

## EXPOSITION DE LA POPULATION FRANÇAISE AUX CHAMPS MAGNÉTIQUES 50 Hz : RÉSULTATS PARTIELS

M. Bédja<sup>1</sup>, I. Magne<sup>1</sup>, M. Souques<sup>2</sup>, J. Lambrozo<sup>2</sup>, L. Le Brusquet<sup>3</sup>,  
G. Fleury<sup>3</sup>, A. Azoulay<sup>4</sup>, S. Ruszczynski<sup>5</sup>

1-Laboratoire des Matériels Electriques, EDF R&D, Moret-sur-Loing, France.

2-Service des Études Médicales, EDF Gaz de France, Paris, France.

3-Département Signaux et Systèmes Electroniques, SUPÉLEC, Gif-sur-Yvette, France.

4-Département Électromagnétisme, SUPÉLEC, Gif-sur-Yvette, France.

5-Département santé, MV2 Conseil, Montrouge, France.

### Introduction

Les champs magnétiques (CM) alternatifs de fréquence 50 Hz, liés à l'électricité en particulier, sont suspectés depuis une trentaine d'années d'être responsables de pathologies, notamment de leucémies chez l'enfant [1]. Les dernières expertises collectives (OMS 2007, SCENHIR 2009) ont conclu que la dernière grande interrogation en ce qui concerne les CM basse fréquence est l'association statistique observée dans plusieurs analyses conjointes entre l'augmentation du risque de leucémie de l'enfant et une exposition aux CM supérieure à 0,4  $\mu$ T en valeur moyenne sur 24 h [2]. Actuellement, l'exposition de la population française à ces champs n'est connue que de manière très approximative. Une étude effectuée dans le département de la Côte d'Or sur des logements situés à proximité de lignes à haute et très haute tension a permis d'évaluer les expositions à l'intérieur de ces logements [3]. Mais, d'une part il s'agit d'un faible échantillon compte tenu de la diversité du parc de logements en France, d'autre part, il s'agit d'une exposition du logement et non des personnes. En effet, tout un chacun est exposé à de nombreuses sources de champ magnétique du simple fait qu'on ne reste pas chez soi 24 heures sur 24. Les transports, en particulier, représentent des sources d'exposition significatives, mais d'autres lieux de vie peuvent constituer des sources d'exposition, que ce soit le lieu de travail, le terrain de sport, le centre commercial ou l'école. Dans le cas où le CM supérieur 0,4  $\mu$ T en moyenne représenterait un risque pour la santé, comment estimer la proportion de la population française à risque et identifier les sources favorisant l'exposition ? Pour répondre à cette question, la Direction Générale de la Santé a initié une étude sur l'exposition aux CM 50 Hz d'un échantillon représentatif de la population française. Une des problématiques de cette étude a été de réaliser cet échantillon et de collecter toutes les informations nécessaires. Pour réaliser cette étude, le recrutement des volontaires et les mesures du CM ont été effectués en trois campagnes. Nous présentons les résultats des deux premières campagnes.

### Matériels et Méthodes

#### Constitution de l'échantillon

Un échantillon de 1 000 enfants de 0 à 14 ans et de 1 000 adultes a été créé pour étudier l'exposition de la population française aux CM 50 Hz. Cette phase de constitution de l'échantillon et de collecte de toutes les informations nécessaires a été confiée à l'institut de sondage MV2 Conseil, choisi après un appel d'offre. Elle a nécessité des coûts humains et financiers importants et a été réalisée en trois campagnes (février-avril 2007, octobre 2007-avril 2008 et octobre 2008-janvier 2009). MV2 a créé une base de données constituée par un fichier de 30 000 numéros de téléphone. Ces numéros étaient extraits de manière totalement

aléatoire dans le fichier général des numéros de téléphone fixe attribués en France, hors numéros professionnels. Aucun quota n'a été appliqué lors de ce tirage au sort. Les numéros de téléphone, répartis sur l'ensemble du territoire y compris les numéros en liste rouge et ceux des « mobiles only », étaient, à ce stade, tous potentiellement éligibles pour participer à cette étude.

Une prise de contact avec "l'adulte de référence du ménage" a été établie par téléphone afin de proposer la participation à cette étude. Un screener de recrutement (questionnaire de recrutement par téléphone) avait été élaboré. Si le contact répondait positivement aux filtres du screener et acceptait le principe de l'étude, le recruteur relevait les dates de naissance de l'ensemble des membres du ménage. Celui dont la date de naissance était la plus proche de la date de prise de contact, était la personne élue pour porter l'appareil de mesure des champs magnétiques. De ce fait, seul le hasard a désigné la personne incluse dans le recueil des mesures de CM. Si la personne élue refusait ou était dans l'incapacité de réaliser le test de 24 h, le contact était considéré comme définitivement perdu. A ce stade, seul l'âge et les coordonnées téléphoniques et postales de personne recrutée étaient connus. Pendant la première campagne le recrutement des enfants s'est avéré difficile. Ainsi il a été privilégié sur les deux autres campagnes de mesures. Le recrutement a été réalisé par région, jusqu'à obtenir un quota de participation par département, représentant la répartition de la population sur le territoire français. Aucune mesure n'a été réalisée le week-end ou les jours fériés et le mercredi pour les enfants.

Les 2 000 individus recrutés, constituent un échantillon représentatif de la population française dans toutes les caractéristiques sociodémographiques (âge, sexe, région, taille du ménage, taille de l'agglomération, type d'habitat, code socioprofessionnel, etc.). Ces ménages sont représentatifs des modes de vie de la population française dans toute sa diversité (style de vie, type d'habitat, équipement domestique, etc.).

## Mesures des CM et recueil des informations

Chaque volontaire élu a porté un EMDEX II (Enertech, USA) mesurant et enregistrant toutes les trois secondes le CM auquel il était exposé pendant une durée minimale de 24 heures.

Pour réaliser l'étude, 65 EMDEX II ont été utilisés.

Tous les EMDEX ont été étalonnés avant et après chaque campagne de mesure dans un laboratoire du département d'électromagnétisme de SUPELEC pour vérifier leur état. Dans ce laboratoire, le CM résiduel était très faible (entre 0,03 et 0,05  $\mu\text{T}$ ). Pour réaliser ces vérifications, un système semi-automatique d'étalonnage a été réalisé. Il est formé de deux ensembles de bobines de Helmholtz du commerce (Leybold), un générateur à basse fréquence programmable, un ampèremètre. Au centre de chaque système, le CM théorique en  $\mu\text{T}$  est donné par (1) où  $N$  est le nombre de spires,  $R$  rayon des bobines est égal à la distance entre les centres des deux bobines de chaque système (en mètre),  $I$  l'intensité du courant (en Ampère) généré et  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ . On a vérifié ainsi que les valeurs affichées étaient pratiquement identiques à celles obtenues avec (1) :

$$B = \mu_0 \frac{0.716 \times N \times I}{R} \quad (1)$$

Un autre système portable a été conçu pour vérifier sur le terrain le bon fonctionnement de l'EMDEX avant et après chaque mesure de 24 heures. Ce système a été conçu et recopié avec l'autorisation du propriétaire, Thanh Dovan (SWPNet, Australie). Ce système est composé d'un solénoïde carré de 25 cm de côté avec 225 spires et 4 positions de courant. Il permet de comparer la valeur théorique et celle affichée sur l'écran de l'EMDEX.

Les EMDEX II calculent et enregistrent l'induction magnétique obtenue sur les trois axes, par intervalle de temps fixé, selon la formule (2) :

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (2)$$

Pendant la période de mesure, chaque volontaire a rempli au fur et à mesure un emploi du temps dans lequel il a noté les activités réalisées ainsi que les heures de début et de fin de chacune d'elles. Pour les volontaires dans l'incapacité d'écrire, l'emploi du temps a été rempli par la personne de surveillance (les parents ou la nourrice pour les enfants). Lors de la récupération de l'appareil, l'enquêteur a rempli avec l'aide du volontaire un questionnaire, contenant des informations relatives au volontaire (âge, sexe, code socioprofessionnel, ...), à son foyer de résidence (année de construction, nombre d'années dans le foyer, nombre de personnes vivant dans le foyer, le type d'énergie et le mode de chauffage du foyer et de l'eau, ...). L'enquêteur a noté en plus les coordonnées GPS à l'entrée du foyer de résidence du volontaire. Avant de nous adresser l'ensemble des informations, MV2 a vérifié leur validité (fiches et emplois du temps bien remplis, durée des mesures, ...). Toutes les informations en version papier ont été saisies informatiquement et chaque série de CM a été virtuellement découpée en fonction de l'emploi du temps associé. Dans ces deux premières phases, sur les 1 500 volontaires ayant participé, 996 enquêtes (ou mesures) ont été dépouillées à ce jour.

Pour avoir toutes les informations relatives aux lignes électriques (aériennes ou souterraines) et aux postes électriques se trouvant à proximité de l'habitation, les coordonnées GPS seront transmises à ERDF et à RTE (Gestionnaire du réseau de transport d'électricité). Ils nous informeront de la présence (éventuellement le nombre) ou non de lignes à une distance inférieure ou égale à 200 m pour les lignes de 400 kV, à 120 m pour les lignes à 225 kV, à 100 m pour les lignes à 150 kV, 70 m pour les lignes de 63 ou 90 kV et à 20 m pour les câbles souterrains et les ouvrages 20 kV, par rapport au foyer. Ces informations ne sont pas encore disponibles et l'analyse est réalisée indépendamment de ces dernières.

## Analyse statistique

Le but de l'analyse statistique est d'identifier les facteurs expliquant l'intensité des CM en intégrant les informations tirées des emplois du temps et des questionnaires. Après avoir vérifié l'homogénéité de chaque série par rapport à l'emploi du temps et réalisé une analyse descriptive des séries validées, l'étude a été principalement orientée sur trois points :

- estimation de l'exposition en termes de moyennes ;
- caractérisation des expositions moyennes et identification des facteurs d'exposition ;
- recherche de classes d'exposition puis identification des facteurs expliquant la probabilité d'appartenir dans les classes des plus exposés.

## Résultats

Sur les 996 fiches dépouillées, 6 séries associées ont été définitivement éliminées en raison d'incohérences dans les questionnaires. Sur les 990 autres, 437 représentent des enregistrements d'enfants et 553 des adultes.

Les résultats de l'analyse descriptive ont montré que 15 enfants (3,4 %) étaient exposés à un CM moyen supérieur à 0,4  $\mu$ T en moyenne arithmétique (MA). Un seul d'entre eux a observé une moyenne géométrique (MG) supérieure à cette valeur. Les sources

principales de ces expositions sont des radioréveils. En fait, 13 de ces enfants ont posé l'EMDEX à côté d'un radioréveil. Pour les autres, les sources identifiées sont une ligne ferroviaire qui passe à côté du collège et du logement d'un enfant et un petit transformateur, peut-être dans une lampe de bureau pour l'autre enfant. Les expositions moyennes sont de 0,106  $\mu\text{T}$  (MA) et 0,029  $\mu\text{T}$  (MG) pour les enfants et 0,148  $\mu\text{T}$  et 0,044  $\mu\text{T}$  respectivement pour les adultes. Les tests réalisés ont montré que les enfants sont globalement moins exposés que les adultes et que l'exposition est plus élevée en Ile-de-France que dans les autres régions.

Pour caractériser ou identifier les facteurs d'exposition en termes de MA et de MG, deux démarches ont été adoptées.

- Dans un premier temps des modèles de régression linéaire [4] et non paramétrique ont été réalisés [5,6]. Les résultats ont montré que les variables les plus significatives sont linéaires par rapport à l'exposition. Les facteurs identifiés sont le fait d'avoir posé l'EMDEX à proximité du radioréveil et ou de passer plus de temps dans les transports ferroviaires. D'autres informations apparaissent selon la population et la moyenne considérées. Les MG observées chez les enfants augmentent avec le temps de travail sur ordinateur. Les enfants résidant dans les appartements sont plus exposés que ceux habitant dans des pavillons. Ce résultat est aussi observé sur les MG des adultes. Habiter dans une ville de plus de 2 000 habitants contribue à l'exposition des adultes.
- Dans un deuxième temps, d'autres descripteurs ont été calculés sur chaque série et une classification ascendante hiérarchique a été appliquée sur l'ensemble des descripteurs centrés et réduits [7]. Elle a conduit à une répartition de chaque population en trois classes notées « *les moins exposés* », « *les exposés moyens* » et « *les plus exposés* ». Les classes des plus exposés sont principalement formées par les individus qui ont posé l'EMDEX à proximité immédiate d'un radioréveil. Pour mesurer la qualité de répartition, chaque classification a été découpée en deux (échantillon d'apprentissage et échantillon test). Une classification supervisée (CART) a été ensuite réalisée sur l'échantillon d'apprentissage pour identifier les indicateurs les plus discriminants et établir des règles de répartition. Elle a conduit à retenir le RCMS (Rate Change of Metric Standardized), la MA, la MG pour les deux populations ; l'écart type et le troisième quantile pour les enfants ; les valeurs maximale et médiane pour les adultes. Les règles établies ont ensuite été appliquées sur l'échantillon test et les erreurs de prédiction ont été calculées. Les résultats montrent qu'il y a moins de 4 % de chances de se tromper de classes pour chaque population. Pour caractériser les classes, une régression logistique [7] a été ensuite appliquée. Le but était de modéliser la probabilité qu'un individu soit moyennement ou plus exposé à l'aide des informations tirées de l'emploi du temps et du questionnaire. Les enfants habitant dans les immeubles et/ou qui ont posé l'EMDEX à proximité d'un radioréveil avaient plus de chance d'appartenir dans ces classes. Les Odds ratio associés sont respectivement de 2,48 (IC=[1,52 ; 4,05]) et 14,10 (IC=[1,89 ; 105,32]). Cette probabilité augmente avec le temps de travail sur l'ordinateur. Pour les adultes, poser l'EMDEX à proximité d'un radioréveil et/ou avoir un mode de chauffage d'eau individuel font augmenter la probabilité d'être dans la classe des plus exposés. Les Odds ratio associés à ces variables sont respectivement de 11,47 (IC=5,31 ; 24,80) et 5,10 (IC=[1,13 ; 23,06]). Cette probabilité diminue avec le temps passé dans les autres formes de transports (transports non ferroviaires : voiture, car, bus, ...).

## Conclusion

Au-delà des difficultés rencontrées par MV2 pour collecter l'ensemble des informations nécessaires pour cette étude, on peut retenir que :

1. 3,4 % des enfants ont observé une moyenne arithmétique supérieure à 0,4  $\mu$ T, ce qui s'explique par des EMDEX posés la nuit à proximité immédiate de radioréveils.
2. Les enfants sont moins exposés que les adultes.
3. L'exposition est plus élevée en Ile-de-France que dans les autres régions.
4. Les facteurs d'exposition sont principalement le fait de poser l'EMDEX à proximité immédiate d'un radioréveil, passer plus de temps dans les transports ferroviaires pour les deux populations. D'autres apparaissent selon la population considérée comme habiter dans un logement collectif (immeuble) ou le temps de travail sur ordinateur pour les enfants et habiter dans une ville de plus de 2 000 habitants pour les adultes.

Dans la suite de l'étude, nous analyserons l'ensemble des 2 000 mesures, ainsi que l'influence de la proximité d'ouvrages électriques. Pour s'assurer de l'influence des différents facteurs d'exposition qui seront détectés, des estimations plus robustes seront réalisées.

## Bibliographie

- [1] WERTHEIMER, N. and E. LEEPER, Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol*, 1979. 109(3): 273-284.
- [2] AHLBOM, A., et al., A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer*, 2000. 83(5): 692-698.
- [3] CLINARD F., DESCHAMPS F., et al. 2004. Évaluation de l'exposition aux champs magnétiques dans les habitations situées à proximité des lignes de transport de l'électricité en France. *Environnement Risque et Santé (ERS)*, 3(2) : 111-118.
- [4] AZAIS JM, BARDET JM, Le modèle linéaire par l'exemple. Dunod, 2006
- [5] WOOD S.N. (2006) Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall.
- [6] HASTIE T. and TIBSHIRANI R.(1990) Generalized Additive Models. Chapman and Hall.
- [7] TUFFERY S. (2007) Data mining et statistique décisionnelle : L'intelligence des données. TECHNIP