» de nouveau. «Enter Record Id» suit pendant 3 secondes pour vous demander d'identifier votre fichier. Vous pouvez utiliser celui déjà présent ou l'effacer en appuyant sur la touche 5. Pour entrer un nouveau nom, utilisez les touches ↓ pour choisir parmi les lettres de l'alphabet (a à z ou l'espace) ou parmi les chiffres (0 à 9) et les touches ← pour vous déplacer dans le champ de votre nom de 32 caractères. Après avoir entré le nom de votre fichier, la touche

«ENTER» entraînera la mise en mémoire du nom et le démarrage de l'échantillonnage à toutes les secondes.

- 8) Si vous avez choisi le 2, l'affichage suivant apparaît après avoir appuyé sur la touche «ENTER» :

Time = 1 - 15 Min
Append x <ENTER>

- 9) Entrez l'intervalle d'échantillonnage au clavier suivi de «ENTER». En cas d'erreur, appuyez sur «ESC» et reprenez l'entrée du temps suivi de «ENTER».
- 10) «Enter Record Id» suit pendant 3 secondes pour vous demander d'identifier votre fichier. Vous pouvez utiliser celui déjà présent ou l'effacer en appuyant sur la touche 5. Pour entrer un nouveau nom, utilisez les touches ↑↓ pour choisir parmi les lettres de l'alphabet (a à z ou l'espace) ou parmi les chiffres (0 à 9) et les touches ←→ pour vous déplacer dans le champ de votre nom de 32 caractères. Après avoir entré le nom de votre fichier, la touche «ENTER» entraînera la mise en mémoire du nom et le démarrage de l'échantillonnage à toutes les «xx» minutes choisies.

L'affichage suivant suit :

Rec = xx M = xx%
xx mT R S = xx

où :

Rec xx : numéro de l'enregistrement

M xx% : pourcentage de mémoire utilisée

xx mT : densité magnétique

R : la résultante choisie (pourrait être x, y ou z si un axe en particulier nous intéresse). Il est préférable de toujours choisir R.

S xx : numéro de l'échantillon. Augmente de un après le temps d'échantillonnage choisi.

- N.B. Afin d'économiser les piles le plus possible, l'affichage de même que le microprocesseur s'éteignent entre les mesures. Pour réactiver l'affichage pendant 2 minutes, appuyez sur «ESC» une fois seulement. Avec un échantillonnage aux minutes et des piles alcalines fraîches, vous pouvez atteindre environ 9 000 données.

- 11) Pour arrêter les mesures ou modifier les paramètres de mesure, appuyer sur «ESC» autant de fois que nécessaire pour atteindre le menu que vous désirez.

- 2) **Distance Data - Pour réaliser un profil de la densité magnétique en fonction de la distance.** La roue de mesure est nécessaire. Le logiciel accompagnant l'instrument permet d'obtenir des graphiques tels qu'illustrés à l'annexe 5.
- 22 000 données possibles. Ces données resteront en mémoire même lorsque les piles alcalines seront épuisées car elle est alimentée par une pile indépendante.
 - Chacun de vos fichiers porte un nom personnalisé, l'heure et la date de vos mesures. Vous pouvez faire plusieurs enregistrements distincts, l'un à la suite de l'autre, sous le même nom. Chaque nouvel enregistrement porte alors un nombre qui s'incrémente automatiquement de un.
 - Vous pouvez utiliser les touches numériques portant des flèches (sauf le 0 et le 5) pour rattacher aux données des événements particuliers.

Mode d'opération :

- 1) Allumez le dosimètre en appuyant sur «ON»
- 2) Appuyez immédiatement 4 fois sur «NEXT». Les 4 menus suivants déferleront automatiquement avec une pause de 3 secondes :
 - 1-Append Data (annexer les prochaines données)
 - 2-Overwrite Data (écraser les données existantes par les prochaines données)
 - 3-Upload Data (transférer les données en mémoire vers l'ordinateur)
 - 4-Set Default (régler les paramètres : date, heure, axe x, y, z ou la résultante R affichée)
- 3) Appuyez sur le 2, à n'importe quel moment, (vous n'avez pas besoin d'attendre que le bon mode apparaisse pour appuyer sur le chiffre correspondant), si vous désirez effacer les données déjà présentes ou sur le 1 si vous désirez annexer vos mesures aux précédentes. Appuyez sur le 4 si vous désirez régler la date ou l'heure. Consulter le manuel à la page 15 pour ces ajustements.
- 4) Une fois le 1 ou le 2 choisi, vous êtes maintenant dans le «Set Sampling Menu» :
 - 1) Timed Data
 - 2) **Distance Data**
 - 3) Mapping Data
 - 4) Spot Reading
- 5) Appuyez sur le 2 puis sur «ENTER»

Distance Logging
 Rec = xx M= xx% s'affiche pour 3 secondes

où :

Rec xx : numéro de l'enregistrement
 M xx% : pourcentage de mémoire utilisée

Après 3 secondes, le choix de la distance pour l'échantillonnage apparaît :

1 - 5 or 6 = ,3 7 = ,6 m
 m/smpl x <ENTER>

- 6) Appuyez sur 1 à 5 pour la distance en mètre(s) ou 6 pour 0,3 mètre ou 7 pour 0,6 mètre puis appuyez sur «ENTER»
- 7) x m/sample
 <ENTER> to Start apparaît sur l'affichage.
- 8) Appuyez sur «ENTER».
- 9) «Enter Record Id» suit pendant 3 secondes pour vous demander d'identifier votre fichier. Vous pouvez utiliser celui déjà présent ou l'effacer en appuyant sur la touche 5. Pour entrer un nouveau nom, utilisez les touches ↑ ↓ pour choisir parmi les lettres de l'alphabet (a à z ou l'espace) ou parmi les chiffres (0 à 9) et les touches ← → pour vous déplacer dans le champ de votre nom de 32 caractères. Après avoir entré le nom de votre fichier, la touche «ENTER» entraînera la mise en mémoire du nom.
- 10) L'affichage suivant suit :

S = xx D = xx m
 xx μT R R = xx

où :

S : numéro de l'échantillon (Sample number)
 D : distance parcourue (Distance)
 xx μT : valeur de la densité magnétique et R : axe x, y, z ou la résultante R
 R : numéro de l'enregistrement (Record number)

- 11) Déployez la roue de mesure tel qu'illustré à l'annexe 6. Coulissez le Fieldstar 4 000 sur le plateau de la roue de mesure, branchez la fiche en provenance de

l'impulsionneur de la roue de mesure et appuyez sur «ENTER». L'instrument est prêt à échantillonner.

Afin de vous assurer que l'instrument échantillonne correctement, vérifiez si le compteur de distance «D = xx » augmente proportionnellement à votre déplacement.

Les touches 1 à 9 excluant le 5 vous permettent d'identifier des points d'intérêt lors de l'analyse des données. En appuyant sur une des ces touches, l'affichage suivant apparaîtra :

MARK	x	T =	x
xx μ TR		R	x

où :

MARK : numéro qui correspond à la touche enfoncée

T : nombre total de points d'identification utilisés

xx mT : densité magnétique enregistrée et R : densité correspondante à la résultante R

R : numéro de l'enregistrement (**R**ecord number). C'est-à-dire le nombre de fois que vous refaites des mesures avec le même nom de fichier.

Vous pouvez écraser une flèche par une autre si vous vous êtes trompé ou tout simplement l'effacer en appuyant sur 5 aussi longtemps que la roue de mesure n'a pas envoyé son impulsion. Après la réception d'une impulsion, le Fieldstar mémorise la touche et retourne à l'affichage précédent.

12) Pour arrêter les mesures ou modifier les paramètres de mesure, appuyer sur «ESC» autant de fois que nécessaire pour atteindre le menu que vous désirez.

3) **Mapping Data - pour cartographier un lieu.** La roue de mesure est nécessaire. Le logiciel accompagnant l'instrument permet d'obtenir des graphiques tels qu'illustrés à l'annexe 7.

- 22 000 données possibles. Ces données resteront en mémoire même lorsque les piles alcalines seront épuisées car elle est alimentée par une pile indépendante.
- Chacun de vos fichiers porte un nom personnalisé, l'heure et la date de vos mesures. Vous pouvez faire plusieurs enregistrements distincts, l'un à la suite de l'autre, sous le même nom. Chaque nouvel enregistrement porte alors un nombre qui s'incrémente automatiquement de un.
- Vous pouvez utiliser la touche ↑ (chiffre 2) pour rattacher aux données des événements particuliers.

De plus, le logiciel graphique vous permet d'obtenir les fonctions statistiques suivantes :

- 1- Valeur crête
- 2- Moyenne arithmétique
- 3- Écart-type
- 4- Médiane, L5 et L95
- 5- Exposition cumulative

Vous pouvez également faire des annotations à vos graphiques.

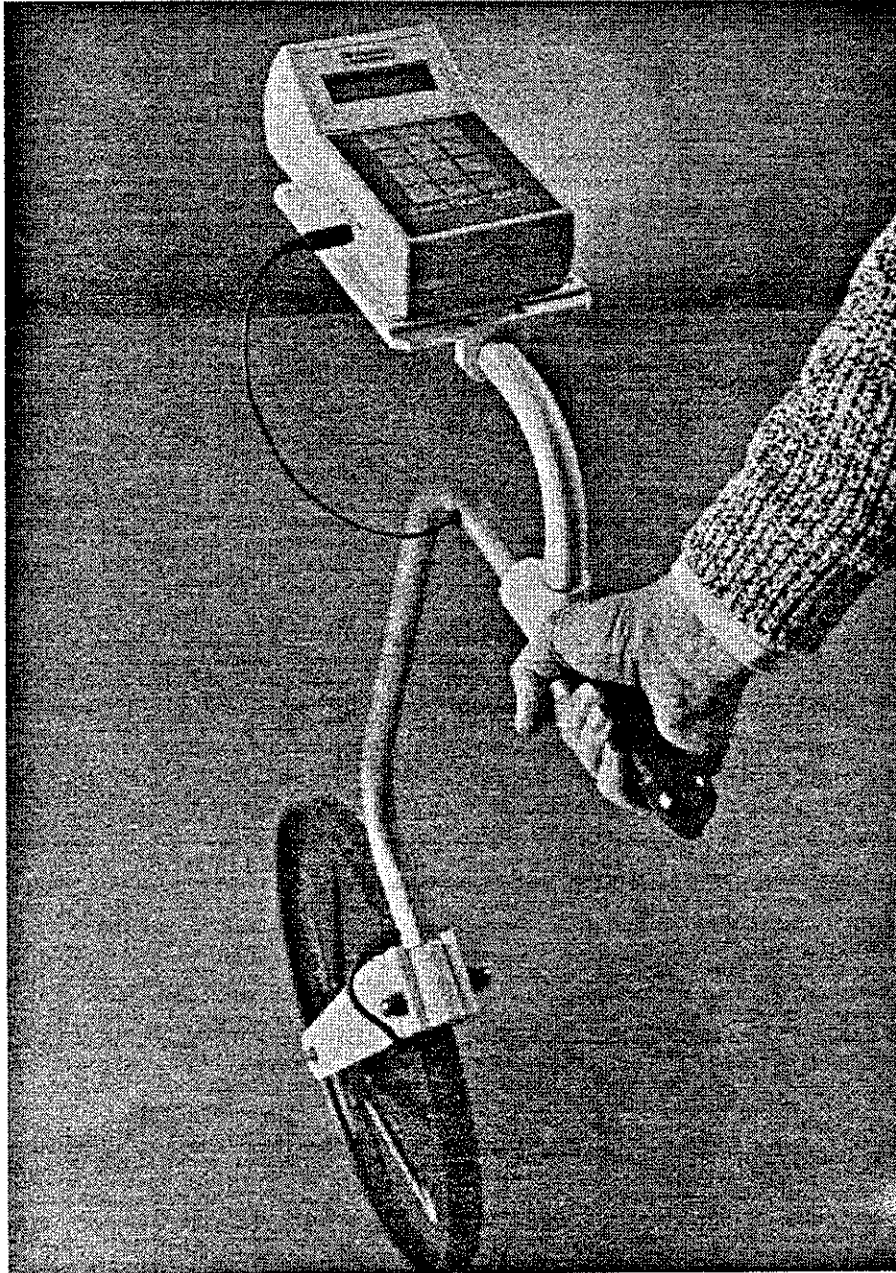


Figure 11 : Utilisation du Fieldstar 4 000 avec la roue de mesure pour cartographier un site

Le teslamètre magnétique est installé sur la roue à mesurer (faite entièrement de matériaux non magnétiques pour ne pas perturber le champ présent) et relié électriquement à l'impulsionneur de la roue de mesure (figure 11).

La hauteur des mesures est de 1 mètre. Vous devez indiquer à l'instrument tous les virages que vous effectuez à l'aide des différentes touches (figure 12).

De plus, vous devez entrer dans l'instrument la distance à parcourir avant de prendre une lecture. Ainsi, chaque point de mesure peut être séparé du précédent de 0,3, 0,6, 1, 2, 3, 4 ou 5 mètres.

Mode d'opération :

- 1) Allumez le dosimètre en appuyant sur «ON»
- 2) Appuyez immédiatement 4 fois sur «NEXT». Les 4 menus suivants défileront automatiquement avec une pause de 3 secondes :

1-Append Data (annexer les prochaines données)

2-Overwrite Data (écraser les données existantes par les prochaines données)

3-Upload Data (transférer les données en mémoire vers l'ordinateur)

4-Set Default (régler les paramètres : date, heure, axe x, y, z ou la résultante R affichée)

- 3) Appuyez sur le 2 si vous désirez effacer les données déjà présentes ou sur le 1 si vous désirez annexer vos mesures aux précédentes. Appuyez sur le 4 si vous désirez régler la date ou l'heure. Consulter le manuel à la page 15 pour ces ajustements.
- 4) Une fois le 1 ou le 2 choisi, vous êtes maintenant dans le «Set Sampling Menu» :
 - 1) Timed Data
 - 2) Distance Data
 - 3) **Mapping Data**
 - 4) Spot Reading
- 5) Appuyez sur le 3 puis sur «ENTER»

L'affichage indique :

Mapping

Rec = xx

M= xx%

s'affiche pour 3 secondes

où :

Rec xx : numéro de l'enregistrement

M xx% : pourcentage de mémoire utilisée

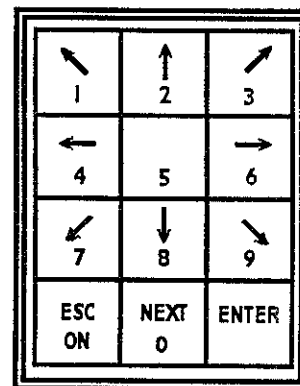


Figure 12 : Clavier du Fieldstar 4 000

- 6) L'instrument affiche par la suite :
- Distance = .3 , .6 , 0-5 meters
Append x <ENTER>
- 7) Choisissez la distance entre chaque échantillon puis appuyez sur «ENTER». Si vous faites une erreur, appuyez sur »ESC» et recommencez.
- 8) «Enter Record Id» suit pendant 3 secondes pour vous demander d'identifier votre fichier. Vous pouvez utiliser celui déjà présent ou l'effacer en appuyant sur la touche 5. Pour entrer un nouveau nom, utilisez les touches ↑ ↓ pour choisir parmi les lettres de l'alphabet (a à z ou l'espace) ou parmi les chiffres (0 à 9) et les touches ← → pour vous déplacer dans le champ de votre nom de 32 caractères. Après avoir entré le nom de votre fichier, la touche «ENTER» entraînera la mise en mémoire du nom.
- 9) Déployez la roue de mesure tel qu'illustré à l'annexe 6. Coulissez le Fieldstar 4 000 sur le plateau de la roue de mesure, branchez la fiche en provenance de l'impulsionneur de la roue de mesure et appuyez sur «ENTER». L'instrument est prêt à échantillonner.

- 10) L'affichage passe à :

Last Turn x
xx mT R D = x

où :

Last Turn x : x est un chiffre qui correspond à la flèche indiquant la dernière direction mémorisée.

xx mT : densité magnétique enregistrée

R : densité correspondante à la résultante R

D = x : x étant la distance totale parcourue au moment d'observation

N.B. L'échantillonnage ne débute qu'avec la première impulsion en provenance de la roue de mesure.

- 11) Pendant la cartographie d'un site, vous entrez les virages en appuyant sur la flèche correspondant au virage que vous effectuez.

- 12) Lorsque vous appuyez sur une de ces touches, l'affichage change à :

Turn x T = x
xx mT R D = x

où :

Last Turn x : x est un chiffre qui correspond à la flèche indiquant la dernière direction mémorisée.

T = x : nombre total de virage

xx mT : densité magnétique enregistrée

R : densité correspondante à la résultante R

D = x : x étant la distance totale parcourue au moment d'observation

Ceci confirme que le microprocesseur a bien capté l'information mais ne l'enregistrera qu'à la prochaine impulsion de roue. Entre temps, vous pouvez écraser une flèche par une autre si vous vous êtes trompé ou tout simplement l'effacer en appuyant sur 5. Si vous n'avez pas eu le temps de corriger votre erreur, vous pourrez la corriger à l'ordinateur, dans la liste des données.

N.B. La flèche 1 correspondant à la touche 2 sert de marqueur pour identifier des points d'intérêt lors de la réalisation de votre graphique ou de l'analyse des données.

- 13) Pour arrêter les mesures ou modifier les paramètres de mesure, appuyer sur «ESC» autant de fois que nécessaire pour atteindre le menu que vous désirez.

Il est important de garder en tête les points suivants :

- 1) L'axe x correspond à la première direction d'avance de la roue de mesure, l'axe y lui est perpendiculaire.
 - 2) Lorsque vous ferez sortir le graphique à l'ordinateur, l'axe x sera sur l'horizontale et l'axe y sur la verticale.
- 4) **Spot Reading - Accumulation de données moyennées en un point de mesure.** Le logiciel accompagnant l'instrument permet d'obtenir des graphiques tels qu'illustrés à l'annexe 8.
- L'instrument cumule des données à toutes les secondes et effectue la moyenne sur une période allant de 1 à 30 secondes. Seule la moyenne est mise en mémoire. **On doit redémarrer l'opération manuellement pour chaque point de mesure.**
 - Possibilité d'accumuler manuellement 22 000 données dans la mémoire protégée par une pile indépendante des 2 piles alcalines de 9 volts.
 - Chacun de vos fichiers porte un nom personnalisé, l'heure et la date des mesures.

Mode d'opération :

- 1) Allumez le dosimètre en appuyant sur «ON»

- 2) Appuyez immédiatement 4 fois sur «NEXT». Les 4 menus suivants déferleront automatiquement avec une pause de 3 secondes :

1-Append Data (annexer les prochaines données)

2-Overwrite Data (écraser les données existantes par les prochaines données)

3-Upload data (transférer les données en mémoire vers l'ordinateur)

4-Set default (régler les paramètres : date, heure, axe x, y, z ou la résultante R affiché)

- 3) Appuyez sur le 2 si vous désirez effacer les données déjà présentes ou sur le 1 si vous désirez annexer vos mesures aux précédentes. Appuyez sur le 4 si vous désirez régler la date ou l'heure. Consulter le manuel à la page 15 pour ces ajustements.

- 4) Une fois le 1 ou le 2 choisi, vous êtes maintenant dans le «Set Sampling Menu» :

1) Timed Data

2) Distance mapping

3) Mapping Data

4) Spot Reading Mode

- 5) Appuyez sur le 4 puis sur «ENTER»

L'affichage indique :

Spot Reading

Rec = xx M= xx% s'affiche pour 3 secondes

où :

Rec xx : numéro de l'enregistrement

M xx% : pourcentage de mémoire utilisée

- 6) Puis l'affichage tombe à :

Time = 1 - 30 sec

Append x <ENTER>

- 7) Entrez l'intervalle de temps sur lequel vous voulez moyenner les lectures qui se prennent à toutes les secondes. À la fin de cet intervalle, seulement la moyenne sera mise en mémoire.

- 8) Appuyez sur «ENTER». «Enter Record Id» suit pendant 3 secondes pour vous demander d'identifier votre fichier. Vous pouvez utiliser celui déjà présent ou l'effacer en appuyant sur la touche 5. Pour entrer un nouveau nom, utilisez les touches ↑↓ pour choisir parmi les lettres de l'alphabet (a à z ou l'espace) ou parmi les chiffres (0 à 9) et les touches ←→ pour vous déplacer dans le champ de votre nom de 32 caractères. Après avoir entré le nom de votre fichier, la touche «ENTER» entraînera la mise en mémoire du nom.

- 9) L'affichage indique maintenant :

Pt = xxxx Spot xx S
<ENTER> to start

où :

Pt xxxx : nombre de moyennes accumulées dans le présent fichier
Spot xx S : intervalle de temps en seconde pour calculer la moyenne

- 10) Appuyez sur «ENTER» pour commencer l'échantillonnage et le calcul des moyennes. L'instrument affiche maintenant :

Pt = xxxx Spot xx S
 xx Sec

où :

Pt et S ont la même signification que précédemment
xx Sec représente le temps écoulé depuis le début de l'échantillonnage.

- 11) Lorsque l'intervalle est écoulé, l'instrument affiche pour 5 secondes le résultat puis retourne à l'affichage :

Pt = xxxx Spot xx S
<ENTER> to start

- 12) Vous pouvez alors prendre une autre mesure dans le même fichier avec le même intervalle ou modifier les paramètres de mesure ou sortir de ce mode en appuyant sur «ESC».

Utilisation du logiciel graphique Fieldstar, version 2.55

Vous trouverez la disquette du logiciel dans la valise du teslamètre. Voici les opérations minimales à effectuer pour pouvoir installer et opérer le logiciel graphique version 2.55. Consultez le manuel du Fieldstar 4 000 pour de plus amples informations.

Assurez-vous que votre ordinateur est en mode DOS.

- 1) Placer la disquette sur le lecteur A
- 2) Taper «A :» - A :\> apparaît à l'écran
- 3) Taper «install.exe » puis retour
- 4) Appuyer sur la barre d'espace
- 5) Choisir le disque de travail (généralement le C)
- 6) Créer le répertoire «champ» (N.B. ne taper pas «C» de nouveau)
- 7) Appuyer sur retour
- 8) Choisir le moniteur (généralement 4)
- 9) Choisir la souris (optionnel). Taper zéro si vous n'êtes pas sûr
- 10) Choisir l'imprimante
- 11) Choisir la table traçante
- 12) Meta File : Choisir 0
- 13) C:\CHAMP\FSTAR> apparaît sur l'écran
- 14) Taper « Copyit » Les fichiers que vous venez de choisir sont copiés sur le disque choisi en 5). Attendre une vingtaine de secondes pour que les fichiers soient copiés.
- 15) « C:\CHAMP\FSTAR » apparaît à l'écran
- 16) Taper « cd .. » - «C:\champ> apparaît à l'écran

- 17) Raccorder le dosimètre Field Star 4000 à l'ordinateur. Utiliser l'adaptateur 25 broches à 9 broches, contenu dans la valise du Fieldstar, si nécessaire. Noter le port de communication série que vous allez utiliser : le 1 ou le 2.
- 18) Taper «FSGP» (**F**ield **S**tars **G**raphics **P**rogram) puis retour. Le programme démarre. Appuyer sur une touche.
- 19) Allumer le dosimètre en appuyant sur «ON» et appuyer immédiatement 4 fois sur «Next». Les 4 menus suivants déferleront automatiquement :
 - 1-Append Data
 - 2-Overwrite Data
 - 3-Upload data**
 - 4-Set default
- 20) Appuyer sur «3» à n'importe quel moment et «enter»
- 21) Choisir «UPLOAD» au menu apparaissant au haut de l'écran avec la première lettre de UPLOAD qui est U
- 22) Choisir «FILENAME» avec la lettre F que vous tapez au clavier. Taper le nom du fichier que vous désirez créer. Ce peut être le même nom que vous avez utilisé dans le dosimètre ou un nouveau nom plus explicite. Vous avez droit à 8 caractères.
- 23) «Enter file description» : donner une description du fichier pour vous y retrouver plus tard (Vous avez droit à 64 caractères). Ex. : Densité magnétique mesurée dans le bureau 401 à la compagnie ABC.
- 24) Choisir «Begin upload» avec la lettre B que vous tapez au clavier
- 25) Choisir le port de communication utilisé en 17)
- 26) Appuyer sur «enter», sur le dosimètre, pour transmettre les données
- 27) «Sending data» apparaît sur le dosimètre. Attendre quelques secondes à plusieurs minutes selon les données accumulées
- 28) Les messages «Upload to «nom du fichier» was Succesfull» et «Send complete» apparaissent respectivement sur le moniteur et sur le dosimètre lorsque la transmission des données est complétée et réussie. Si le dosimètre indique que la transmission est complétée mais que l'ordinateur n'indique rien, c'est que vous avez probablement utilisé le mauvais port de communication. Changer de port dans 21)

- 29) Appuyer sur une touche du clavier de l'ordinateur.
- 30) «Return» pour quitter le menu «Upload» en appuyant sur la lettre R. (Appuyer sur la touche «échappement» (esc) si vous faites une erreur)
- 31) Choisir «FILES» avec la lettre F. (Pour la liste de tous vos fichiers existants .RAW et .DAT, choisir «File directory & Info» avec la lettre F, laisser la ligne vide et faire retour)
- 32) Choisir «Make working file from raw upload data» en appuyant sur la lettre W afin de convertir le fichier binaire comprimé du dosimètre Field Star en un fichier binaire étendu possédant le suffixe .RAW. Entrer le nom du fichier créé en 22) (Pour la liste de tous vos fichiers .RAW, laisser la ligne vide et faire retour)

N.B. Tout fichier transmis à l'ordinateur à partir du dosimètre possédera le suffixe .RAW

- 33) Choisir «Select working file for plotting or printing» en appuyant sur la lettre S afin de convertir le fichier binaire étendu possédant le suffixe .RAW en un fichier ASCII possédant le suffixe .DAT. Entrer le nom du fichier créé précédemment si ce n'est déjà fait par le programme. (Pour la liste de tous vos fichiers .DAT, laisser la ligne vide et faire retour)

N.B. Seul un fichier possédant le suffixe .DAT peut être corrigé, modifié, imprimé ou tracé. Si jamais ce dernier fichier est corrompu, il peut être refait à partir du fichier original .RAW

- 34) Échappement (Esc) pour sortir
- 35) Choisir «Plotting» avec la lettre P
- 36) Faites votre choix de graphique en fonction des exemples qui vous sont donnés en annexe.
- 37) Choisir «GO» en appuyant sur la lettre G
- 38) Choisir «Screen» avec S ou «Printer» avec P

N.B. La prochaine fois que vous appellerez le programme, choisissez le répertoire «champ» puis tapez «FSGP»

Pour faire imprimer une liste des données, choisissez «FILES» sur la barre de commande en appuyant sur la lettre F, puis choisissez «Export Data to Printer» avec la lettre P.

VII. MESURE DU CHAMP MAGNÉTIQUE AVEC LE TESLAMÈTRE DE MARQUE HOLADAY HI-3627

Le teslamètre Holaday HI-3627 (figure 13) permet de mesurer les champs magnétiques à 60 Hz compris entre 20 nanotesla et 2 millitesla. Il possède une sonde triaxiale et ses 3 bobines sont concentriques. Le noyau est d'air, ce qui ne perturbe pas le champ magnétique. La surface d'intégration de ces bobines est de 100 cm² chacune.



Figure 13 : Teslamètre triaxial Holaday HI-3627 (ayant une bande passante de 5 Hz à 2 kHz et une gamme dynamique allant de 20 nT à 2 mT).

Parce que ses bobines sont relativement grandes, ce teslamètre n'est recommandé que pour mesurer des champs environnementaux (c'est-à-dire loin de sources ponctuelles). Il est également possible de mesurer près d'une source mais celle-ci devra être au moins cinq fois plus grande que le diamètre moyen de la sonde qui est de 113 mm. La seule exception à cette règle est pour la mesure d'un terminal à écran de visualisation (t.e.v.) En effet, cette sonde rencontre les exigences du protocole MPR III suédois ou IEEE P-1140 américain pour la mesure des t.e.v. Lorsque vous mesurez avec cette sonde, considérez le centre de la sonde (rayon de 64 mm) comme étant le point de mesure.

Ce teslamètre a également une bande passante de 5 Hz à 2 kHz. C'est-à-dire qu'il fait la racine carrée de la somme quadratique de toutes les fréquences présentes dans l'environnement, comprises dans sa bande passante, pour respecter les exigences du protocole.

Quand aux mesures faites hors du protocole pour les t.e.v., il importe de ne mesurer qu'une seule fréquence à la fois. Ceci n'est possible que si la forme de l'onde est sinusoïdale. Toute forme d'onde qui n'est pas sinusoïdale comporte des harmoniques qui sont des multiples de la fondamentale. Il devient alors impossible d'appliquer une recommandation puisque nous avons affaire à plus d'une fréquence.

Pour qu'il n'y ait qu'une seule fréquence présente, le champ magnétique doit avoir une variation temporelle sinusoïdale. Afin de s'assurer que la forme d'onde est bien sinusoïdale et pour connaître sa fréquence, l'IRSST a ajouté un connecteur coaxial sur le teslamètre Holaday. Ce connecteur est relié à l'un des 3 amplificateurs de bobine. Il est ainsi possible de relier l'une des 3 bobines du Holaday avec l'oscilloscope Fluke 97 de façon à lire la fréquence et voir la forme de l'onde (figure 14).



Figure 14 : Oscilloscope Fluke 97 (raccordé au connecteur BNC à l'arrière du teslamètre Holaday HI-3627 afin de connaître la fréquence du champ et de s'assurer qu'elle est unique).

Mode d'opération :

Reliez le connecteur coaxial du Holaday à l'entrée de l'oscilloscope Fluke 97 à l'aide du câble coaxial placé dans le couvercle de la valise du Holaday.

Après avoir allumé l'oscilloscope par la touche verte «ON», appuyez sur la touche noire «setup» dans l'encadré blanc «memory». Puis appuyez sur la touche bleue «recall». Puis avec les 2 touches bleues ↓ ↓ choisissez «setup 1» et appuyez sur la touche bleue correspondante à «enter». Vous pourrez ainsi connaître la fréquence du signal que vous mesurez. De plus, en tournant le bouton des échelles sur le HI-3627, vous contrôlez le gain du signal transmis à l'oscilloscope.

Vous pouvez également avoir une image plus grande du signal en vous plaçant en mode «scope» (bouton gris) puis en appuyant sur la touche turquoise «autoset». Toutes les lectures apparaissent à droite de l'écran. Ajustez le gain du signal, au canal A, avec le bouton gris foncé «mV/V» dans l'encadré blanc «Channel A »et le nombre de cycles apparaissant à l'écran avec le bouton noir «s TIME ns».

Pour des ondes de toutes autres formes, il est important de se rappeler que ces ondes sont formées d'une multitude d'ondes appelées harmoniques et que le Holaday HI-3627 effectuera la racine carrée de la somme quadratique de toutes les fréquences présentes pour composer la valeur au cadran. Quelle recommandation appliquer ?

La seule voie de sortie ici est d'utiliser la bobine Perfection Mica qui est une bobine étalonnée et dont le facteur d'étalonnage nous est fourni par le fabricant de l'oscilloscope Fluke 97. La bobine est alors orientée pour le maximum de lectures puis le signal est mis en mémoire.

Un logiciel de transformé de Fourier vous permettra de transférer votre signal vers l'ordinateur et de séparer l'onde composite en chacune de ses composantes. La bobine étant étalonnée jusqu'à 3 kHz, vous pourrez alors prendre la valeur de l'intensité de chacune des composantes en deçà de 3 kHz et les convertir en valeur de densité magnétique en utilisant la formule apposée sur la bobine et appliquer la recommandation appropriée pour chacune des fréquences.

Comme ces opérations sont assez compliquées, nous les omettrons du présent document et les inclurons dans un document spécialisé intitulé : «Guide de mesure de champs magnétiques non sinusoïdaux».

VIII. MESURE DES CHAMPS MAGNÉTIQUES AVEC LA BOBINE PERFECTION MICA ET L'OSCILLOSCOPE FLUKE 97.

La bobine Perfection Mica a une surface d'intégration de 7 cm^2 et un noyau d'air. Son étalonnage est valide jusqu'à 3 kHz. Comme cette bobine est relativement petite, elle est particulièrement bien adaptée pour la mesure très près des sources. Elle doit par contre être orientée dans toutes les directions pour la recherche du vecteur maximum. Le centre de la bobine se situe à 2,4 cm de la face avant. Ainsi, lorsque la bobine est complètement collée sur une source, la distance de mesure est en fait 2,4 cm.

Mode d'opération :

Brancher la bobine au canal A de l'oscilloscope (figure 15) à l'aide de l'adaptateur pour convertir la fiche banane en une fiche BNC. Si ce n'est déjà fait, alignez la borne de la fiche banane surmontée de la vis avec la borne noire de la prise banane, de sorte que les mises à la terre soient reliées entre elles. Assurez-vous que le ratio de sonde est à 1:1 sur l'oscilloscope (la ligne du haut affiche «1:1 probe»). Dans le cas contraire, appuyer sur la touche noire «LCD» puis sur la touche bleue correspondante à «probe cal». Choisissez à l'aide des boutons bleus $\uparrow \downarrow$ le ratio 1:1 pour le canal A.

Appuyer sur le bouton de couleur turquoise «auto set». L'oscilloscope ajustera automatiquement tous les réglages pour vous et affichera la forme d'onde.

Ajustez le gain du signal, au canal A, avec le bouton gris foncé «mV/V» dans l'encadré blanc «Channel A» et le nombre de cycles apparaissant à l'écran avec le bouton noir «s TIME ns».

La colonne de droite vous indiquera le voltage rms et la fréquence du champ magnétique. Convertissez le voltage rms affiché en millivolts si ce n'est déjà fait et introduisez-le dans la formule apposée sur la bobine de même que la fréquence en hertz, vous obtiendrez alors



Figure 15 : Bobine uniaxiale Perfection Mica raccordée à l'oscilloscope Fluke 97

la densité du champ magnétique en tesla et pourrez alors appliquer la recommandation pour cette fréquence.

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

Un autre menu plus spécialisé existe pour mesurer principalement la fréquence et secondairement le voltage :

- 1) Mettez en marche le scopemètre en appuyant sur le bouton "on-off" de couleur verte, en bas à gauche, de l'instrument. Si l'instrument s'éteint au bout de quelques secondes, c'est que sa batterie est à plat. Vous pouvez recharger sa batterie, tout en utilisant le scopemètre, en le raccordant à son chargeur.
- 2) Appuyez sur le bouton gris "set-up" placé dans la case blanche "memory" au bas de l'instrument. L'IRSST a programmé l'instrument dans le meilleur mode de mesure afin de vous faciliter l'observation de la forme d'onde et de sa fréquence.
- 3) Appuyez sur le 1^{er} bouton bleu d'une série de 5, à gauche, au bas de l'écran, correspondant à la fonction "recall". Notez que la fonction de ces 5 boutons change en fonction de ce qui s'inscrit au bas de l'écran.
- 4) Un menu apparaît du côté droit de l'écran. Assurez-vous que "setup 1" y est intensifié. Sinon, utilisez les deux boutons bleus ayant des flèches en relief pour choisir "setup 1". Appuyez sur le bouton bleu d'extrême droite correspondant à "enter". L'instrument est maintenant prêt à être utilisé.
- 5) Vous pouvez éclairer l'écran en appuyant sur le bouton gris "LCD", au bas, à droite, puis sur le bouton bleu de droite correspondant à "Back light".
- 6) Notez que si l'instrument n'est pas utilisé pour un certain temps, il s'éteint de lui-même. Il suffit de le rallumer, l'instrument conservera le dernier mode de mesure. Si pour une raison ou une autre, le scopmètre se dérègle, répétez les étapes 2 à 4.

Convertissez le voltage rms affiché⁽¹⁾ en millivolts si ce n'est déjà fait et introduisez-le dans la formule apposée sur la bobine de même que la fréquence, vous obtiendrez alors la densité du champ magnétique en tesla et pourrez alors appliquer la recommandation pour cette fréquence.

⁽¹⁾ Le voltage apparaît du coté droit, sous la fenêtre du tracé.

Alors que l'oscilloscope peut lire des signaux jusqu'à 50 MHz et que la bobine peut convertir les champs magnétiques en voltage jusqu'à des fréquences très élevées, **rappelez-vous que la formule n'est valable que pour les champs magnétiques inférieurs à 3 kHz.**

IX. MESURES DE PROTECTION DU TRAVAILLEUR

La façon la plus simple et la moins coûteuse de réduire l'exposition au champ magnétique est par l'éloignement du travailleur de la source. On signalera la zone sécuritaire à l'aide de ruban adhésif ou d'une bande de peinture et d'un écriteau, à lettrage noir sur fond jaune, similaire à celui illustré à la figure 16.

Lorsque l'éloignement du travailleur n'est pas possible, on doit examiner la possibilité de réduire le champ magnétique par un réarrangement géométrique des câbles d'alimentation ou de sortie de la source émettrice. En effet, il est important de maintenir les conducteurs d'aller et de retour du courant, les plus serrés possible afin que les champs magnétiques des conducteurs s'annulent.

Rappelez-vous que le champ magnétique tourne dans un sens pour l'aller du courant et dans l'autre sens pour son retour. Si les conducteurs sont placés côte à côte, les champs s'annuleront alors que s'ils sont distants

l'un de l'autre, l'annulation en sera d'autant moins efficace que la distance qui les sépare. Il est également important que les phases soient bien balancées. Dans la sous-station et les salles électriques d'une usine, si les phases sont mal balancées, c'est-à-dire que le courant dans chacune des phases ou conducteurs n'est pas le même, les champs magnétiques ne pourront s'annuler parfaitement.

De plus, lorsque ce problème survient, le courant excédentaire d'une phase se retrouve souvent dans le conducteur neutre qui en temps normal ne doit conduire aucun courant. Or, ce courant qui circule dans le neutre, ne retrouve souvent pas sa contrepartie qui générerait un champ magnétique contraire car ce conducteur suit fréquemment un autre chemin que les trois conducteurs de phase. Et puisque nous avons affaire à un seul conducteur transportant un courant, l'atténuation du champ magnétique se fait selon $1/r$ et non selon $1/r^2$ pour deux



Figure 16 : Écriteau de mise en garde

ou trois conducteurs balancés. Le champ magnétique est donc proportionnellement plus fort autour du neutre transportant un courant que ce même courant transporté par des phases balancées.

La même situation se produit souvent pour la plomberie d'une usine : en effet, lorsque les phases sont débalancées, le courant du neutre qui est fréquemment rattaché à la terre, causera la circulation de courant parasite dans la tuyauterie qui elle-même circule dans la terre. Il arrive fréquemment que l'usine voisine engendre dans l'usine étudiée des courants parasites dans la plomberie puisque les tuyaux sont raccordés ensemble. Il devient alors nécessaire d'isoler les deux usines par une section de tuyau en plastique.

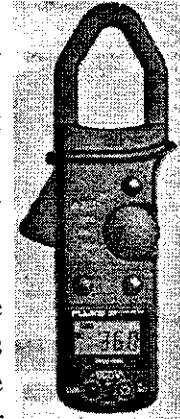


Figure 17

L'électricien utilisera une pince ampèremétrique (figure 17) autour du neutre ou des tuyaux afin de déceler des courants parasites. Notez que ces courants ne sont pas toujours présents et peuvent n'apparaître que lorsque certaines charges mal équilibrées sont mises en marche. Un enregistreur graphique relié à la pince pourra déceler ces charges sur une période de 24 heures.

Une autre possibilité, beaucoup plus dispendieuse, consiste à blinder la source. Le meilleur blindage est celui qui entoure complètement la source avec le moins d'arêtes possibles. Selon le niveau d'atténuation souhaité, le blindage comportera une ou plusieurs couches de matériaux ferromagnétiques.

Le fer doux est un matériau relativement peu dispendieux qui se prête bien au blindage. Par contre, dans certains cas, il est souhaitable d'avoir un matériau moins lourd et plus efficace. On se tournera alors vers la classe de matériaux appelés mu-métaux. Plus légers et beaucoup plus efficaces, ils sont aussi beaucoup plus dispendieux et nécessitent un grand soin dans leur manipulation.

Si le blindage comporte plusieurs couches, le matériau qui possède la plus basse perméabilité et le plus haut niveau de résistance à la saturation est placé en premier. Suivront par la suite les matériaux qui ont de plus en plus de perméabilité et de moins en moins de résistance à la saturation. Chaque couche doit être isolée électriquement de la précédente. Un seul point de raccord viendra faire la mise à la terre de toutes les couches.

Consultez les références bibliographiques [Feero, 1991] et [MIL-HDBK-419, 19982] pour plus d'informations sur le blindage.

X. BIBLIOGRAPHIE

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold Limit Value and Biological Exposure Indices for 1997. Cincinnati, Ohio 45211-4438.

ANSI/IEEE Std 644-1987. IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, N.Y. 10017. 1987.

Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields, edited by M. Grandolfo, S.M. Michaelson and A. Rindi. Life Sciences, Plenum Press. 1985.

Camras Marvin. Magnetic Recording Handbook. Van Nostrand Reinhold. 1988.

Carstensen, Edwin L. Biological Effects of Transmission Line Fields. Elsevier. 1987.

CRC Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields. Edited by Charles Polk and Elliot Postow. CRC Press, Inc. 1986. (Une seconde édition est maintenant disponible datant de 1995).

Dexsil Corporation. FieldStar Stand Alone Recorder Operations Manual, Version 6.0. Rev. 9-3-93.

MIL-HDBK-419. Military Handbook. Grounding, Bonding, and Shielding for Electronic Equipments and Facilities. Volume 1 - Basic Theory. Volume two - Applications. Department of Defense, Washington. 1982.

EDF. Effet sur la santé et le vivant des champs électriques et magnétiques. Biblioscopie. Bulletin Bibliographique thématique, n° 1 - décembre 1995.

ENV50166-1, January 1995, CENELEC, Human Exposure to Electromagnetic Fields, Low Frequency (0 Hz to 10 kHz)

Feero, William E. «Magnetic Field Management» dans Proceeding of the Scientific Workshop on the Health Effects of Electric and Magnetic Fields on Workers. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centre for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health. (Philip J. Bierbaum and John M. Peters, editors). 1991. p 172.

Hydro-Québec. Direction Communication et Relations publiques. Les champs électriques et magnétiques et la santé. 1995.

Hitchcock, Timothy R. et Patterson, Robert M. Radio-Frequency and ELF Electromagnetic Energies - A Handbook for Health Professionals. Van Nostrand Reinhold. 1995.

INRS. Champs électriques Champs magnétiques Ondes électromagnétiques - Guide à l'usage du médecin du travail et du préventeur. INRS, Paris, ED 785. 1995.

International Labour Office, Geneva. Protection of Workers from Power Frequency Electric and Magnetic Fields - A Practical Guide. Occupational and Health Safety Series 69. 1994.

International Non-Ionizing Radiation Committee. Interim Guidelines on Limits of Exposure to 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields in IRPA Guidelines on Protection Against Non-Ionizing Radiation. Pergamon Press, 1991. p 83 - 94.

IRSST. Bilan des normes et recommandations d'exposition aux champs électro-magnétiques (0 à 300 GHz) et aux rayonnements ultraviolets. Bilan de connaissances B-047. 1996.

Kaune, William T. Anderson, Larry E. Physical Aspects of ELF Electric and Magnetic Fields : Measurements and Dosimetry dans Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields: The Question of Cancer. Wilson, B.W., Stevens, R.G., Andersen, L.E. editors, pp.17-46. Battelle Press. 1990.

Kirschvink, Joseph L. Uniform Magnetic Fields and Double-Wrapped Coil Systems : Improved Techniques for the Design of Bioelectromagnetic Experiments. Bioelectromagnetics 13:401- 411. 1992.

Levallois, P., Lajoie, P. et Gauvin, D. Les effets des champs électromagnétiques de 50/60Hz sur la santé : bilan et perspectives de santé publique pour le Québec. Service Santé et Environnement. Département de santé communautaire. Centre Hospitalier de l'Université Laval. 1991.

McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, 7th Edition. Vol 9. McGraw-Hill, 1992. pp 92 -94.

National Board of Occupational Safety and Health in Sweden. Health Hazards of Low-Frequency Electromagnetic Fields. News Letter 1. 1996.

National Institute of Environmental Health Sciences and U.S. Department of Energy. Questions and Answers about EMF Electric and Magnetic Fields Associated with the Use of Electric Power. DOE/EE-0040. January 1995.

National Institute for Occupational Safety and Health, National Institute of Environmental Health Sciences, U.S. Department of Energy. EMF in the workplace - Electric and Magnetic

Fields Associated with the use of Electric Power - Questions and Answers. September 1996. p35. Ce document est disponible sur Internet à l'adresse www.niehs.nih.gov/emfrapid/home.htm (EMF RAPID Home Page).

Organisation mondiale de la santé, Bureau régionale de l'Europe, Copenhague. La protection contre les rayonnements non ionisants - Deuxième édition. OMS, Publications régionales, Série européenne n° 25, 1991.

Plante, Michel. Les champs électriques et magnétiques sont-ils dangereux? Le médecin du Québec. Vol. 29, n° 1, Janvier 1994. p53.

Seppä, H., Ryhänen, T., Ilmoniemi and Knuutila, J. DC SQUID and its Low-Frequency Applications. Metrology Research Institute, Technical Research Centre of Finland. Heikki.Seppa@vtt.fi.

Stevens, R.G.; Wilson, B.W.; Anderson, L.E. The Melatonin Hypothesis : Breast Cancer and the Use of Electric Power. Batelle Press. 1997.

Swedish National Board of Occupational Safety and Health, National Board of Housing, Building and Planning, National Electrical Safety Board, National Board of Health and Welfare, Radiation Protection Institute. Low-Frequency Electrical And Magnetic Fields : The Precautionary Principle For National Authorities - Guidance for Decision-Makers. 1996.

The International Radiation Protection Association (IRPA) Non-Ionizing Radiation Committee. IRPA Guidelines on Protection against Non-Ionizing Radiation. Pergamon Press. Chapitre 6, 1991.

U.S. Department Of Health And Human Resources. Public Health Service. Centers for Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health. EMFs In The Workplace. NIOSH Fact Sheet. DHHS (NIOSH) Publication No. 96-129. NIOSH Home Page at <http://www.cdc.gov/niosh/homepage.html>.

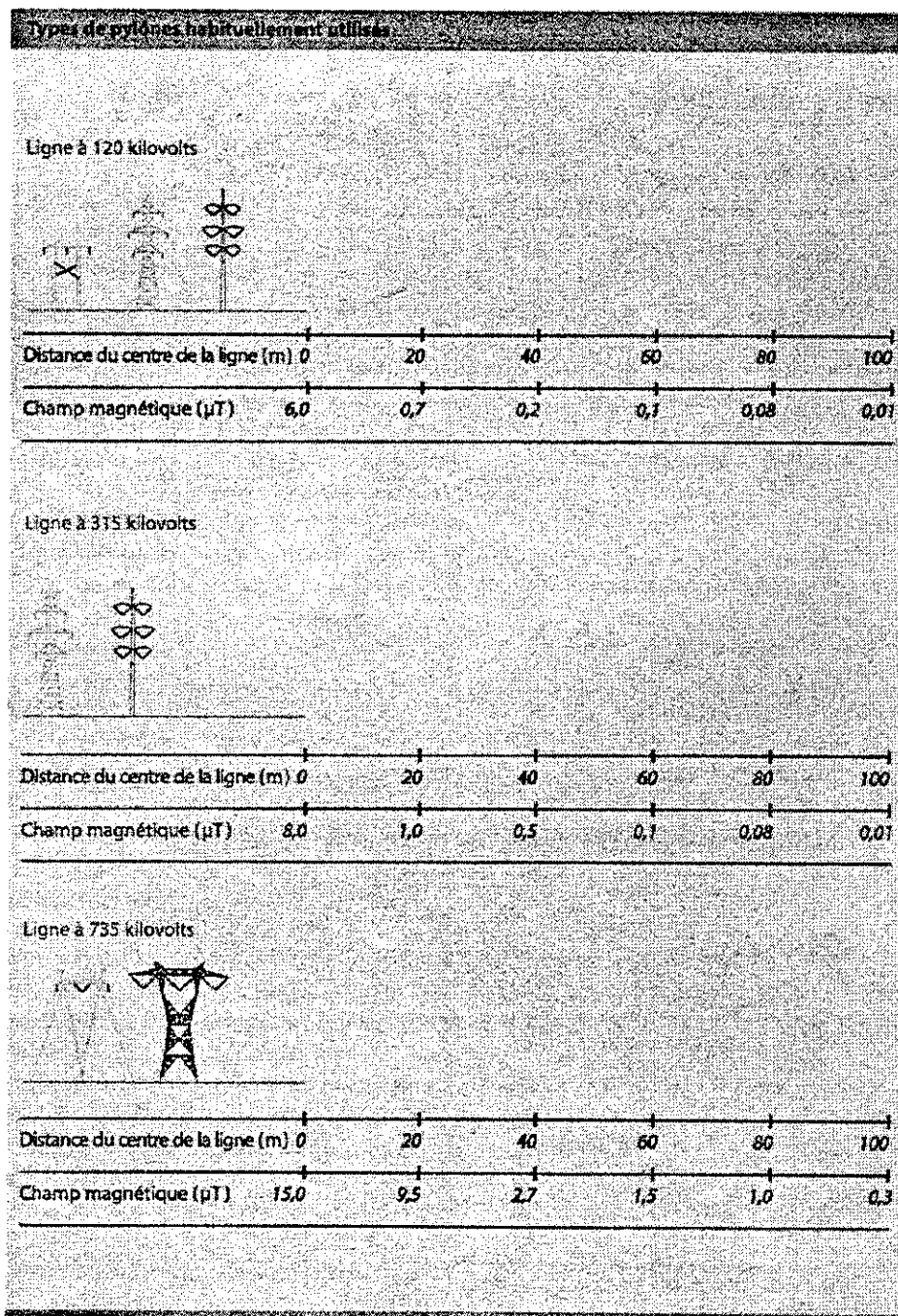
Wildi, Théodore. Électrotechnique. Deuxième édition. Les presses de l'université Laval. 1991.

World Health Organization. Environmental Health Criteria 69 - Magnetic Fields. 1987.

World Health Organization. Environmental Health Criteria 35 - Extremely Low Frequency (ELF) Fields. 1984.

ANNEXE 1

CHAMPS MAGNÉTIQUES EN BORDURE DES LIGNES DE TRANSPORT

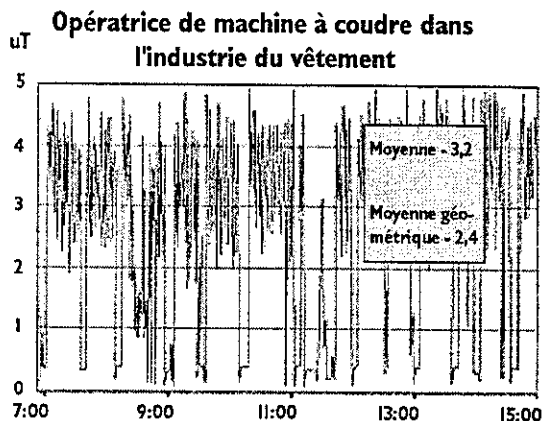


Source : Hydro-Québec. Direction Communication et Relations publiques. Les champs électriques et magnétiques et la santé. 1995. p8.

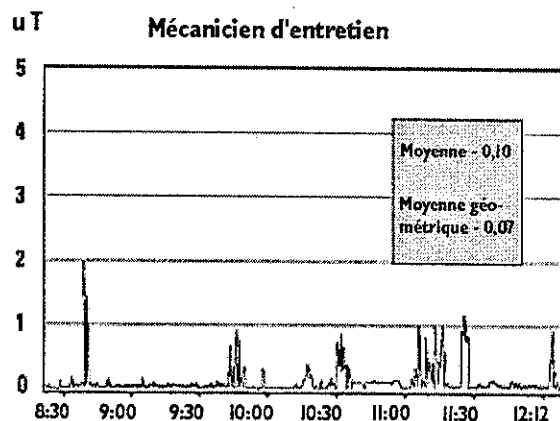
ANNEXE 2

SOURCES INDUSTRIELLES DE CHAMPS MAGNÉTIQUES

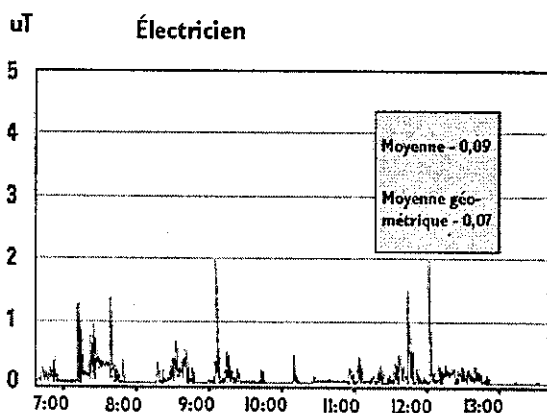
GRAPHIQUES D'EXPOSITION AUX FEB POUR DIFFÉRENTS TRAVAILLEURS



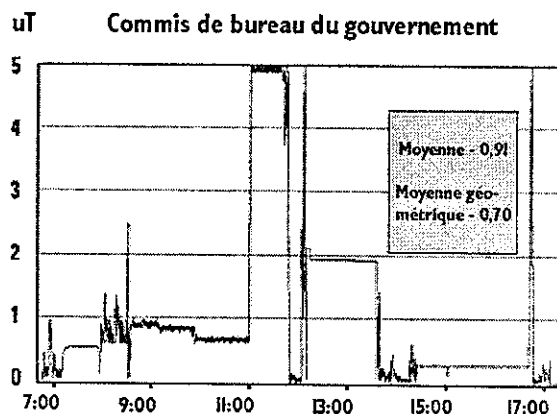
L'opératrice de machine à coudre a travaillé toute la journée, pris un repas d'une heure à 11:15 et pris des pauses de 10 minutes à 8:55 et 2:55.



Le mécanicien a réparé un compresseur à 9:45 et à 11:10.



L'électricien a réparé un moteur d'air climatisé de fort ampérage à 9:10 et à 11:45.



Le commis a utilisé un photocopieur à 8:00, un ordinateur de 11:00 à 13:00 et de 14:30 à 16:30.

Traduction de l'auteur

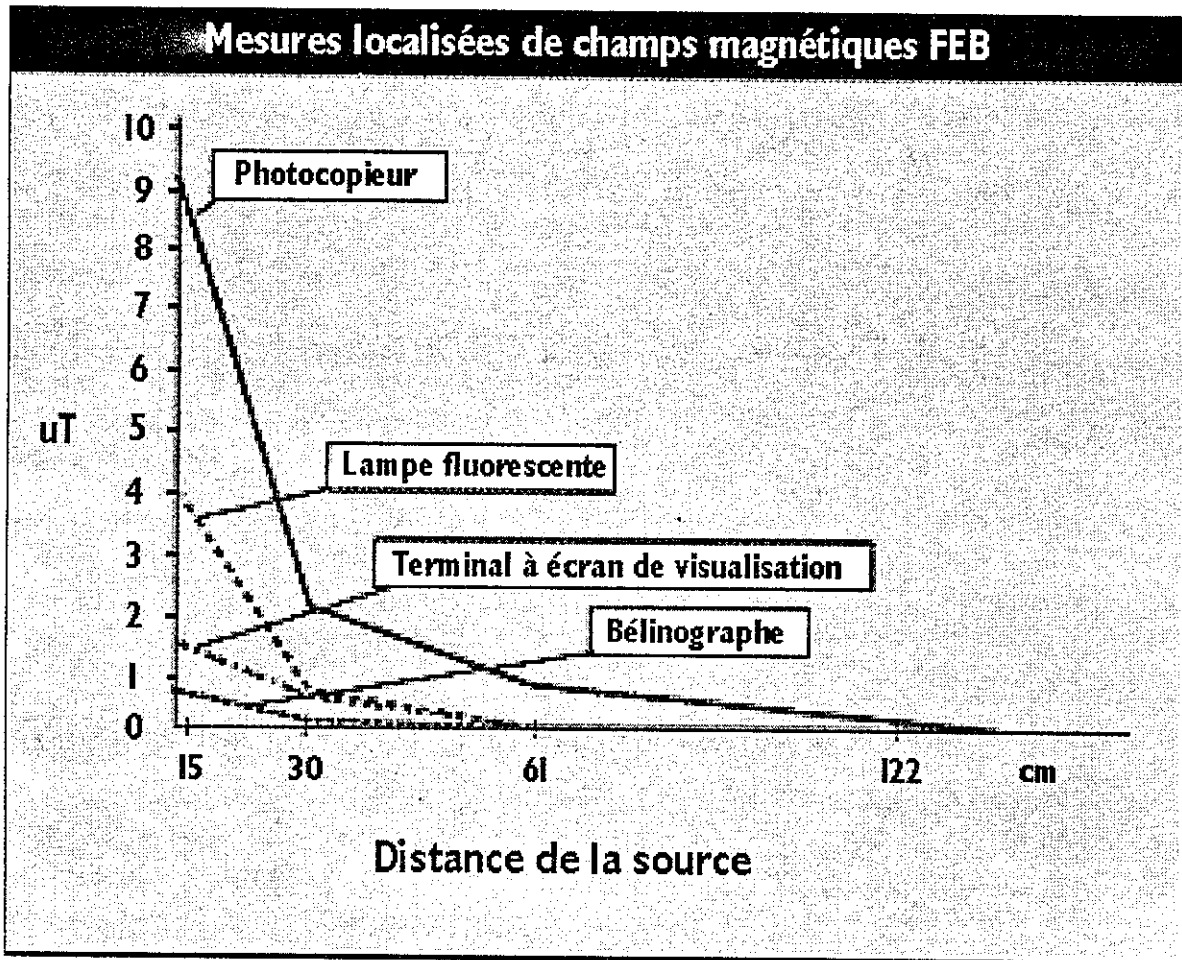
Source : National Institute for Occupational Safety and Health, National Institute of Environmental Health Sciences, U.S. Department of Energy. EMF in the workplace - Electric and Magnetic Fields Associated with the use of Electric Power - Questions and Answers, September 1996. p 32. Ce document est disponible sur Internet à l'adresse www.niehs.nih.gov/emfrapid/home.htm (EMF RAPID Home Page)

Ces valeurs ne sont pas nécessairement représentatives d'expositions types reliées aux professions illustrées. Ces données ont été obtenues par un dosimètre porté par le travailleur.

MESURES DE CHAMPS MAGNÉTIQUES MOYENNÉES SUR LA JOURNÉE DE TRAVAIL		
Industrie et professions	Champs magnétiques FEB mesurés en microteslas (μT)	
	Médiane pour la profession	Étendue pour 90% des travailleurs*
Hommes au travail en Suède		
Opérateurs de machinerie de construction	0,04	0,02 - 0,06
Conducteurs de véhicules motorisés	0,08	0,03 - 0,19
Professeurs en enseignement théorique	0,12	0,04 - 0,31
Réparation et assemblage de machinerie	0,17	0,03 - 0,37
Ventes au détail	0,27	0,08 - 0,44
Travailleurs dans le domaine électrique		
Ingénieurs en génie électrique	0,17	0,05 - 1,20
Électriciens sur chantiers de construction	0,31	0,16 - 1,20
Réparateurs de TV	0,43	0,06 - 0,86
Soudeurs	0,82	0,17 - 9,60
Service de distribution électrique		
Commis de bureau sans ordinateur	0,05	0,05 - 0,16
Commis de bureau avec ordinateur	0,12	0,03 - 0,63
Travailleurs de ligne	0,25	0,05 - 3,50
Électriciens	0,54	0,08 - 3,40
Opérateurs de sous-station pour la distribution	0,72	0,11 - 3,40

MESURES DE CHAMPS MAGNÉTIQUES MOYENNÉES SUR LA JOURNÉE DE TRAVAIL		
Industrie et professions	Champs magnétiques FEB mesurés en microteslas (μT)	
	Médiane pour la profession	Étendue pour 90% des travailleurs*
Travailleurs hors lieu de travail (demeure, voyage, etc.)	0,09	0,03 - 0,37
Télécommunications		
Techniciens d'installation, d'entretien et de réparation	0,16	0,09 - 0,31
Techniciens du central	0,21	0,05 - 0,82
Préposés aux épissures	0,32	0,07 - 1,50
Fabrication de transmissions d'automobiles		
Assembleurs	0,07	0,02 - 0,49
Machinistes	0,19	0,06 - 2,80
Hôpitaux		
Infirmières	0,11	0,05 - 0,21
Techniciens aux rayons X	0,15	0,10 - 0,22
Travailleurs dans l'industrie du vêtement en Finlande		
Opératrices de machine à coudre	2,2	1,00 - 4,00
Autres travailleurs de l'industrie	0,3	0,10 - 0,60

MESURES DE CHAMPS MAGNÉTIQUES MOYENNÉES SUR LA JOURNÉE DE TRAVAIL		
Industrie et professions	Champs magnétiques FEB mesurés en microteslas (μT)	
	Médiane pour la profession	Étendue pour 90% des travailleurs*
<p>* Cette étendue se situe entre le 5^e et 95^e percentile des moyennes journalières pour une profession.</p> <p>FEB : Fréquences extrêmement basses (30 Hz - 300Hz)</p> <p>Traduction de l'auteur</p> <p>Source : National Institute for Occupational Safety and Health, National Institute of Environmental Health Sciences, U.S. Department of Energy. <u>EMF in the workplace - Electric and Magnetic Fields Associated with the use of Electric Power - Questions and Answers</u>. September 1996. p35. Ce document est disponible sur Internet à l'adresse www.niehs.nih.gov/emfrapid/home.htm (EMF RAPID Home Page)</p>		



Source : EMF In Your Environment, Environmental Protection Agency, U.S.A. 1992.
Traduction de l'auteur.

Comme le montre le graphique, l'intensité des champs magnétiques décroît rapidement avec la distance.

Tiré de : National Institute for Occupational Safety and Health, National Institute of Environmental Health Sciences, U.S. Department of Energy. EMF in the workplace - Electric and Magnetic Fields Associated with the use of Electric Power - Questions and Answers. September 1996. p 36. Ce document est disponible sur Internet à l'adresse www.niehs.nih.gov/emfrapid/home.htm (EMF RAPID Home Page).

À moins d'avis contraire, les champs magnétiques ont été mesurés aux postes des travailleurs. Certaines mesures ont été effectuées à des distances spécifiques. Dans le cas d'un aperçu général, le préposé aux mesures a effectué une série de mesures en différents points dans la pièce.

Industries et sources	Champs magnétiques de FEB mesurés en microtesla (μT)	Remarques	Autres fréquences
Équipement mécanique utilisé dans la fabrication			
Chauffage électrique par résistance	600 - 1 400		FTB
Chauffage par induction	1 - 46		FTB élevées
Meuleuse portative	300	Exposition mesurée au niveau de l'abdomen du travailleur	
Meuleuse	11		
Tour, perceuse sur colonne, etc.	0,1 - 0,4		
Électro galvanisation			
Salle des redresseurs	200 - 460	Courant continu redressé (avec ondulation FEB)	Champs statiques élevés
Ligne électrique et sous-station extérieure	10 - 170		
Affinage de l'aluminium			
Salles de cuves d'aluminium	0,34 - 3,0	Courant continu très bien redressé (avec ondulation FEB)	Champs statiques très élevés
Salle des redresseurs	30 - 330		Champs statiques élevés

Industries et sources	Champs magnétiques de FEB mesurés en microtesla (μT)	Remarques	Autres fréquences
Fonderie d'acier			
Affinage de coulée Poche de coulée, électrodes actives	17 - 130	Le plus haut champ de FEB a été retrouvé à la chaise de l'opérateur de la salle de contrôle	FUB élevée en provenance du gros girateur magnétique de la poche de coulée
Affinage de coulée Poche de coulée, électrodes inactives	0,06 - 0,37		
Unité d'électro-galvanisation	0,2 - 110		FTB élevées
Station de télévision			
Caméras vidéo (studio et minicams)	0,72 - 2,4		FTB
Démagnétiseuses de rubans vidéo	16 - 330	Mesuré à 30 cm	
Centres de contrôle de l'éclairage	1 - 30	aperçu général	
Studios et salles de nouvelles	0,2 - 0,5		
Télécommunications			
Panneaux de commutation à relais	1,5 - 3,2	mesuré à 5 - 7 cm des relais	Champs statiques et transients de FUB et FTB

Industries et sources	Champs magnétiques de FEB mesurés en microtesla (μT)	Remarques	Autres fréquences
Salles de commutation (Commutateurs électroniques et à relais)	0,01 - 130	aperçu général	Champs statiques et transients de FUB et FTB
Chambre forte souterraine de téléphonie	0,3 - 0,5	aperçu général	
Hôpitaux			
Unité de soins intensifs	0,01 - 22	Mesuré au niveau de la poitrine de l'infirmière	FTB
Salle de réveil	0,01 - 2,4		FTB
Imagerie par résonance magnétique	0,05 - 28	Mesuré aux sites de travail du technicien	Champ statique très élevé, FTB et RF
Bureaux du gouvernement			
Sites de travail de bureau	0,01 - 0,7	Crêtes dues aux imprimantes laser	
Bureaux non-loins de la salle de distribution électrique	1,8 - 5,0		
Câbles d'alimentation dans le plancher	1,5 - 17,0		
Salle d'ordinateurs	0,04 - 0,66		
Ouvre-boîtes	300	Mesuré à 15 cm	
Éventail de bureau	100	Mesuré à 15 cm	
Autres appareils de bureau	1,0 - 20	Mesuré à 15 cm	

Industries et sources	Champs magnétiques de FEB mesurés en microtesla (μT)	Remarques	Autres fréquences
Alimentations électriques pour l'édifice	2,5 - 180		
<p>FUB (ULF) : Fréquences Ultra Basses < 3 Hz pour le tableau ci-haut, officiellement <30 Hz FEB (ELF) : Fréquences Extrêmement Basses 3 - 3000 Hz pour le tableau ci-haut, officiellement 30 - 300 Hz FTB (VLF) : Fréquences Très Basses 3 - 30 kHz (inchangées) RF : Radio-Fréquences 10 kHz - 1 GHz pour le tableau ci-haut, officiellement 100 kHz - 300 MHz</p> <p>Les données sommaires contenues dans ce tableau proviennent de différentes études, lesquelles sont énumérées à la page 53 de la section référence du manuel original.</p> <p>Les intensités des autres fréquences mesurées peuvent être retrouvées dans les rapports originaux.</p> <p>Traduction de l'auteur</p> <p>Source : National Institute for Occupational Safety and Health, National Institute of Environmental Health Sciences, U.S. Department of Energy. <u>EMF in the workplace - Electric and Magnetic Fields Associated with the use of Electric Power - Questions and Answers</u>. September 1996. p37. Ce document est disponible sur Internet à l'adresse www.niehs.nih.gov/emfrapid/home.htm (EMF RAPID Home Page)</p>			

ANNEXE 3

SOURCES DOMESTIQUES DE CHAMPS MAGNÉTIQUES À TITRE COMPARATIF

Toutes les unités sont exprimées en microtesla (μT). Un trait d'union (-) signifie que la densité magnétique mesurée à cette distance de l'appareil ne pouvait être distinguée du bruit de fond existant avant que l'appareil ne soit allumé. Les valeurs les plus basses, médianes et les plus élevées sont rapportées.

Salle de bain				
Appareils	15 cm	30 cm	60 cm	1,2 m
SÉCHOIRS À CHEVEUX				
Basse	0,1	-	-	-
Médiane	30	0,1	-	-
Élevée	70	7	1	0,1
RASOIRS ÉLECTRIQUES				
Basse	0,4	-	-	-
Médiane	10	2	-	-
Élevée	60	10	1	0,1

Cuisine				
Appareils	15 cm	30 cm	60 cm	1,2 m
MÉLANGEURS				
Basse	3	0,5	-	-
Médiane	7	1	0,2	-
Élevée	10	2	0,3	-
OUVRE-BOÎTES				
Basse	50	4	0,3	-
Médiane	60	15	2	0,2
Élevée	150	30	3	0,4
PERCOLATEURS				
Basse	0,4	-	-	-
Médiane	0,7	-	-	-
Élevée	1	0,1	-	-

Cuisine				
Appareils	15 cm	30 cm	60 cm	1,2 m
MIJOTEUSES				
Basse	0,3	-	-	-
Médiane	0,6	0,1	-	-
Élevée	0,9	0,1	-	-
LAVE-VAISSELLE				
Basse	1	0,6	0,2	-
Médiane	2	1	0,4	-
Élevée	10	3	0,7	0,1
MALAXEURS				
Basse	2	0,5	-	-
Médiane	3	0,6	0,2	-
Élevée	13	2	0,3	-
DISPENSATEURS À DÉCHETS				
Basse	6	0,8	0,1	-
Médiane	8	1	0,2	-
Élevée	10	2	0,3	-
FOURS MICRO-ONDES				
Basse	10	0,1	0,1	-
Médiane	20	0,4	1	0,2
Élevée	30	20	3	2
MIXETTES				
Basse	3	0,5	-	-
Médiane	10	1	0,1	-
Élevée	60	10	1	-
FOURS ÉLECTRIQUES				
Basse	0,4	0,1	-	-
Médiane	0,9	0,4	-	-
Élevée	2	0,5	0,1	-

Cuisine				
Appareils	15 cm	30 cm	60 cm	1,2 m
RONDS DE CUISINIÈRES				
Basse	2	-	-	-
Médiane	3	0,8	0,2	-
Élevée	20	3	0,9	0,6
RÉFRIGÉRATEURS				
Basse	-	-	-	-
Médiane	0,2	0,2	0,1	-
Élevée	4	2	1	1
GRILLE-PAINS				
Basse	0,5	-	-	-
Médiane	1	0,3	-	-
Élevée	2	0,7	-	-

Salle de séjour				
Appareils	15 cm	30 cm	60 cm	1,2 m
ÉVENTAILS DE PLAFOND				
Basse		-	-	-
Médiane		0,3	-	-
Élevée		5	0,6	1
CLIMATISEURS DE FENÊTRE				
Basse		-	-	-
Médiane		0,3	0,1	-
Élevée		2	0,6	0,4
SYNTONISATEURS/MAGNÉTOPHONES				
Basse	-	-	-	-
Médiane	0,1	-	-	-
Élevée	0,3	0,1	-	-

Salle de séjour				
Appareils	15 cm	30 cm	60 cm	1,2 m
TV COULEUR				
Basse		-	-	-
Médiane		0,7	0,2	-
Élevée		2	0,8	0,4
TV NOIR ET BLANC				
Basse		0,1	-	-
Médiane		0,3	-	-
Élevée		1	0,2	0,1

Salle de lavage				
Appareils	15 cm	30 cm	60 cm	1,2 m
SÉCHEUSES				
Basse	0,2	-	-	-
Médiane	0,3	0,2	-	-
Élevée	1	0,3	-	-
LAVEUSES À LINGE				
Basse	0,4	0,1	-	-
Médiane	2	0,7	0,1	-
Élevée	10	3	0,6	-
FERS À REPASSER				
Basse	0,6	0,1	-	-
Médiane	0,8	0,1	-	-
Élevée	2	0,3	-	-
CHAUFFRETTES PORTATIVES				
Basse	0,5	0,1	-	-
Médiane	10	2	0,4	-
Élevée	15	4	0,8	0,1

Salle de lavage				
Appareils	15 cm	30 cm	60 cm	1,2 m
ASPIRATEURS				
Basse	10	2	0,4	-
Médiane	30	6	1	0,1
Élevée	70	20	5	1

Chambre à coucher				
Appareils	15 cm	30 cm	60 cm	1,2 m
HORLOGES NUMÉRIQUES				
Basse		-	-	-
Médiane		0,1	-	-
Élevée		0,8	0,2	0,1
HORLOGES ANALOGIQUES				
Basse		0,1	-	-
Médiane		1,5	0,2	-
Élevée		3	0,5	0,3
INTERCOM DE MONITORING D'ENFANT				
Basse	0,4	-	-	-
Médiane	0,6	0,1	-	-
Élevée	1,5	0,2	-	-

Atelier				
Appareils	15 cm	30 cm	60 cm	1,2 m
CHARGEURS DE BATTERIES				
Basse	0,3	0,2	-	-
Médiane	3	0,3	-	-
Haut	5	0,4	-	-

Atelier				
Appareils	15 cm	30 cm	60 cm	1,2 m
PERCEUSES				
Basse	10	2	0,3	-
Médiane	15	3	0,4	-
Haut	20	4	0,6	-
SCIES RONDES				
Basse	5	0,9	0,1	-
Médiane	20	4	0,5	-
Haut	100	30	4	0,4
TOURNEVIS ÉLECTRIQUES EN CHARGE				
Basse	-	-	-	-
Médiane	-	-	-	-
Haut	-	-	-	-

Bureau				
Appareils	15 cm	30 cm	60 cm	1,2 m
PURIFICATEURS D'AIR				
Basse	11	2	0,3	-
Médiane	18	3,5	0,5	0,1
Haut	25	5	0,8	0,2
PHOTOCOPIEURS				
Basse	0,4	0,2	0,1	-
Médiane	9	2	0,7	0,1
Haut	20	4	1,3	0,4
TÉLÉCOPIEURS				
Basse	0,4	-	-	-
Médiane	0,6	-	-	-
Haut	0,9	0,2	-	-

Bureau				
Appareils	15 cm	30 cm	60 cm	1,2 m
LAMPES FLUORESCENTES				
Basse	2	-	-	-
Médiane	4	0,6	0,2	-
Haut	10	3	0,8	0,4
AIGUISOIRS ÉLECTRIQUES				
Basse	2	0,8	0,5	-
Médiane	20	7	2	0,2
Haut	30	9	3	3
T.E.V. AVEC PC				
Basse	0,7	0,2	0,1	-
Médiane	1,4	0,5	0,2	-
Élevée	2	0,6	0,3	-

Source : EMF In Your Environment, EPA 1992.

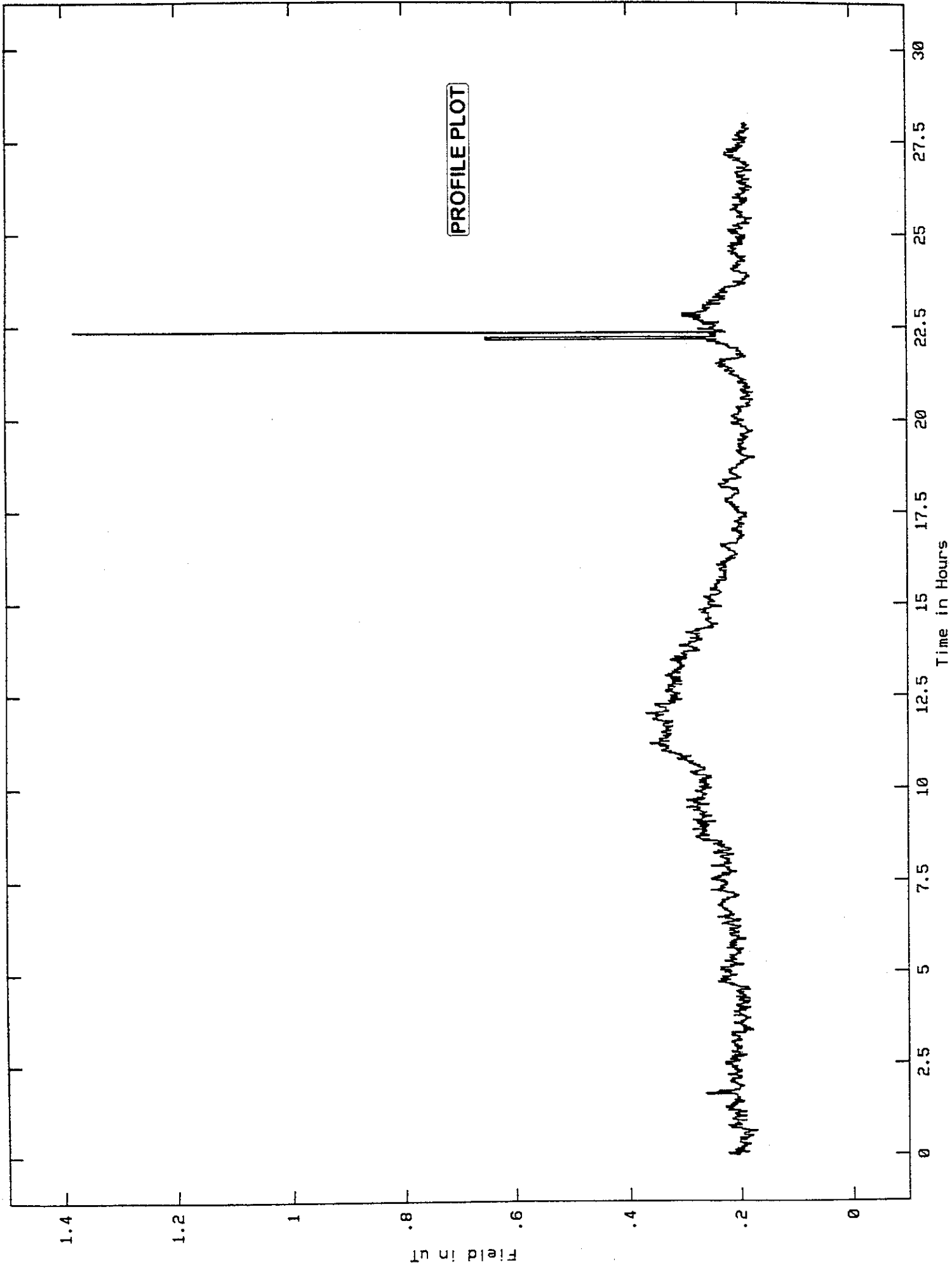
ANNEXE 4**GRAPHIQUES OBTENUS À L'AIDE DU LOGICIEL FSGP****DANS LE MODE «TIMED DATA»**

Field Star DATA RECORD

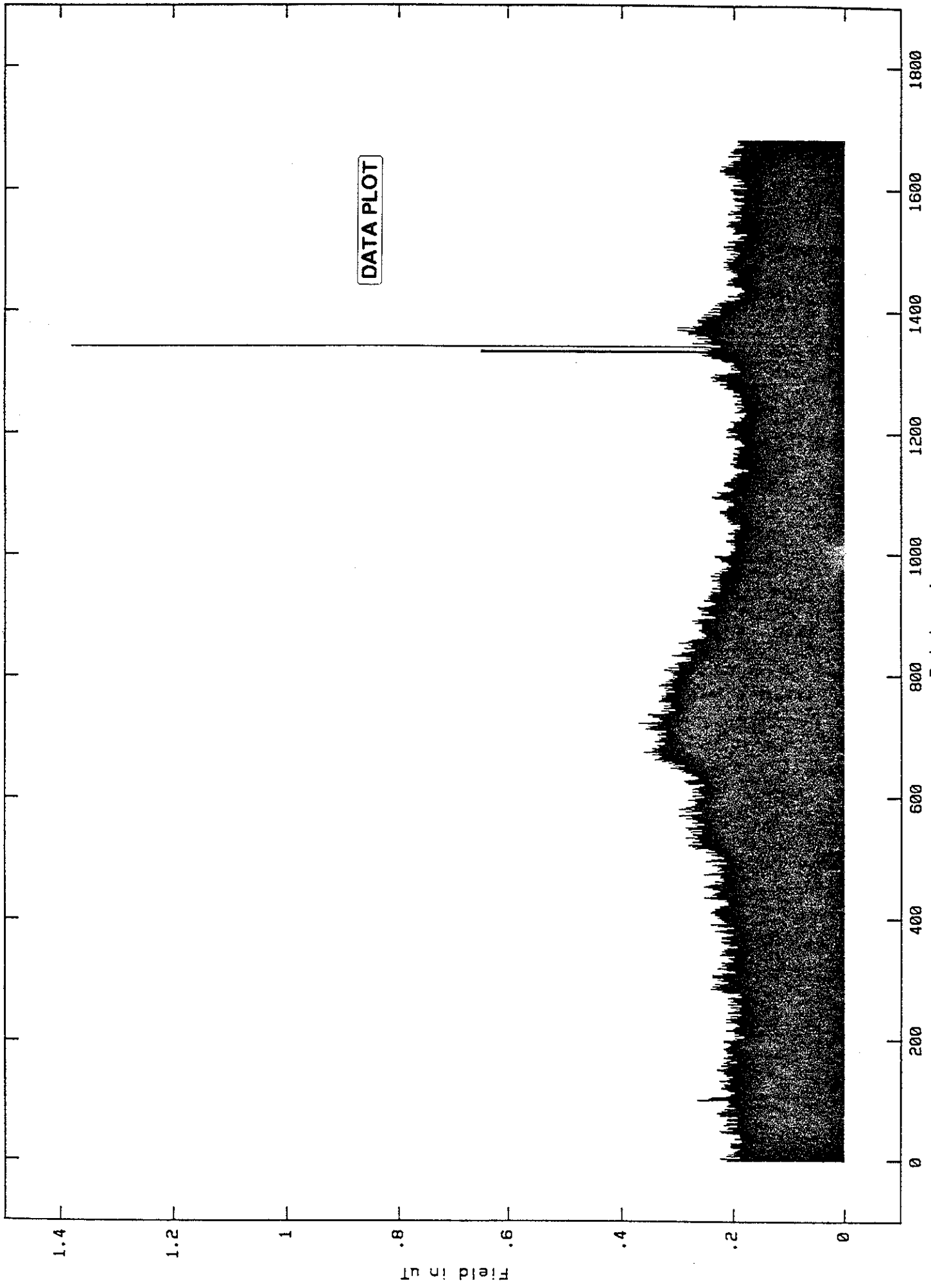
Serial # : 31400052
 # Records : 2
 File ID : Timed data at 66 Bradley
 File name : fsdtime.DAT
 Field in microtesla

Record # 1 : 1681 points of Time data taken on 8:36 91-10-9
 Record ID : BEDROOM

Point	Event	Resultant	Bx	By	Bz	Minutes
1	0	0.212	0.044	0.024	0.208	0.00
2	0	0.204	0.040	0.040	0.200	1.00
3	0	0.220	0.040	0.036	0.216	2.00
4	0	0.224	0.048	0.044	0.216	3.00
5	0	0.212	0.044	0.044	0.204	4.00
6	0	0.188	0.040	0.008	0.184	5.00
7	0	0.204	0.040	0.052	0.196	6.00
8	0	0.200	0.040	0.052	0.192	7.00
9	0	0.212	0.032	0.064	0.200	8.00
10	0	0.196	0.032	0.040	0.192	9.00
11	0	0.200	0.040	0.036	0.196	10.00
12	0	0.208	0.044	0.032	0.204	11.00
13	0	0.196	0.040	0.032	0.192	12.00
14	0	0.200	0.040	0.040	0.192	13.00
15	0	0.192	0.032	0.032	0.188	14.00
16	0	0.196	0.024	0.032	0.192	15.00
17	0	0.196	0.024	0.032	0.192	16.00
18	0	0.192	0.024	0.024	0.192	17.00
19	0	0.184	0.024	0.024	0.184	18.00
20	0	0.188	0.032	0.032	0.184	19.00
21	0	0.200	0.032	0.024	0.200	20.00
22	0	0.204	0.040	0.024	0.200	21.00
23	0	0.204	0.040	0.024	0.200	22.00
24	0	0.204	0.040	0.024	0.200	23.00
25	0	0.204	0.040	0.024	0.200	24.00
26	0	0.204	0.040	0.024	0.200	25.00
27	0	0.192	0.040	0.016	0.188	26.00
28	0	0.196	0.032	0.024	0.192	27.00
29	0	0.204	0.040	0.036	0.200	28.00
30	0	0.196	0.040	0.032	0.192	29.00
31	0	0.188	0.032	0.032	0.184	30.00
32	0	0.184	0.032	0.032	0.180	31.00
33	0	0.180	0.024	0.036	0.176	32.00
34	0	0.184	0.024	0.000	0.184	33.00
35	0	0.196	0.016	0.048	0.192	34.00
36	0	0.196	0.024	0.044	0.192	35.00
37	0	0.196	0.024	0.044	0.192	36.00
38	0	0.188	0.024	0.044	0.184	37.00
39	0	0.188	0.032	0.044	0.184	38.00
40	0	0.188	0.032	0.040	0.184	39.00
41	0	0.172	0.032	0.008	0.172	40.00
42	0	0.192	0.024	0.032	0.188	41.00
43	0	0.188	0.032	0.032	0.184	42.00
44	0	0.200	0.032	0.032	0.196	43.00



0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20



Br for Time data with sampling interval of 1 Minute

ANNEXE 5**GRAPHIQUES OBTENUS À L'AIDE DU LOGICIEL FSGP****DANS LE MODE «DISTANCE DATA»**

Field Star DATA RECORD

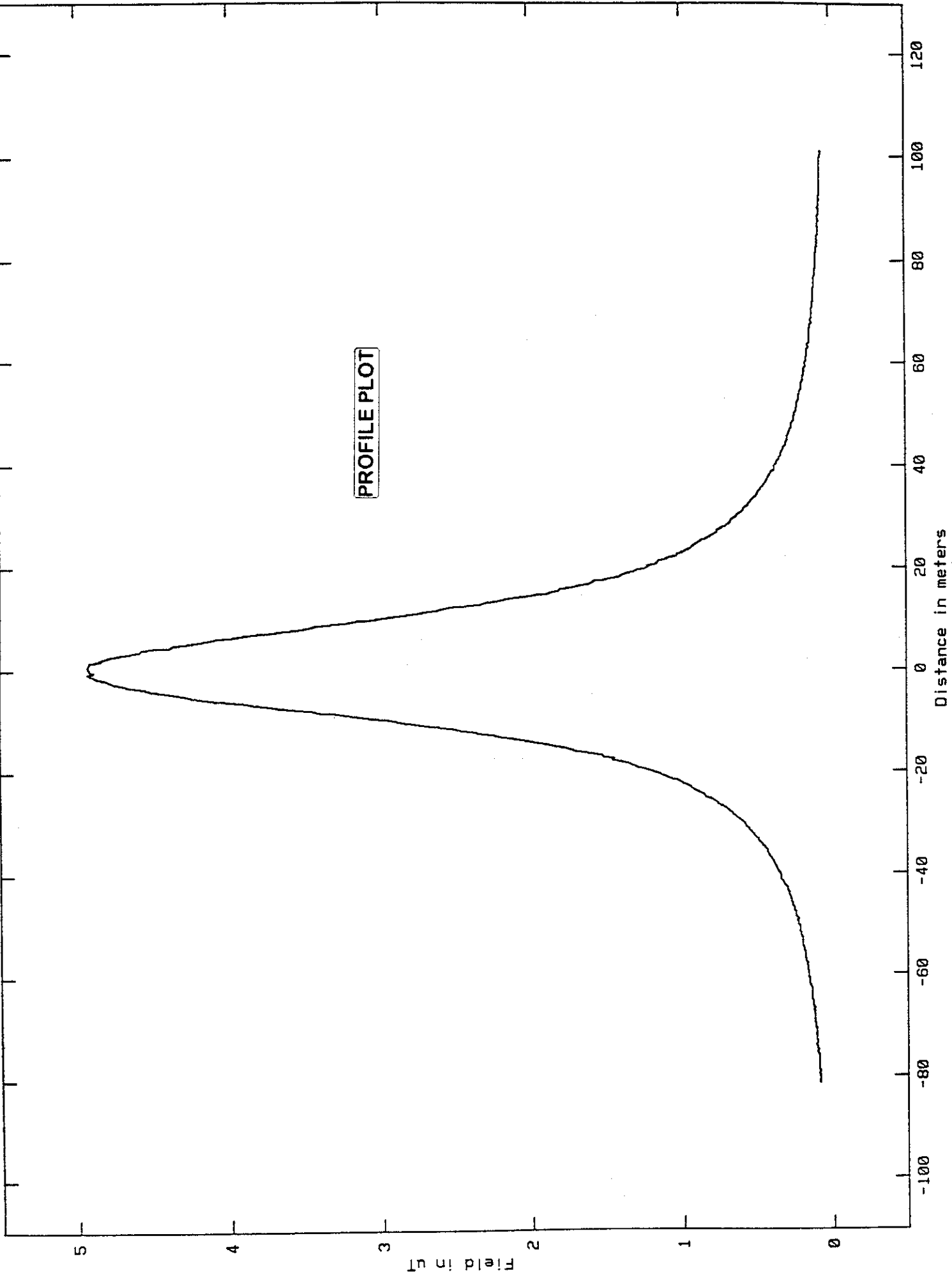
Serial # : 31400061
 # Records : 1
 File ID : EPRI SEMINAR
 File name : fsdprof.DAT
 Field in microtesla

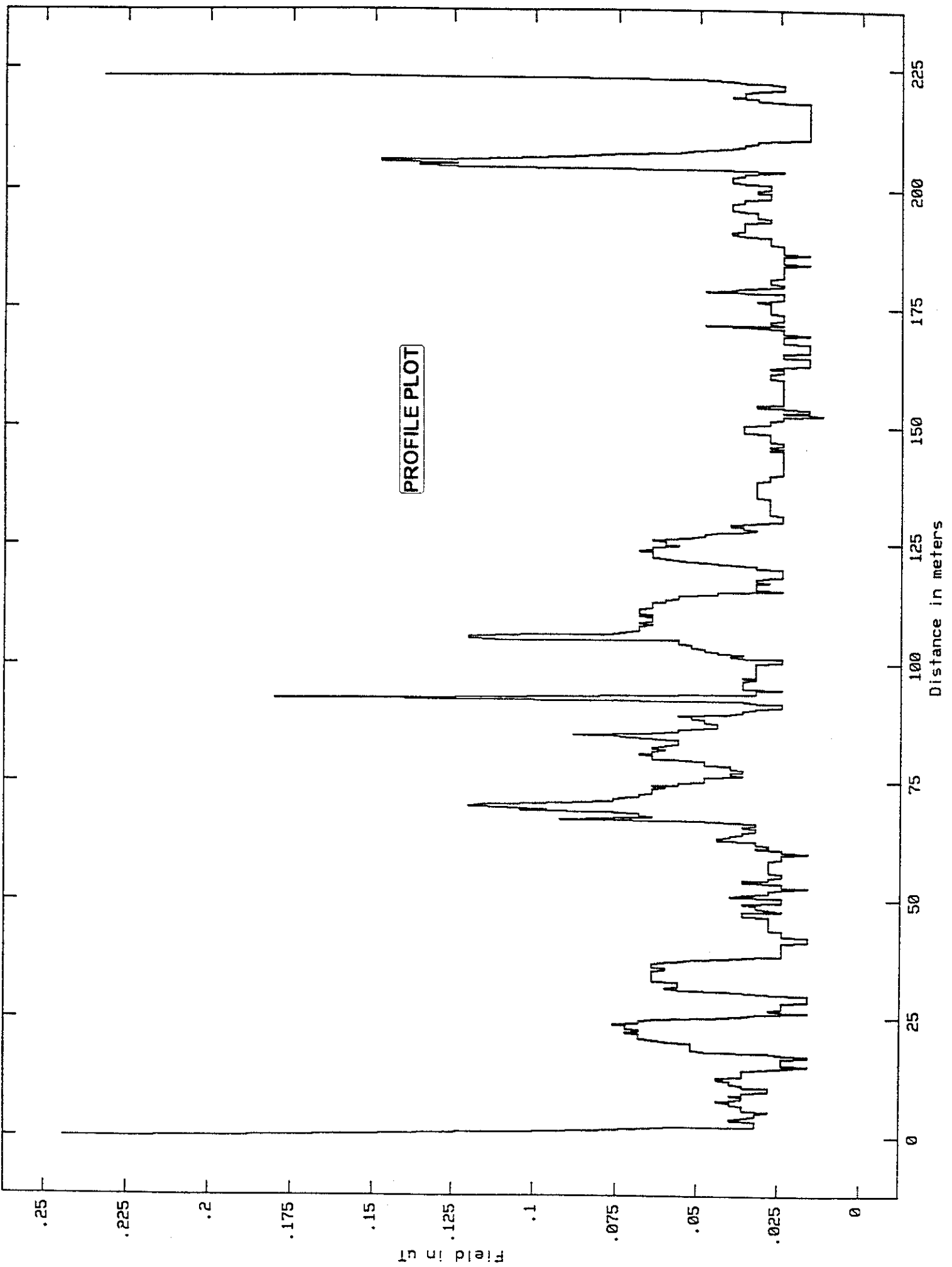
Record # 1 : 600 points of Distance data taken on 10:14 91-20-9
 Record ID : EPRI 115 KV LINE
 Record has been modified

Point	Event	Resultant	Bx	By	Bz	meters
1	0	0.088	0.016	0.000	0.088	-81.38
2	0	0.088	0.016	0.000	0.088	-81.08
3	0	0.088	0.016	0.000	0.088	-80.77
4	0	0.088	0.016	0.000	0.088	-80.47
5	0	0.088	0.016	0.000	0.088	-80.16
6	0	0.088	0.016	0.000	0.088	-79.86
7	0	0.092	0.016	0.000	0.092	-79.55
8	0	0.088	0.016	0.000	0.088	-79.25
9	0	0.088	0.016	0.000	0.088	-78.94
10	0	0.092	0.016	0.000	0.092	-78.64
11	0	0.092	0.016	0.000	0.092	-78.33
12	0	0.096	0.016	0.000	0.096	-78.03
13	0	0.092	0.016	0.000	0.092	-77.72
14	0	0.092	0.024	0.000	0.092	-77.42
15	0	0.096	0.024	0.000	0.096	-77.11
16	0	0.092	0.024	0.008	0.092	-76.81
17	0	0.096	0.032	0.008	0.092	-76.50
18	0	0.096	0.036	0.008	0.092	-76.20
19	0	0.096	0.036	0.008	0.092	-75.90
20	0	0.100	0.040	0.008	0.092	-75.59
21	0	0.104	0.040	0.008	0.096	-75.29
22	0	0.100	0.036	0.008	0.096	-74.98
23	0	0.104	0.036	0.008	0.100	-74.68
24	0	0.104	0.032	0.008	0.100	-74.37
25	0	0.108	0.032	0.008	0.104	-74.07
26	0	0.108	0.032	0.008	0.104	-73.76
27	0	0.104	0.024	0.008	0.104	-73.46
28	0	0.104	0.024	0.008	0.104	-73.15
29	0	0.108	0.032	0.008	0.104	-72.85
30	0	0.108	0.032	0.008	0.104	-72.54
31	0	0.108	0.032	0.016	0.104	-72.24
32	0	0.112	0.032	0.016	0.108	-71.93
33	0	0.112	0.032	0.016	0.108	-71.63
34	0	0.112	0.032	0.016	0.108	-71.32
35	0	0.112	0.032	0.016	0.108	-71.02
36	0	0.112	0.036	0.016	0.108	-70.71
37	0	0.116	0.032	0.016	0.112	-70.41
38	0	0.116	0.036	0.016	0.112	-70.10
39	0	0.116	0.036	0.016	0.112	-69.80
40	0	0.120	0.032	0.016	0.116	-69.49
41	0	0.120	0.032	0.016	0.116	-69.19
42	0	0.124	0.032	0.016	0.120	-68.88
43	0	0.124	0.032	0.016	0.120	-68.58
44	0	0.124	0.036	0.016	0.120	-68.28

REC 1 FILE TSUPROT TAKEN 10:14 21-20-Y 10-EPK1 110 KV LINE

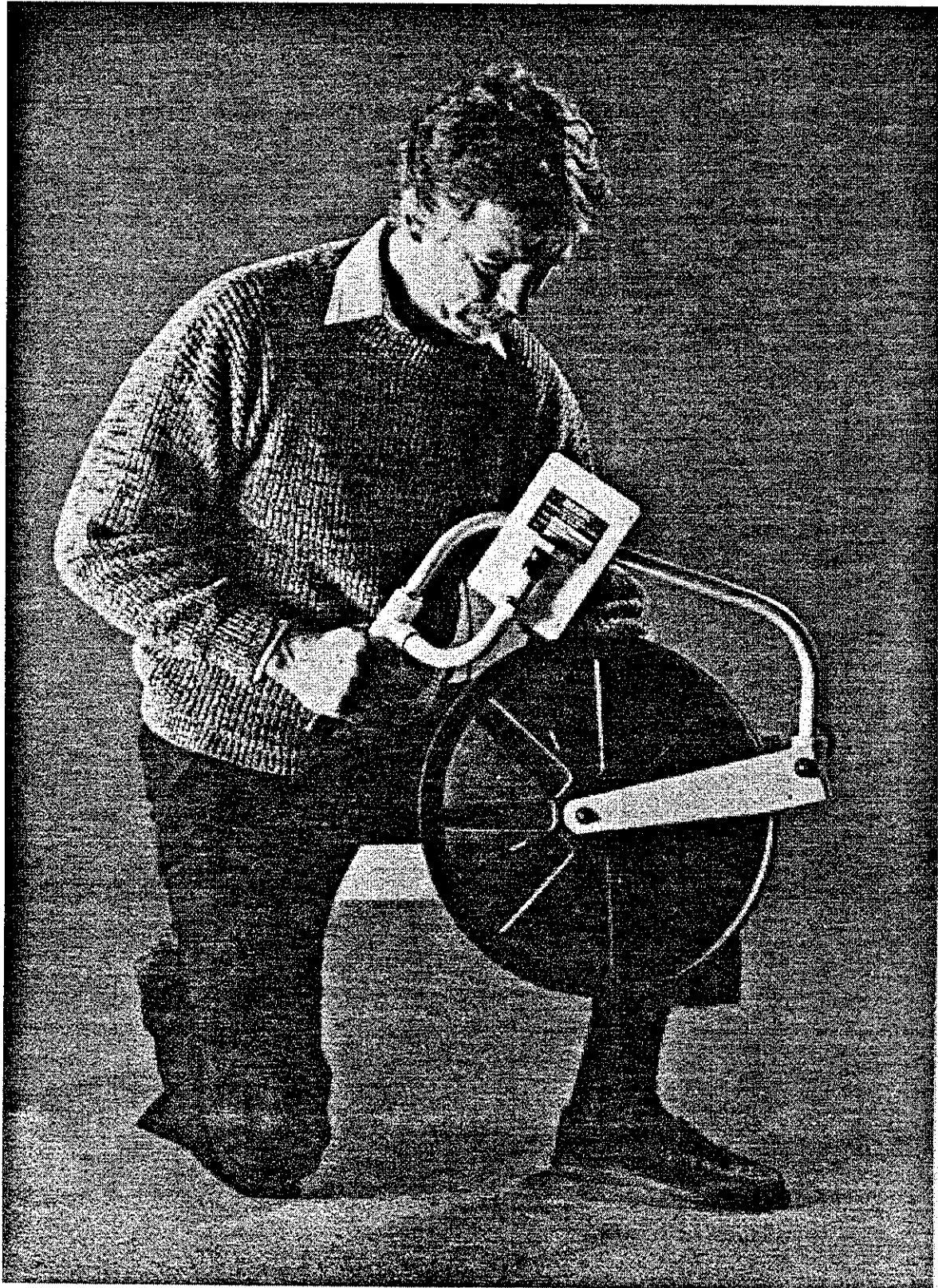
PROFILE PLOT



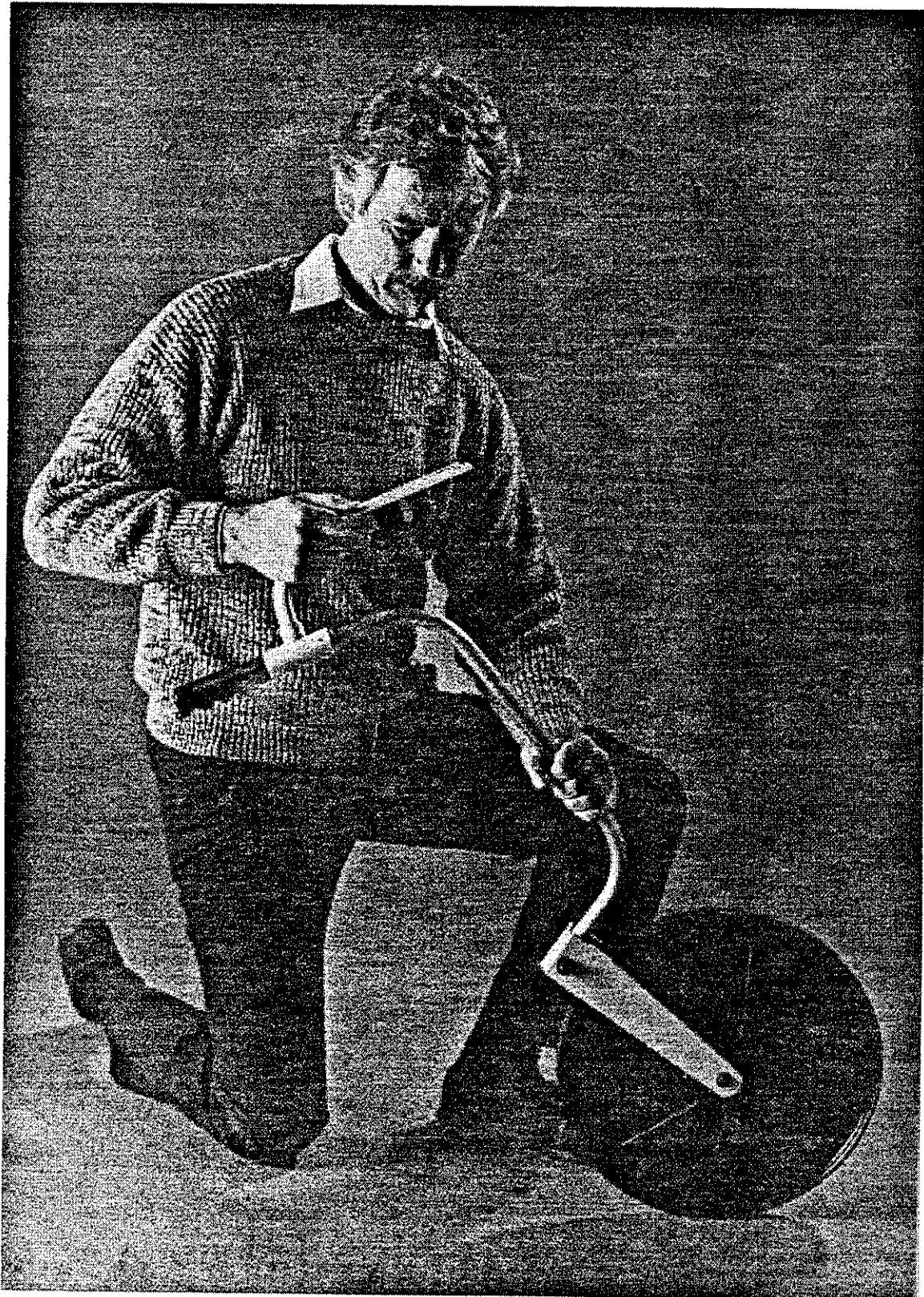


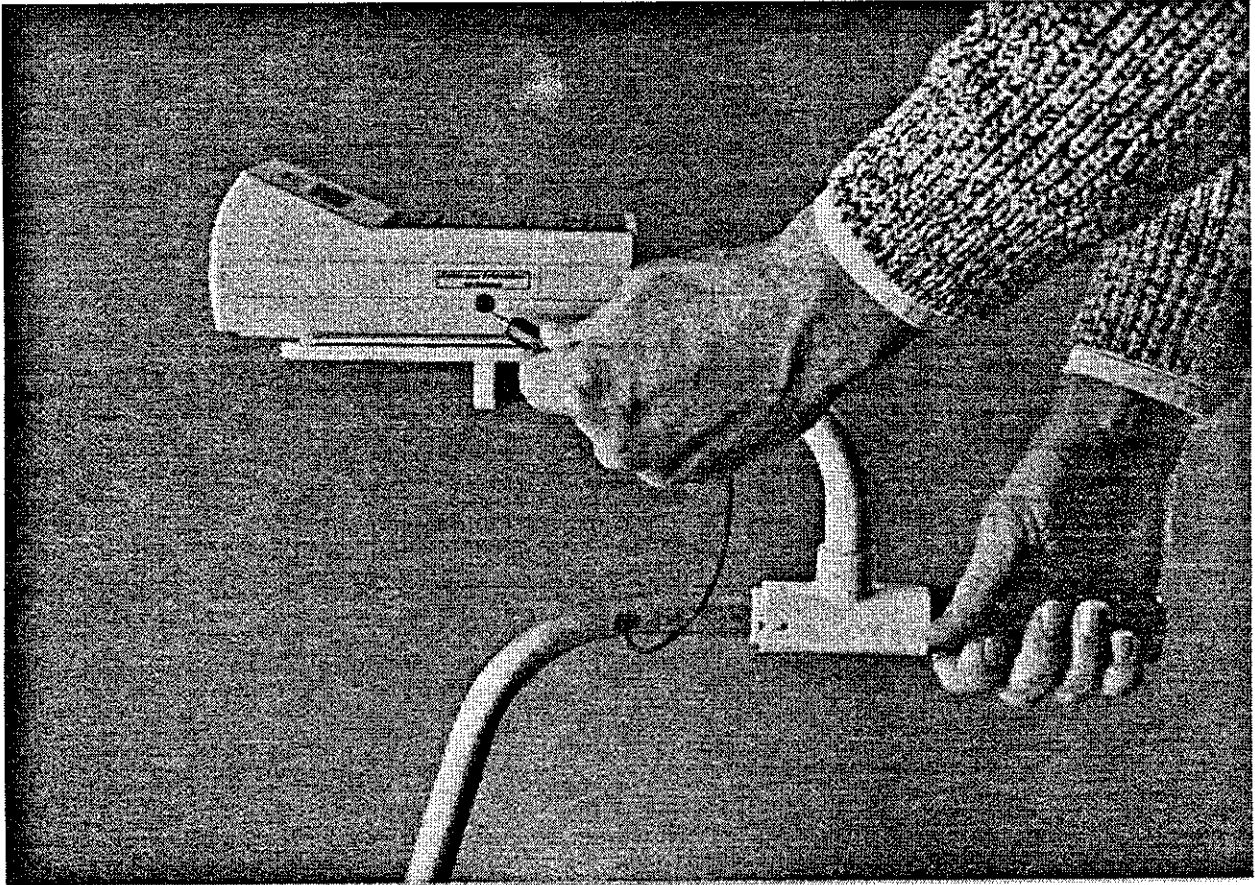
ANNEXE 6

**DÉPLOIEMENT DE LA ROUE DE MESURE POUR
CARTOGRAPHIER AVEC LE TESLAMÈTRE FIELDSTAR 4 000**











Field Star DATA RECORD

Serial # : 31400022
 # Records : 1
 File ID : MAP OF FRONT OFFICES
 File name : fsdmap.DAT
 Field in microtesla

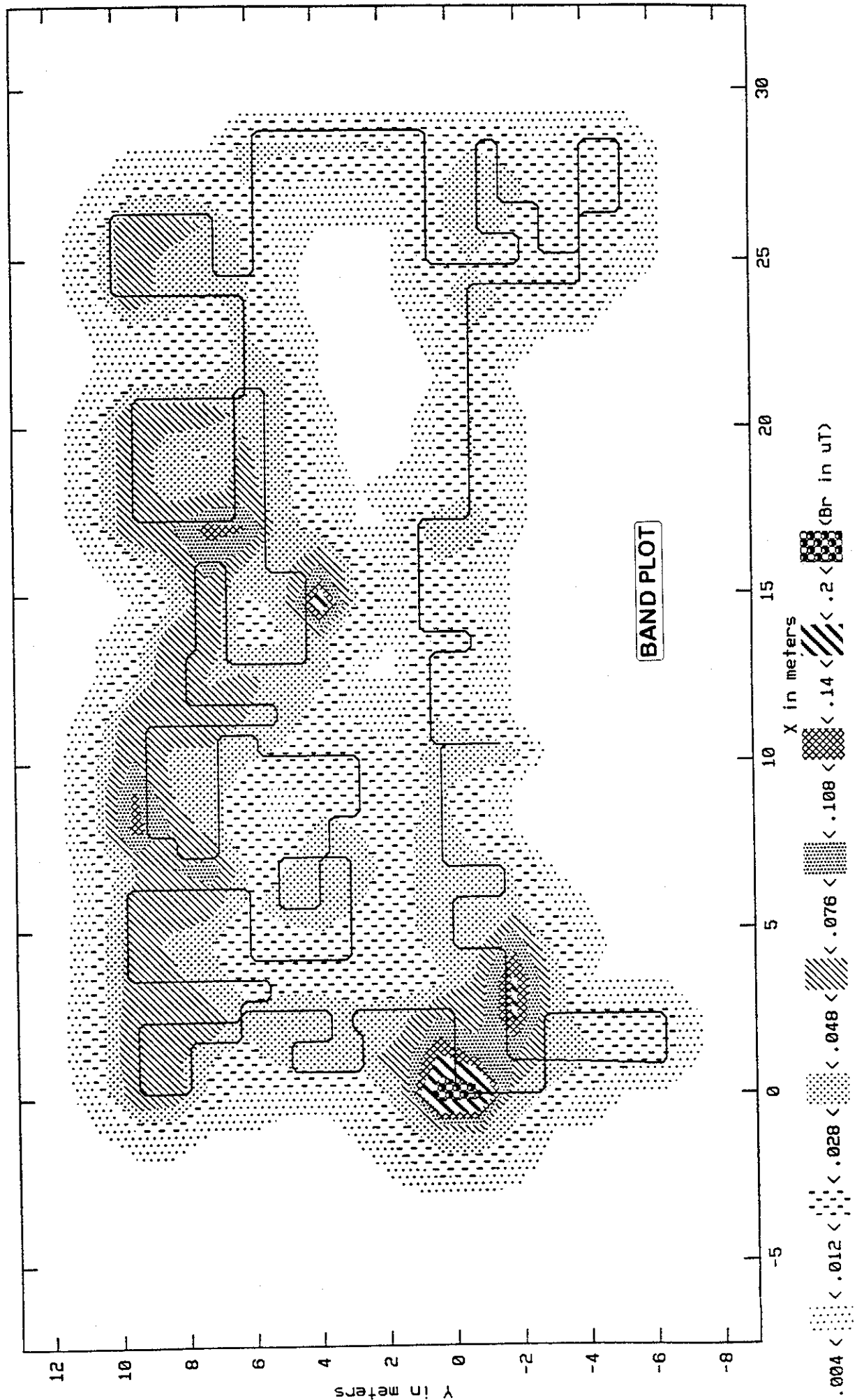
Record # 1 : 734 points of Map data taken on 11:47 91-28-8
 Record ID : OFFICE MAP 1 HAMDEN PARK DR
 Record has been modified

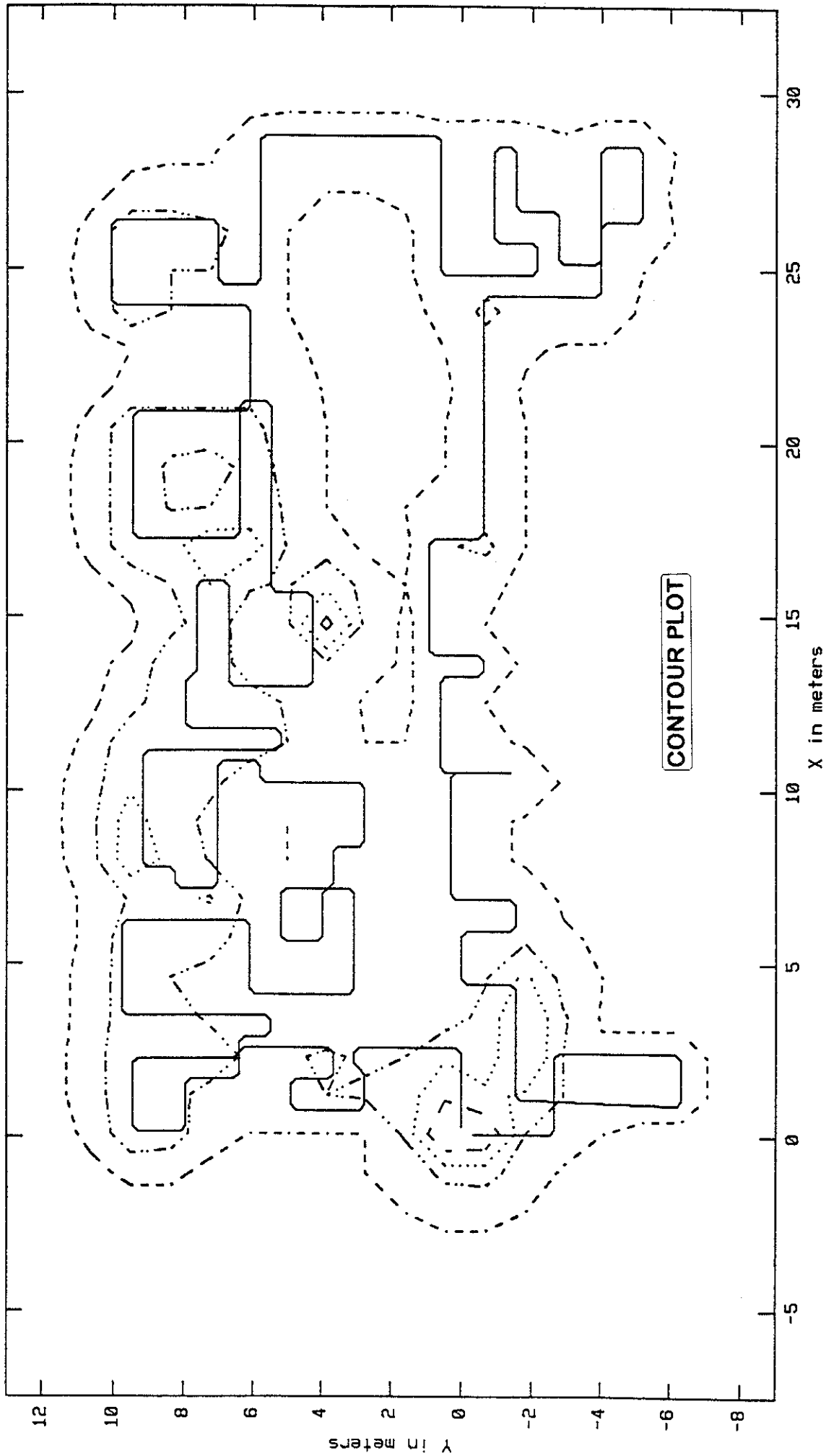
Point	Turn	Resultant	Bx	By	Bz	X	Y
1	0	0.244	0.072	0.104	0.212	0.30	0.00
2	0	0.188	0.048	0.104	0.152	0.61	0.00
3	0	0.148	0.040	0.104	0.100	0.91	0.00
4	0	0.124	0.044	0.088	0.076	1.22	0.00
5	0	0.100	0.056	0.064	0.056	1.52	0.00
6	0	0.080	0.048	0.048	0.048	1.83	0.00
7	0	0.068	0.040	0.040	0.040	2.13	0.00
8	4	0.060	0.032	0.036	0.036	2.44	0.00
9	0	0.032	0.016	0.024	0.016	2.59	0.15
10	0	0.032	0.016	0.024	0.016	2.59	0.46
11	0	0.032	0.016	0.024	0.016	2.59	0.76
12	0	0.032	0.016	0.024	0.016	2.59	1.07
13	0	0.040	0.024	0.024	0.024	2.59	1.37
14	0	0.040	0.024	0.024	0.024	2.59	1.68
15	0	0.036	0.024	0.016	0.024	2.59	1.98
16	0	0.032	0.016	0.016	0.024	2.59	2.29
17	0	0.032	0.016	0.016	0.024	2.59	2.59
18	4	0.032	0.016	0.016	0.024	2.59	2.90
19	0	0.028	0.008	0.016	0.024	2.44	3.05
20	4	0.036	0.008	0.016	0.032	2.13	3.05
21	6	0.036	0.008	0.016	0.032	1.98	2.90
22	0	0.036	0.008	0.016	0.032	1.83	2.74
23	0	0.036	0.008	0.016	0.032	1.52	2.74
24	0	0.036	0.008	0.016	0.032	1.22	2.74
25	6	0.040	0.008	0.028	0.032	0.91	2.74
26	0	0.044	0.016	0.024	0.036	0.76	2.90
27	0	0.040	0.016	0.016	0.036	0.76	3.20
28	0	0.036	0.016	0.016	0.032	0.76	3.51
29	0	0.036	0.016	0.016	0.032	0.76	3.81
30	0	0.036	0.016	0.016	0.032	0.76	4.11
31	0	0.040	0.016	0.024	0.032	0.76	4.42
32	6	0.036	0.016	0.016	0.032	0.76	4.72
33	0	0.036	0.016	0.016	0.032	0.76	4.88
34	0	0.028	0.008	0.016	0.024	0.91	4.88
35	6	0.028	0.008	0.016	0.024	1.22	4.88
36	0	0.036	0.008	0.016	0.032	1.52	4.88
37	0	0.036	0.016	0.016	0.032	1.68	4.72
38	0	0.036	0.016	0.016	0.032	1.68	4.42
39	4	0.040	0.008	0.016	0.040	1.68	4.11
40	0	0.040	0.008	0.016	0.036	1.68	3.81
41	0	0.044	0.008	0.024	0.036	1.83	3.66
42	4	0.044	0.008	0.024	0.036	2.13	3.66
43	0	0.036	0.008	0.016	0.032	2.44	3.66
44	0	0.036	0.008	0.016	0.032	2.59	3.81
						2.59	4.11

ANNEXE 7

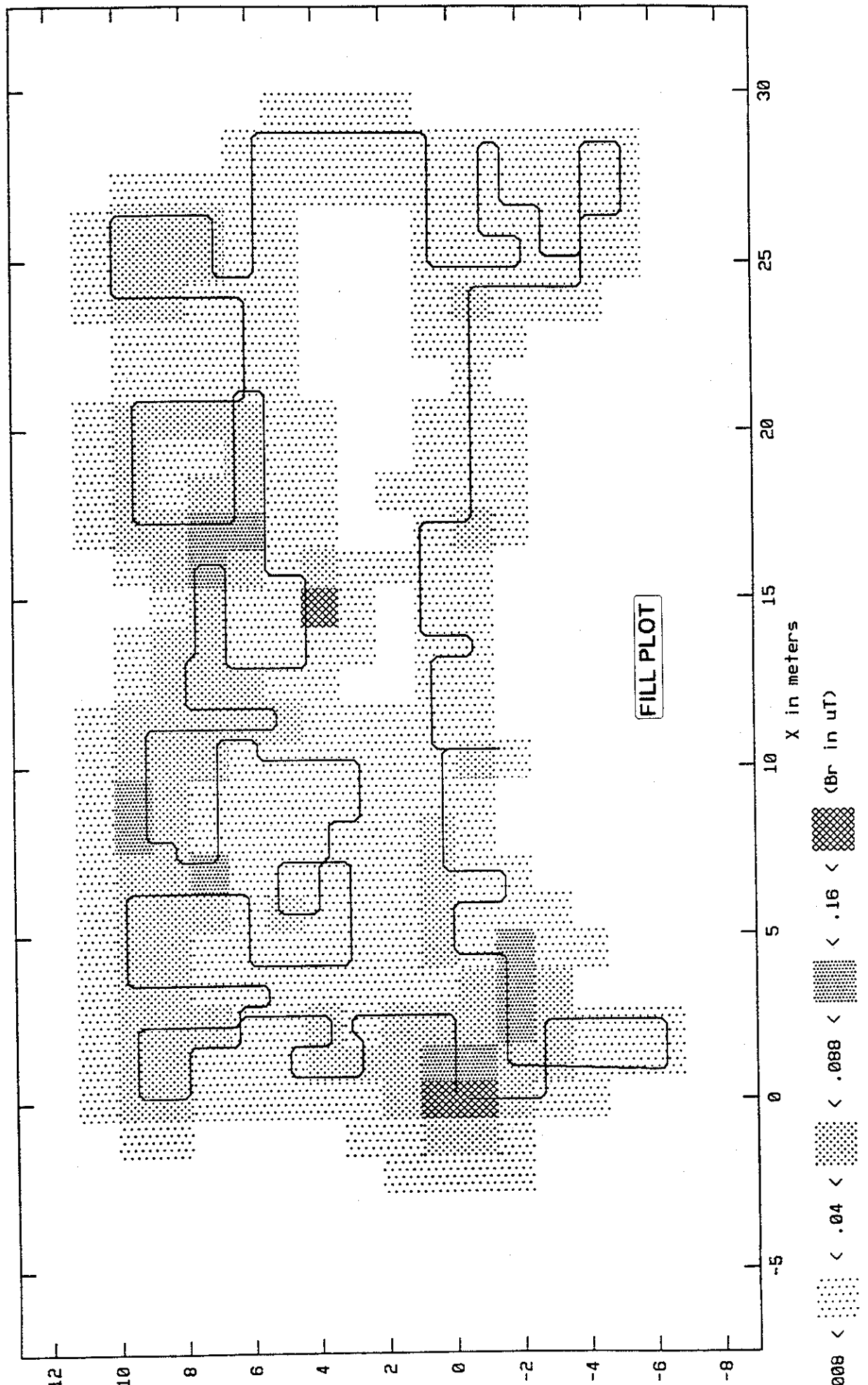
GRAPHIQUES OBTENUS À L'AIDE DU LOGICIEL FSGP

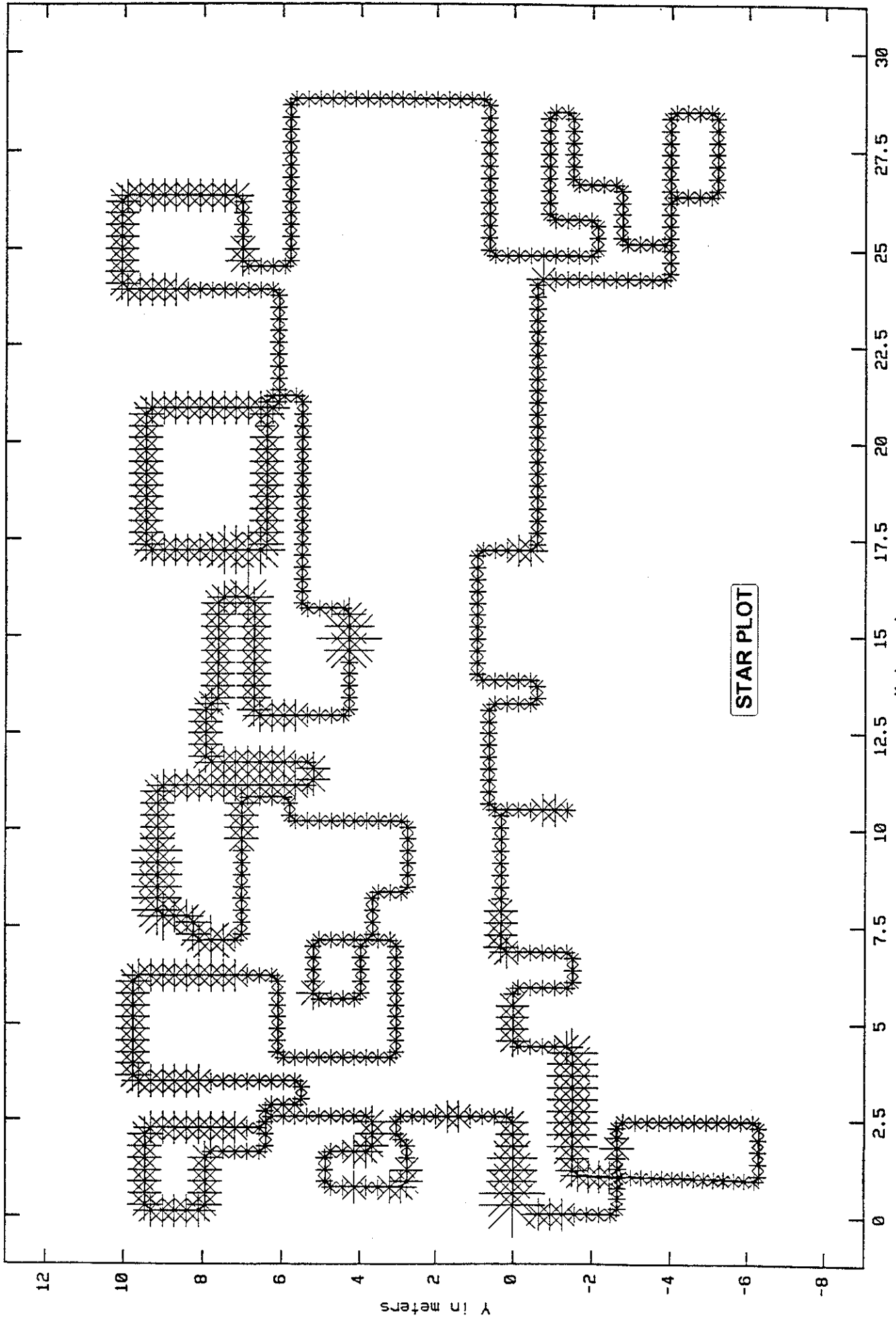
DANS LE MODE «MAPPING DATA»





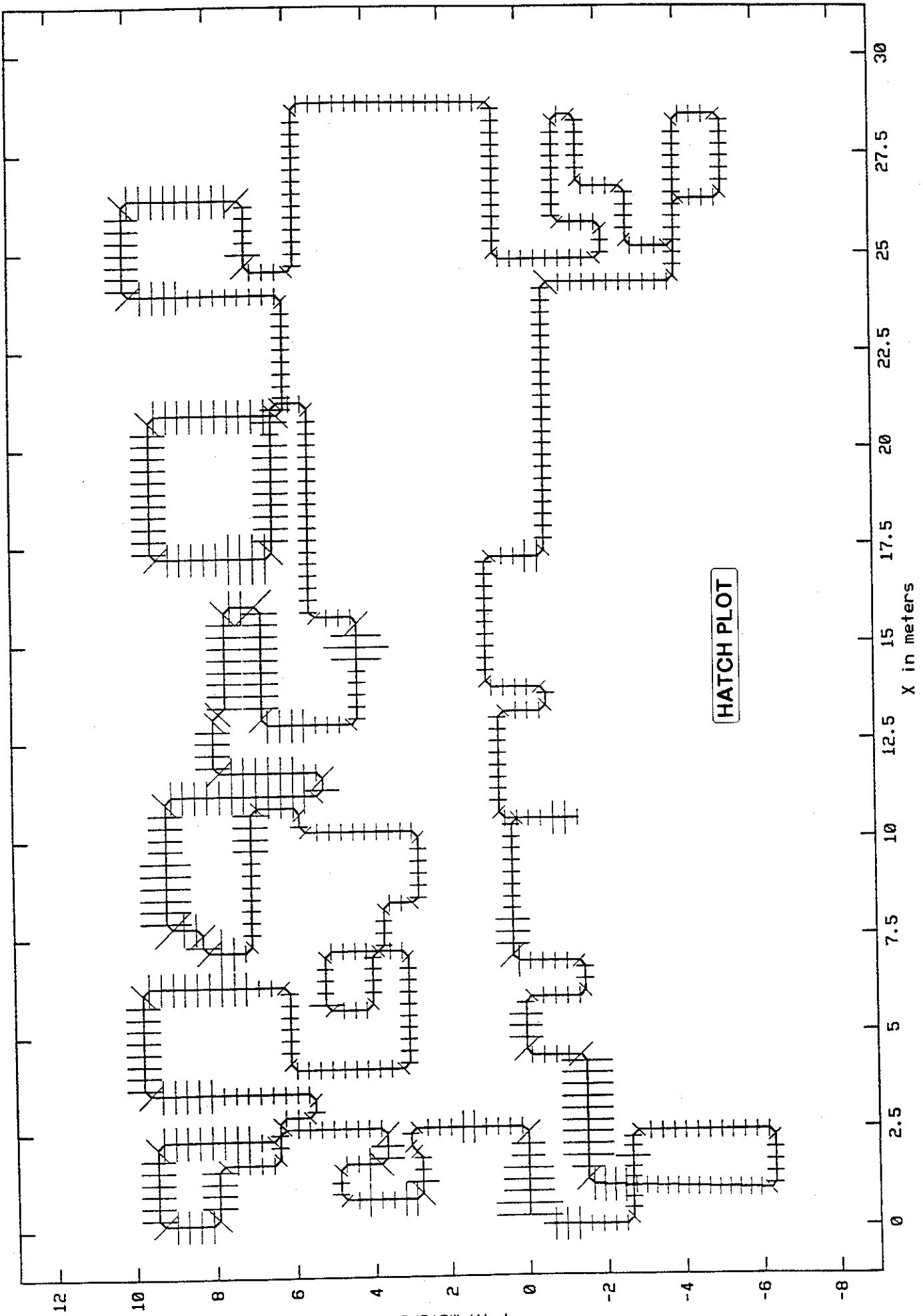
.008 = \dots .04 = \dots .088 = \dots .16 = \dots Br in μT



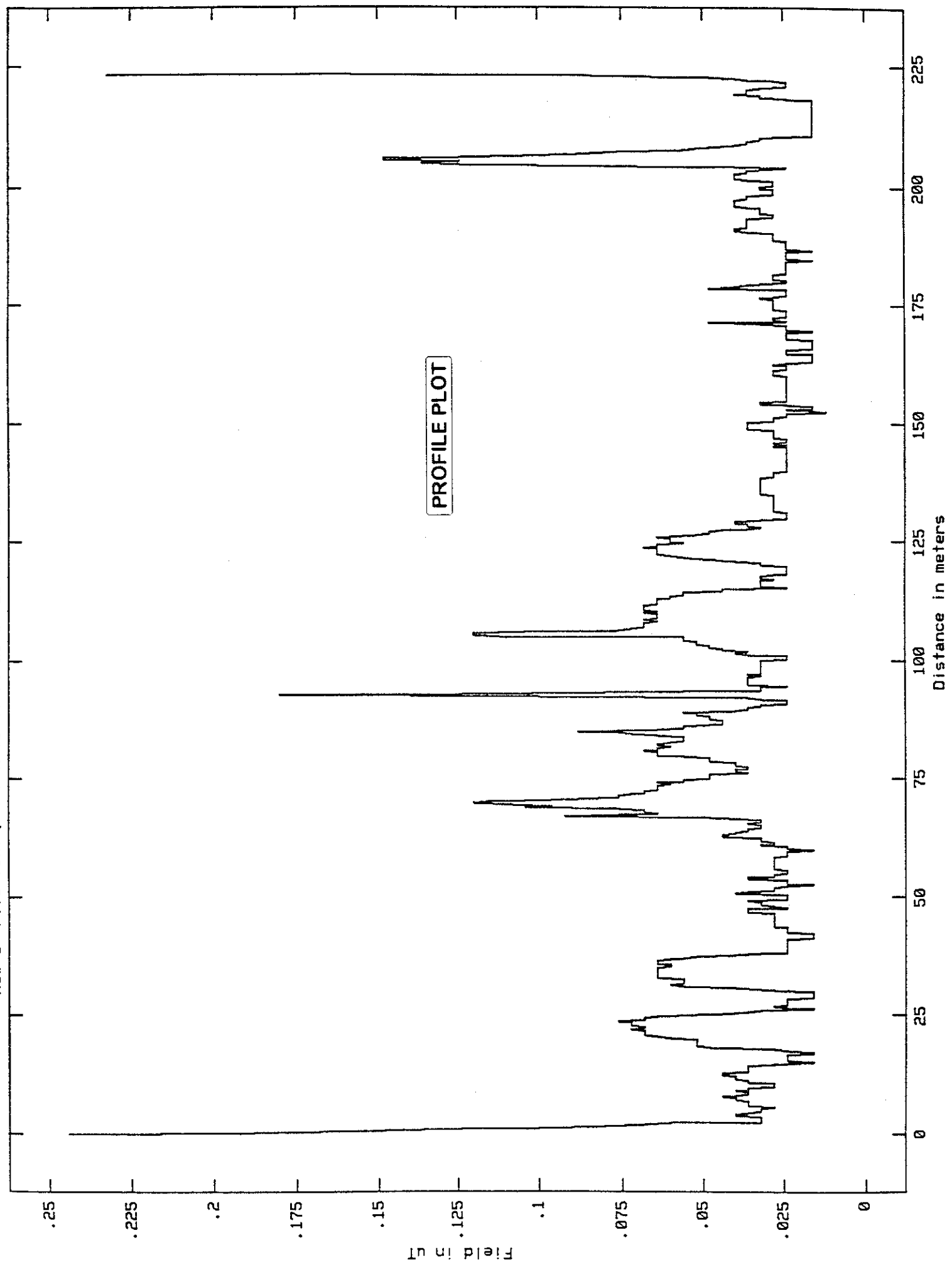


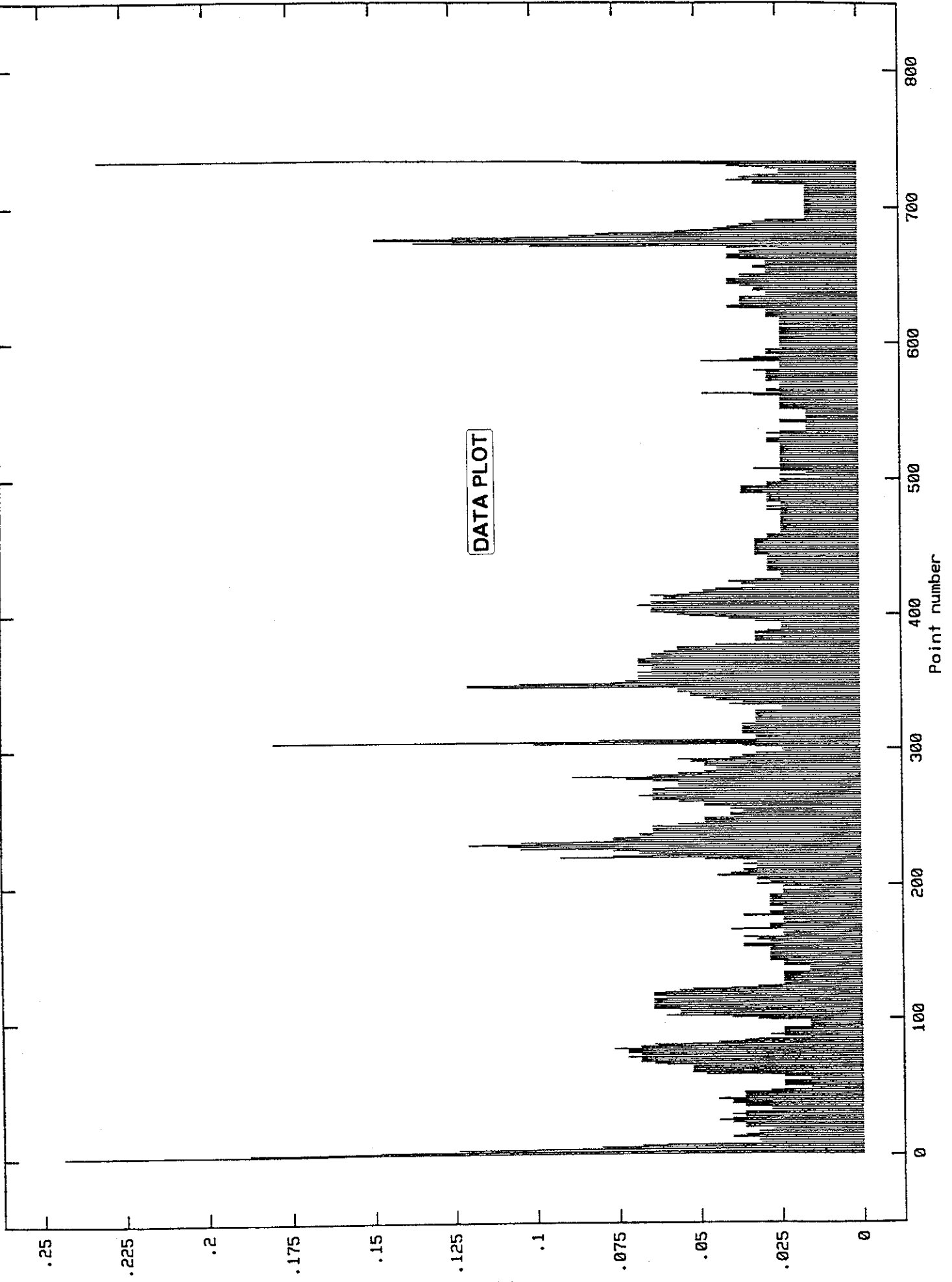
STAR PLOT

.008 < * < .04 < * < .088 < * < .16 < * (Br in uT)



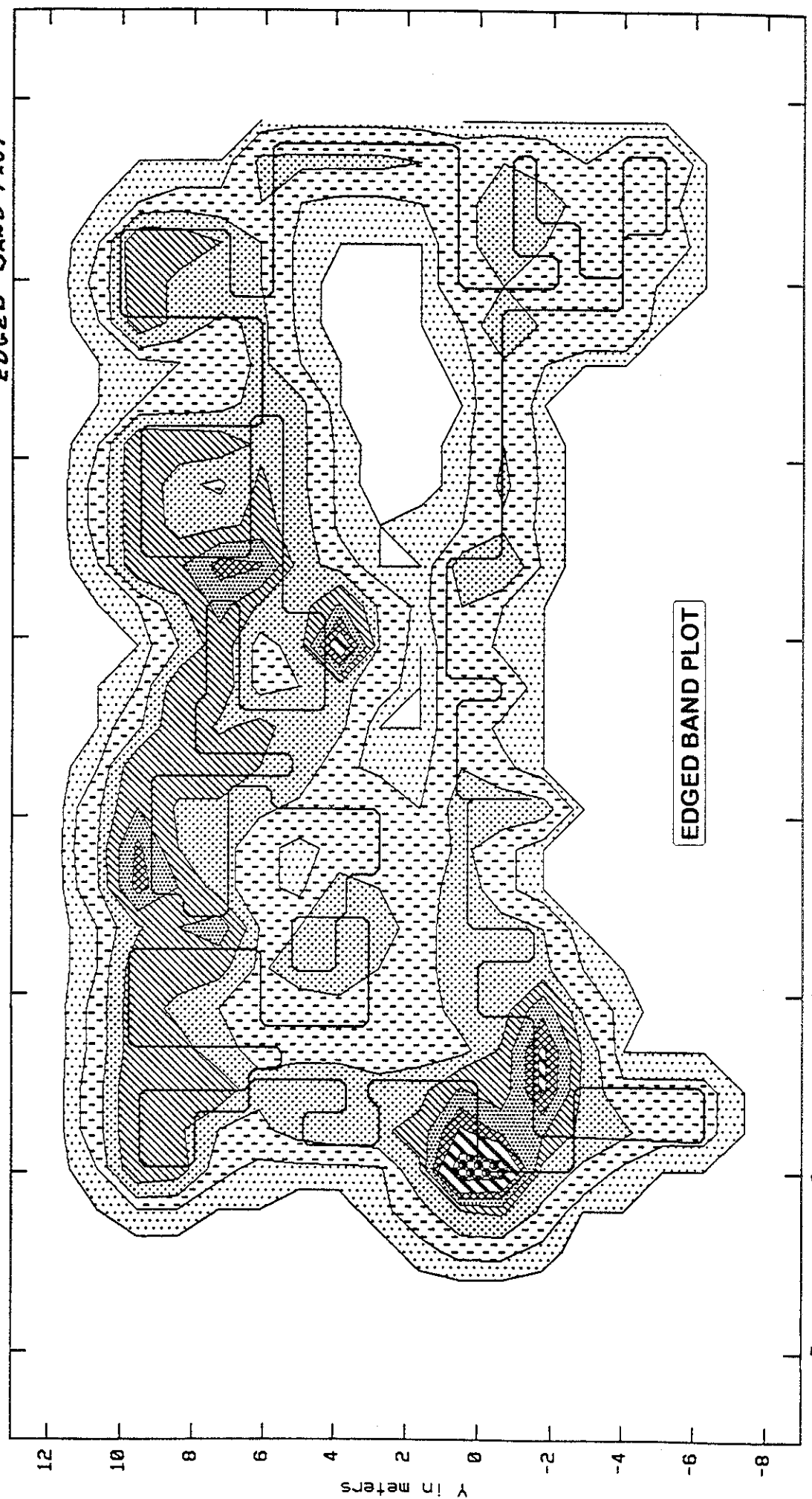
008 < | < .04 < | < .088 < | < .16 < | (Br in uT)





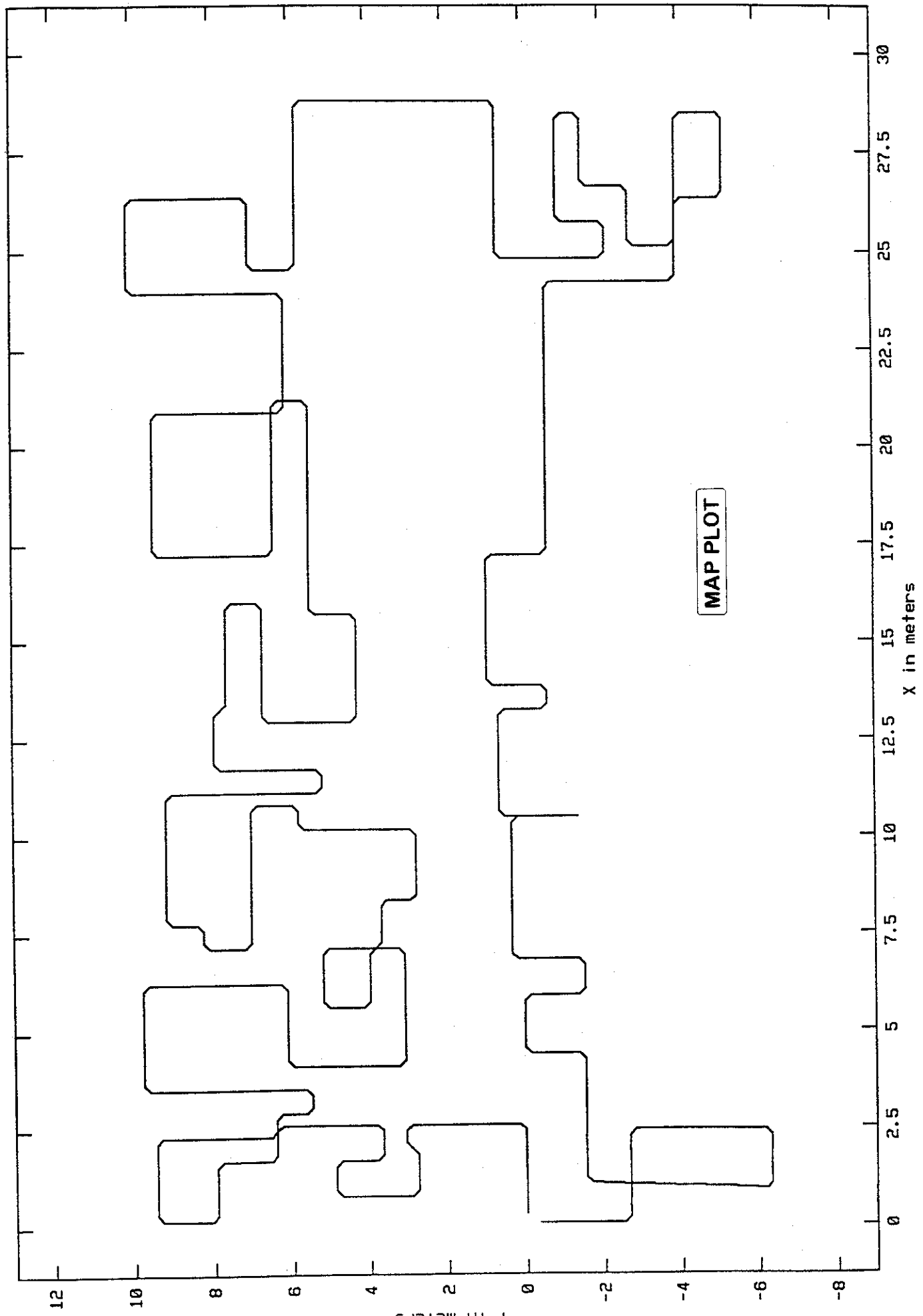
for Map data with sampling interval of 0.3 Meters

EDGED BAND PLOT



EDGED BAND PLOT

- 004 < [diagonal lines] < .012 < [dots] < .028 < [cross-hatch] < .048 < [diagonal lines] < .076 < [dots] < .108 < [cross-hatch] < .14 < [diagonal lines] < .2 < [cross-hatch] (Br in uT)



ANNEXE 8

GRAPHIQUES OBTENUS À L'AIDE DU LOGICIEL FSGP

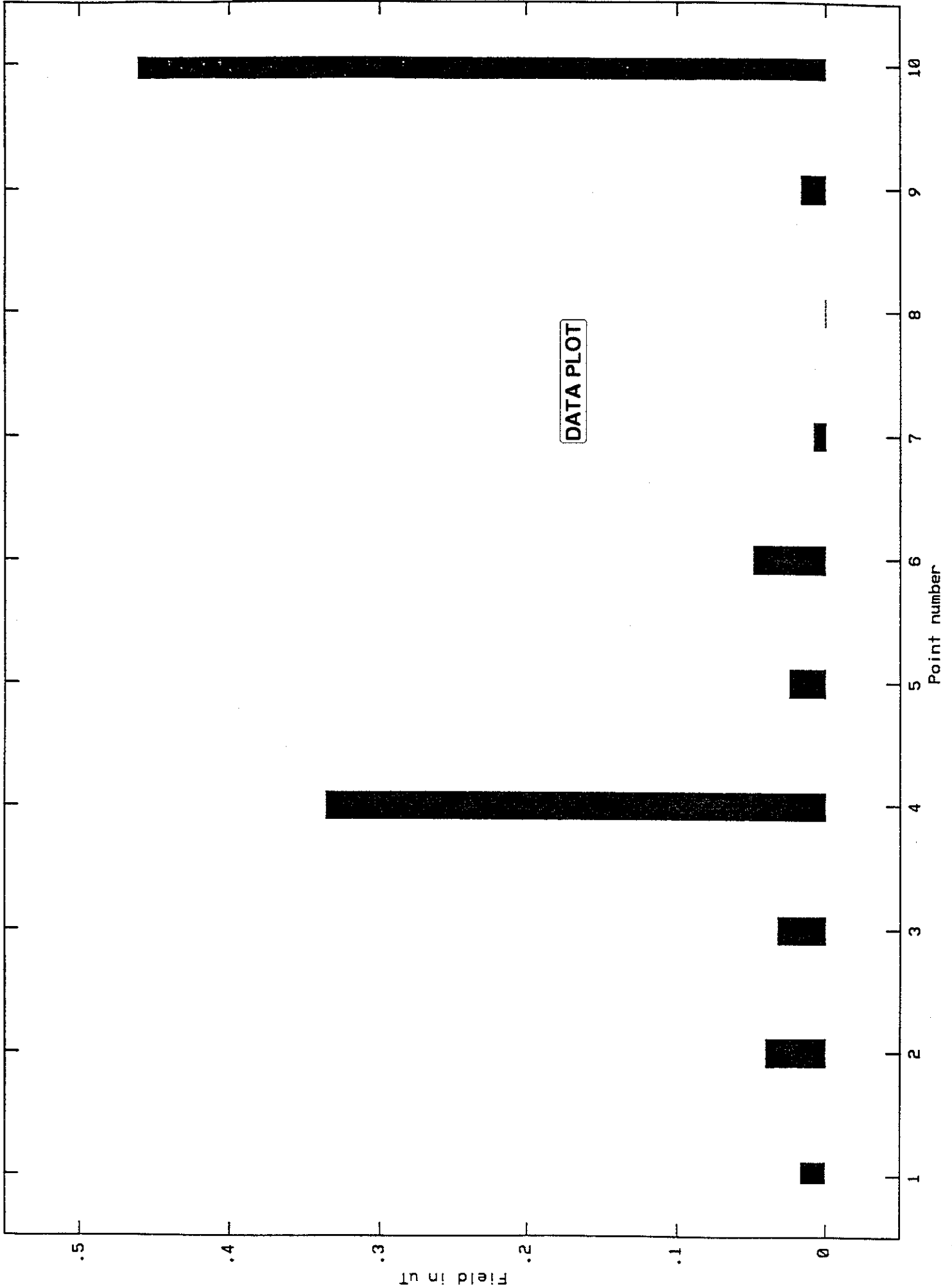
DANS LE MODE «SPOT READING»

Field Star DATA RECORD

Serial # : 00000000
Records : 1
File ID : Spot readings of offices 15 sec average x=north
File name : fsdspot.DAT
Field in microtesla

Record # 1 : 10 points of Spot data taken on 13:27 92-7-5
Record ID : OFFICE SURVEY
: Spot averaging interval is 15 seconds

Point	Event	Resultant	Bx	By	Bz
1	0	0.016	0.000	0.000	0.016
2	0	0.040	0.040	0.000	0.016
3	0	0.032	0.016	0.016	0.024
4	0	0.336	0.040	0.052	0.332
5	0	0.024	0.016	0.016	0.016
6	0	0.048	0.044	0.000	0.024
7	0	0.008	0.000	0.000	0.008
8	0	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0	0.016	0.008	0.000	0.016
10	0	0.460	0.024	0.088	0.452



for Spot data with averaging interval of 15 Seconds