



CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES : DE LA DOSIMÉTRIE À LA SANTÉ HUMAINE

Comment évaluer l'exposition au champ magnétique 50/60 Hz dans le cadre d'une étude épidémiologique ?

How assessing the exposure to 50/60 Hz magnetic field in the context of an epidemiological study?

*Isabelle Magne**, *Martine Souques***

* EDF R&D, Avenue des Renardières, 77818 Moret-sur-Loing Cedex, isabelle.magne@edf.fr

** Service des Études Médicales, EDF, 45 rue Joubert, 92309 Levallois-Perret Cedex, martine.souques@edf.fr

Mots-clefs (*en français et en anglais*) : se limiter à 2 fois 5 mots-clefs au maximum.

Résumé

Les études épidémiologiques sont une source importante de connaissance dans l'évaluation des effets des champs électriques et magnétiques 50/60 Hz sur la santé. Nous avons choisi de parler plus spécifiquement de l'évaluation de l'exposition au champ magnétique dans ces études, afin de mettre en lumière l'importance et la difficulté de cette partie des études épidémiologiques.

A partir d'exemples de la littérature, nous présenterons les différentes méthodes d'évaluation de l'exposition, leurs avantages et leurs inconvénients. Nous séparerons les études d'exposition en environnement résidentiel et professionnel, car les méthodes d'évaluation sont assez différentes. Nous décrirons également les différents indicateurs utilisés pour représenter l'exposition au champ magnétique.

Pour finir, nous noterons qu'il existe peu de données sur l'incertitude liées à l'évaluation de l'exposition.

Introduction

Les études épidémiologiques sont une source importante de connaissance dans l'évaluation des effets des champs électriques et magnétiques 50/60 Hz sur la santé. Par rapport aux études expérimentales sur la cellule, l'animal ou même l'homme, elles offrent l'avantage d'étudier l'homme dans son environnement. Mais étudier l'homme dans son environnement présente également l'inconvénient de ne pouvoir isoler un seul facteur d'impact sur la santé.

Les études épidémiologiques ont donc logiquement un poids prépondérant dans la méthode d'évaluation des risques basée sur le « weight of evidence », utilisée par exemple par le CIRC pour classer la cancérogénicité des produits, et qui a conduit à la classification 2B du champ magnétique 50/60 Hz [1]. Nous ne parlerons pas ici des différents types d'études épidémiologiques, ni des résultats de celle-ci. Nous avons choisi de parler plus spécifiquement de l'évaluation de l'exposition au champ magnétique dans ces études, afin de mettre en lumière l'importance et la difficulté de cette partie des études épidémiologiques.

A partir d'exemples de la littérature, nous présenterons les différentes méthodes d'évaluation de l'exposition, leurs avantages et leurs inconvénients. Nous traiterons d'une part les études en environnement résidentiel, d'autre part les études en milieu professionnel, car les méthodes d'évaluation sont différentes.

1. Évaluation de l'exposition en environnement résidentiel

Parmi les études en environnement résidentiel, nous nous baserons sur celles concernant les leucémies de l'enfant, qui sont les plus nombreuses, car certaines ont montré un lien statistique entre exposition au champ magnétique et augmentation du risque de maladie [2, 3, 4, 5]. De plus l'existence de registres de ces pathologies dans plusieurs pays a facilité la réalisation de ces études [3, 6, 7, 8, 9]. Les mêmes indicateurs ont été utilisés pour les études sur les tumeurs du cerveau de l'enfant ou différentes pathologies de l'adulte (cancers, maladies cardiovasculaires, etc.).

Nous présentons ici les différentes méthodes d'évaluation d'exposition. Celles-ci ont existé dès les premières études dans les années 1980, mais ont chacune progressé depuis. En dehors de mesures personnelles, tous les autres indicateurs s'attachent à l'exposition de l'habitation, principal lieu de vie des enfants.

1.1. Le code de câblage

Le code de câblage consiste à classer les logements en fonction des réseaux électriques apparents autour. On notera qu'il s'agit essentiellement de réseaux de distribution [2, 4, 10]. L'avantage est qu'il ne nécessite pas d'entrer chez les sujets, mais il faut aller voir sur place. L'inconvénient est qu'aucun réseau enterré n'est pris en compte car invisible.

1.2. La distance aux lignes

La distance par rapport aux lignes ne nécessite pas non plus de contact avec les sujets [3, 5, 8, 11, 12], mais induit de nombreuses erreurs de classification [13]

1.3. Le champ magnétique calculé

Les calculs ne sont possibles que pour les réseaux de transport (lignes à haute tension). L'avantage est qu'il n'y a pas besoin d'interviewer les sujets, ni d'aller sur place. Il suffit d'avoir les adresses et une carte du réseau. L'inconvénient réside dans la difficulté et la précision du géocodage de l'habitation et de la ligne. Plusieurs hypothèses de calculs ont été faites sur le courant à prendre en compte [3, 6, 7, 8, 14, 15].

1.4. Le champ magnétique mesuré

Il y en existe deux sortes de mesures de champ magnétique:

- Les mesures ponctuelles, c'est à dire en point fixe dans le logement. Elles peuvent durer plus ou moins longtemps. C'est l'indicateur le plus souvent utilisé dans les années 80-90 [3, 9, 10, 16, 17, 18, 19, 20].
- Les mesures de l'exposition personnelle, où soit le sujet porte un appareil de mesure [10, 21], soit des mesures sont faites en ponctuel dans les différents lieux où le sujet passe du temps. Dans ce dernier cas, on ne mesure plus seulement à la maison, mais également à l'école ou au jardin d'enfant [22].

2. Évaluation de l'exposition en environnement professionnel

Pour les études en environnement professionnel, l'approche est totalement différente. Voici les différentes méthodes d'évaluation d'exposition.

2.1. L'intitulé d'emploi

L'approche par intitulé d'emploi est facile à mettre en œuvre, mais induit de nombreuses erreurs de classifications [23-25].

2.2. Les mesures ponctuelles

L'utilisation de mesures autour de sources industrielles réalisées pour des démonstrations de conformité réglementaire [26] ne permet pas de rendre compte de l'exposition des opérateurs.

2.3. Les matrices emploi-exposition

L'utilisation d'une matrice emploi-exposition semble être la meilleure méthode, mais les données sont difficilement réutilisables d'une étude à l'autre [27-30]. Les paramètres à prendre en compte pour définir une telle matrice seront décrits.

3. Utilisation des indicateurs

Selon la méthode d'évaluation utilisée, on dispose pour chaque sujet d'une ou de plusieurs valeurs d'exposition (si plusieurs mesures). L'exploitation de ces données nécessite de faire des choix.

3.1. Définition d'un indicateur par sujet

En l'absence de relation démontrée entre une caractéristique particulière du champ magnétique (qui varie à la fois dans le temps et dans l'espace), on a le plus souvent utilisé la moyenne arithmétique pour définir l'exposition d'un sujet. Mais d'autres indicateurs ont été utilisés [28, 31, 32, 33, 34].

3.2. Définition d'un indicateur par groupe de sujets

Lorsqu'on définit une matrice emploi-exposition, la valeur attribuée à un groupe de sujet (par exemple une profession) n'est pas forcément la moyenne arithmétique des expositions de chaque sujet [27-28, 35].

3.3. Définition des sujets exposés et non-exposés

Ce choix est crucial et difficile à faire, puisque tout le monde est exposé à un champ magnétique. Une méthode a donc été de regrouper les sujets par classes d'expositions croissantes (0,1 μ T 0,2 μ T 0,3 μ T 0,4 μ T), tout en prenant en compte la taille minimale des classes pour pouvoir réaliser les tests statistiques. De ce fait, le groupe des plus exposés des premières études était composé des sujets exposés à $> 0,2 \mu$ T [3, 16, 17], alors qu'avec les études les plus récentes ce sont les sujets $> 0,3$ ou $0,4 \mu$ T [15, 19, 20, 34, 36, 37].

4. Conclusion

Pour évaluer l'exposition, il faut tout d'abord se demander quelle est l'hypothèse épidémiologique sous-jacente à tester. Ensuite, il faut choisir la méthode d'évaluation de l'exposition (calcul, mesure, distance, matrice emploi-exposition ?), ainsi que l'indicateur d'exposition (moyenne, médiane, 90^{ème} percentile ?). Tout ceci devrait être décrit précisément dans la méthodologie et validé avant la partie statistique de l'étude épidémiologique.

Pour finir, nous noterons qu'il existe peu de données sur l'incertitude liées à l'évaluation de l'exposition.

Références bibliographiques

- 1- World Health Organization - International Agency for Research on Cancer, *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans - Non-ionizing radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields* Vol. 80. 2002.
- 2- Wertheimer, N. and E. Leeper, *Electrical wiring configurations and childhood cancer*. American Journal of Epidemiology, 1979. **109**(3): p. 273-283.
- 3- Feychting, M. and A. Ahlbom, *Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines*. Am J Epidemiol, 1993. **138**(7): p. 467-81.
- 4- Savitz, D.A. and W.T. Kaune, *Childhood cancer in relation to a modified residential wire code*. Environ Health Perspect, 1993. **101**(1): p. 76-80.
- 5- Draper, G., et al., *Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study*. BMJ, 2005. **330**(7503): p. 1290.
- 6- Olsen, J.H., A. Nielsen, and G. Schulgen, *Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children*. British Medical Journal, 1993. **307**: p. 891-899.
- 7- Verkasalo, P.K., et al., *Risk of cancer in Finnish children living close to power lines*. British Medical Journal, 1993. **307**: p. 895-899.
- 8- Tynes, T. and T. Haldorsen, *Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines*. Am J Epidemiol, 1997. **145**(3): p. 219-26.
- 9- Linet, M.S., et al., *Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children*. N Engl J Med, 1997. **337**(1): p. 1-7.
- 10- McBride, M.L., et al., *Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada*. Am J Epidemiol, 1999. **149**(9): p. 831-42.
- 11- Coleman, M.P., et al., *Leukaemia and residence near electricity transmission equipment: a case-control study*. Br J Cancer, 1989. **60**(5): p. 793-8.
- 12- Myers, A., et al., *Childhood cancer and overhead powerlines : a case-control study*. British Journal of Cancer, 1990. **62**: p. 1008-1014.
- 13- Maslanyj, M., et al., *Power frequency magnetic fields and risk of childhood leukaemia: misclassification of exposure from the use of the 'distance from power line' exposure surrogate*. Bioelectromagnetics, 2009. **30**(3): p. 183-8.
- 14- Myers, A., et al., *Overhead power lines and childhood cancer*. IEE Conference Publication, 1985. **257**: p. 126-130.
- 15- Kroll, M.E., et al., *Childhood cancer and magnetic fields from high-voltage power lines in England and Wales: a case-control study*. Br J Cancer, 2010. **103**(7): p. 1122-7.
- 16- Savitz, D.A., et al., *Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields*. Am J Epidemiol, 1988. **128**(1): p. 21-38.
- 17- Michaelis, J., et al., *Childhood leukemia and electromagnetic fields: results of a population-based case-control study in Germany*. Cancer Causes Control, 1997. **8**(2): p. 167-74.
- 18- Green, L.M., et al., *A case-control study of childhood leukemia in southern Ontario, Canada, and exposure to magnetic fields in residences*. Int J Cancer, 1999. **82**(2): p. 161-70.
- 19- Schuz, J., et al., *Residential magnetic fields as a risk factor for childhood acute leukaemia: results from a German population-based case-control study*. Int J Cancer, 2001. **91**(5): p. 728-35.
- 20- Kabuto, M., et al., *Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: a case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan*. Int J Cancer, 2006. **119**(3): p. 643-50.
- 21- Green, L.M., et al., *Childhood leukemia and personal monitoring of residential exposures to electric and magnetic fields in Ontario, Canada*. Cancer Causes Control, 1999. **10**(3): p. 233-43.
- 22- U.K.C.C.S. Investigators, *Exposure to power-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer*. UK Childhood Cancer Study Investigators. Lancet, 1999. **354**(9194): p. 1925-31.

- 23-Bouyer, J., J. Dardenne, and D. Hemon, *Performance of odds ratios obtained with a job-exposure matrix and individual exposure assessment with special reference to misclassification errors*. Scand J Work Environ Health, 1995. **21**(4): p. 265-71.
- 24-Benke, G., et al., *Beyond the job exposure matrix (JEM): the task exposure matrix (TEM)*. Ann Occup Hyg, 2000. **44**(6): p. 475-82.
- 25-Johansen, C., et al., *Validation of a job-exposure matrix for assessment of utility worker exposure to magnetic fields*. Appl Occup Environ Hyg, 2002. **17**(4): p. 304-10.
- 26-CENELEC, *EN 50519: "Assessment of workers' exposure to electric and magnetic fields of industrial induction heating equipment"*. 2010.
- 27-Deadman, J.E., et al., *Occupational and residential 60-Hz electromagnetic fields and high-frequency electric transients: exposure assessment using a new dosimeter*. Am Ind Hyg Assoc J, 1988. **49**(8): p. 409-19.
- 28-Guenel, P., et al., *Design of a job exposure matrix on electric and magnetic fields: selection of an efficient job classification for workers in thermoelectric power production plants*. Int J Epidemiol, 1993. **22 Suppl 2**: p. S16-21.
- 29-Lindh, T. and L.I. Andersson, *Exposure of workers in the electric power industry to electric and magnetic fields*. Rev Environ Health, 1994. **10**(2): p. 117-25.
- 30-Bowman, J.D., J.A. Touchstone, and M.G. Yost, *A population-based job exposure matrix for power-frequency magnetic fields*. J Occup Environ Hyg, 2007. **4**(9): p. 715-28.
- 31-Sahl, J.D., M.A. Kelsh, and S. Greenland, *Cohort and nested case-control studies of hematopoietic cancers and brain cancer among electric utility workers*. Epidemiology, 1993. **4**(2): p. 104-14.
- 32-Burch, J.B., et al., *Nocturnal excretion of a urinary melatonin metabolite among electric utility workers*. Scand J Work Environ Health, 1998. **24**(3): p. 183-9.
- 33-van Tongeren, M. and et al., *UK Case Control Study of the Aetiology of Adult Brain Tumours and Neuromas - Exposure to ELF Magnetic Fields - Report of a Feasibility Study*. 2003.
- 34-Ahlbom, A., et al., *A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia*. Br J Cancer, 2000. **83**(5): p. 692-8.
- 35-Mihlan, G.J., L.A. Todd, and K.N. Truong, *Assessment of occupational exposure patterns by frequency-domain analysis of time series data*. Appl Occup Environ Hyg, 2000. **15**(1): p. 120-30.
- 36-Greenland, S., et al., *A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia*. Childhood Leukemia-EMF Study Group. Epidemiology, 2000. **11**(6): p. 624-34.
- 37-Kheifets, L., et al., *A pooled analysis of extremely low-frequency magnetic fields and childhood brain tumors*. Am J Epidemiol, 2010. **172**(7): p. 752-61.