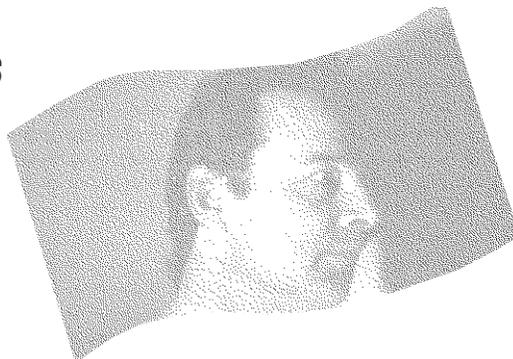


# La dépression et l'exposition aux champs électromagnétiques



# ÉTUDES ET RECHERCHES

Douglas B. McGregor

Mars 2002

R-300

RAPPORT



## La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (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 subventionne 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, en téléphonant au 1-877-221-7046.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications ou gratuitement sur le site de l'Institut.

Dépôt légal  
Bibliothèque nationale du Québec  
2002

IRSST - Direction des communications  
505, boul. de Maisonneuve Ouest  
Montréal (Québec)  
H3A 3C2  
Téléphone : (514) 288-1551  
Télécopieur : (514) 288-7636  
publications@irsst.qc.ca  
**www.irsst.qc.ca**

© Institut de recherche Robert-Sauvé  
en santé et en sécurité du travail,  
mars 2002.

# La dépression et l'exposition aux champs électromagnétiques

Douglas B. McGregor  
Consultant

ÉTUDES ET  
RECHERCHES

RAPPORT

Cliquez recherche  
[www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)



Cette publication est disponible  
en version PDF  
sur le site internet de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles de l'auteur.

## Résumé

rédigé par Loraine Pichette

Mars 2002

Certaines études menées dans les années 60 et 70 laissaient entendre que les champs électromagnétiques pouvaient avoir sur les personnes des effets psychologiques négatifs. Malgré la difficulté d'évaluer de tels effets et le fait que ces études comportaient de nombreuses faiblesses, celles-ci ont néanmoins suscité un important débat sur la question.

L'étude actuelle, menée par le docteur McGregor, consistait à analyser l'ensemble des travaux publiés dans le domaine. L'auteur a ainsi recensé et évalué neuf études directement reliées au sujet, de même que quelques autres portant sur des sujets connexes.

Il s'agissait dans l'ensemble d'études épidémiologiques, c'est-à-dire des études qui se contentent d'observer certains effets dans des populations données, contrairement à des études expérimentales où les conditions d'exposition sont davantage contrôlées et connues. Les études analysées cherchaient, en fait, à déterminer s'il existe un lien entre la dépression et l'exposition à des champs électromagnétiques de fréquence extrêmement basse (comme par exemple les champs magnétiques créés par les lignes de transport électrique, qui alternent à une fréquence de 50 ou 60 cycles à la seconde, exprimés comme 50 Hz ou 60 Hz).

Compte tenu de la diversité des facteurs (sociaux, économiques, culturels, environnementaux, pharmacologiques ou même personnels) qui peuvent mener à une dépression, il faut pouvoir observer un effet constant, au sein de plusieurs études et de plusieurs populations, et ce à différents moments, si l'on veut valider l'hypothèse selon laquelle une exposition à un champ électromagnétique de fréquence extrêmement basse augmenterait le risque de dépression. Il faut également démontrer que cette hypothèse est possible sur le plan biologique.

Dans toutes les études analysées par le docteur McGregor, les auteurs ont dû composer avec la difficulté d'évaluer le degré d'exposition aux champs électromagnétiques, d'identifier de manière fiable des symptômes de dépression, tout en tenant compte des autres facteurs connus – nommés plus haut – qui ont une influence sur l'apparition de la dépression. Les études les plus étoffées tenaient compte de plusieurs facteurs démographiques, tels que la classe sociale et, dans certains cas, des facteurs de risques courants de la dépression ou de l'apparition de symptômes dépressifs pouvant influencer les résultats.

De plus, la plupart des études analysées font état de niveaux d'exposition « élevée » plutôt rares. Les estimations étaient donc fragiles avant même de tenir compte des autres facteurs. Conséquemment, toute conclusion tirée en fonction des données actuellement disponibles se doit de demeurer provisoire.

Ainsi, dans le cadre de son analyse, l'auteur a considéré comme étant particulièrement limités les résultats de trois études (Dowson et al., 1988; Perry et al., 1989; Bonhomme-Faivre et al., 1998) qui, bien qu'elles aient révélé une certaine relation entre exposition et dépression, présentaient cependant trop de faiblesses pour qu'on puisse les utiliser dans le cadre d'une analyse critique.

Parmi les six autres études jugées acceptables, seule celle de Poole et al. (1993) arrive à la conclusion que les personnes exposées aux champs électromagnétiques courent un plus grand risque de dépression. Quant aux cinq autres (Broadbent et al., 1985; Savitz et al., 1994; McMahan et al., 1994; Beale et al., 1997; Verkasalo et al., 1997), elles indiquent une relation pratiquement nulle entre exposition et dépression. Si l'on inclut le suicide comme conséquence extrême à la dépression, la conclusion demeure la même.

Il existe donc peu de preuves appuyant l'hypothèse selon laquelle il y aurait augmentation de symptômes dépressifs à la suite d'une exposition à des champs électromagnétiques de fréquence extrêmement basse. En outre, l'état actuel de la recherche sur les mécanismes biologiquement possibles, notamment sur le rôle de la mélatonine, ne supporte pas non plus une telle hypothèse.

À l'heure actuelle donc, en gardant toutefois à l'esprit les limites des résultats obtenus, on peut affirmer que la très grande majorité des études reconnues comme valables ne reconnaissent pas de lien entre l'apparition de symptômes de dépression et l'exposition aux champs électromagnétiques de fréquence extrêmement basse.

## **Introduction**

La préoccupation concernant la possibilité d'effets psychologiques négatifs liés à l'exposition aux champs électromagnétiques provient de rapports, à la fin des années 1960, signalant des symptômes tels que céphalées, fatigue et perturbation de la structure du sommeil chez les travailleurs de postes de distribution exposés à une tension extrêmement élevée dans le cadre de leur travail (Vyalow, 1967; Asanova et Rakov, 1962). Malgré les nombreux points faibles que comportaient ces analyses transversales, leur publication a suscité un important débat sur la possibilité d'effets nocifs sur la santé liés à l'exposition à des champs électromagnétiques extrêmement faibles en milieu professionnel. Néanmoins, ces rapports ainsi que d'autres demeurent essentiellement non confirmés (Knave et al., 1979).

En 1979, Wertheimer et Leeper ont présenté la première étude indiquant que l'exposition environnementale aux champs électriques et magnétiques de fréquence d'alimentation (50 et 60 Hz) pouvait accroître le risque de maladie chronique, dans ce cas-ci la mortalité par cancer chez les enfants. Au même moment paraissait la première étude laissant supposer un lien entre les champs électromagnétiques et le suicide (Reichmanis et al., 1979). L'évaluation de toute association possible entre l'exposition aux champs électromagnétiques et la dépression est susceptible d'être plus difficile à réaliser que celle avec le cancer, puisque ces résultats de santé neurologique ne sont pas consignés dans des registres comme le sont les mortalités par cancer. En effet, il n'y a habituellement aucun registre et le point d'arrêt est encore moins clairement défini pour la dépression que pour le suicide. Malgré ces difficultés, des études plus récentes sur la dépression et sa relation aux champs électromagnétiques ont été réalisées et la présente recension tente d'évaluer les données qui en résultent en ce qui a trait aux champs électromagnétiques comme facteur de risque possible relativement aux symptômes de la dépression.

## Dépression

En psychiatrie clinique, la dépression est l'un des états les plus répandus et, avec l'élation, prédomine parmi les troubles de l'humeur. La dépression fait également partie de la vie de tous les jours. La tristesse, la « dépression normale », est une réaction normale face à un échec ou une déception. La dépression, comme état transitoire, peut également survenir en réaction à des événements importants ou appréhendés, comme les vacances, un anniversaire, une période prémenstruelle ou après un accouchement. Il ne s'agit pas d'états psychopathologiques en soi, mais les personnes prédisposées aux troubles de l'humeur peuvent en souffrir dans ces occasions.

Les troubles de l'humeur pertinents à la présente recension peuvent être classés en troubles bipolaires (périodes de dépression et d'élation) ou en troubles unipolaires (uniquement la dépression). Les troubles bipolaires commencent à se manifester chez des personnes plus jeunes (< 25 ans) et comportent des cycles plus courts (période entre le début d'un épisode et le suivant). Les troubles de l'humeur bipolaires se divisent en trois grandes catégories : le trouble bipolaire I, le trouble bipolaire II et le trouble cyclothymique. Le trouble bipolaire I se manifeste par une alternance d'épisodes de manie et de dépression caractérisées. Dans le cas du trouble bipolaire II, les épisodes dépressifs alternent avec les périodes d'hypomanie (c.-à-d. légère, non psychotique, excitée) de courte durée. Dans le cas du trouble cyclothymique, les périodes d'élation et de dépression sont toutes deux moins graves, peuvent durer toute la vie ou être un état précurseur de troubles bipolaires I ou II.

L'American Psychiatric Association (1980) définit le trouble de l'humeur unipolaire (ou trouble dépressif majeur) comme étant au moins un épisode de dépression, incluant le deuil qui dure plus d'un an et excluant toute personne qui peut, à un moment ou un autre, répondre aux critères d'un épisode de manie. Il peut s'agir de :

- *mélancolie* (p. ex., grande agitation, perte de poids, culpabilité injustifiée, réveil matinal précoce, variation de l'humeur diurne, activité plus marquée le matin et perte de la capacité à éprouver du plaisir);
- *trouble dépressif atypique* (fluctuation de son évolution, avec un mélange d'anxiété phobique, hyperphagie, insomnie initiale et empirant la nuit et hypersomnolence matinale);

- *trouble dysthymique* (dépression légère, intermittente ou chronique, dont l'apparition est précoce et insidieuse, particulièrement chez les < 21 ans).

Parmi les causes usuelles de la dépression, mentionnons les suivantes :

- les causes pharmacologiques : les contraceptifs stéroïdiens; la réserpine; le  $\alpha$ -methyldopa; les insecticides anticholinestérases; le sevrage d'amphétamine; la cimétidine; l'indométhacine; les phénothiazines; le thallium; le mercure; la cyclosérine; la vinblastine; la vincristine;
- les causes infectieuses : la grippe; la pneumonie virale; l'hépatite virale; la mononucléose infectieuse; la tuberculose; la parésie générale (syphilis tertiaire);
- les causes endocriniennes : l'hypothyroïdie et l'hyperthyroïdie; l'hyperparathyroïdie; le syndrome de Cushing; la maladie d'Addison;
- les causes neurologiques : la sclérose en plaques; la maladie de Parkinson; les traumatismes crâniens; les accidents vasculaires cérébraux; les phases précoces des maladies liées à la démence; l'apnée du sommeil;
- les causes nutritionnelles : la pellagre; la carence en vitamine B<sub>12</sub>;
- les causes néoplasiques : les tumeurs cérébrales; le cancer du col du pancréas; les métastases.

Selon les estimations, environ 25 % des gens vivent une forme ou une autre de perturbation affective, mais le risque à vie pour les troubles de l'humeur importants sur le plan clinique s'élève à probablement 12 % chez les hommes et 18 % chez les femmes. Les taux sont plus élevés chez les femmes pour les formes de dépressions plus légères et presque égaux chez les hommes et les femmes en ce qui a trait à la manie-dépression. La dépression clinique se limite aux personnes souffrant d'une vulnérabilité particulière.

Les facteurs socioculturels modifient les manifestations cliniques. À titre d'exemple, les problèmes somatiques, l'inquiétude, la tension et l'irritabilité sont communs dans les classes défavorisées, alors que les ruminations de culpabilité et l'autocritique sont plus caractéristiques de la dépression dans les cultures anglo-saxonnes et la manie tend à se manifester dans certains pays de la Méditerranée et d'Afrique, ainsi que chez les Noirs américains.

Une étude épidémiologique sur la dépression majeure et le trouble bipolaire (Weissman et al., 1996) conclut que les taux cumulatifs concernant la dépression majeure à vie varient considérablement d'un pays à un autre, alors qu'il existe une plus grande constance dans le cas du trouble bipolaire. Les données ont été recueillies dans dix pays : le Canada (plus précisément Edmonton, en Alberta), la France, l'Allemagne de l'Ouest, l'Italie, la Corée, le Liban, la Nouvelle-Zélande, Puerto Rico, Taiwan et les États-Unis. Les taux cumulatifs de la dépression majeure à vie variaient de 1,5 cas pour 100 adultes dans l'échantillon provenant de Taiwan à 19,0 dans celui du Liban (Beyrouth). Pour le Canada, le résultat était de 9,6 cas pour 100 adultes. Les taux annuels variaient 0,8 cas pour 100 adultes à Taiwan à 5,8 en Nouvelle-Zélande. Le taux annuel canadien atteignait de 5,2. L'âge moyen de l'apparition de la dépression comportait moins de variation (entre 24,8 et 34,8 ans). Dans chacun des pays, les taux de dépression majeure étaient plus élevés chez les femmes que chez les hommes, le ratio femmes-hommes variant de 1,6 à 3,0. Au Canada, ce ratio était de 1,9. Par contraste, les variations des taux cumulatifs du trouble bipolaire à vie étaient plus faibles, de 0,3 cas pour 100 adultes à Taiwan à 1,5 cas pour 100 adultes en Nouvelle-Zélande. Le ratio femmes-hommes variait de 0,3 en Corée à 1,2 aux États-Unis. Au Canada, le ratio était de 0,7. Dans la population canadienne, l'âge moyen de l'apparition de la dépression majeure se situait à 24,8 ans, alors que la dépression bipolaire commençait à environ 17,1 ans.

Dans tous les pays étudiés, la plupart des personnes atteintes de dépression majeure souffraient d'insomnie et de perte d'énergie. Parmi les autres symptômes communs (qui ne présentaient pas une manifestation universelle, mais incluant le Canada dans tous les cas), mentionnons les idées de mort, les problèmes de concentration et les sentiments d'inutilité. Les personnes souffrant de dépression majeure étaient plus à risque pour la comorbidité liée à une consommation excessive d'alcool et de drogues et aux troubles d'anxiété. De plus, selon cette étude, les personnes séparées ou divorcées présentaient des taux de dépression majeure beaucoup élevés que les personnes mariées dans la plupart des pays et le risque était quelque peu plus élevé chez les hommes divorcés ou séparés que chez les femmes dans tous les pays, sauf au Canada. Les différences de taux pour la dépression majeure dans les différents pays ont amené les auteurs à penser que les différences culturelles ou les différents facteurs de risque pouvaient avoir une incidence sur la manifestation de la maladie.

Bien que la présente recension mette l'accent sur la dépression, il est impossible d'ignorer le suicide complètement, puisque ce geste est considéré comme étant un symptôme ou une séquelle de la dépression. Il faudrait également souligner que, dans les études épidémiologiques liant la dépression à des champs électromagnétiques à très basse fréquence, la dépression entraînant l'hospitalisation ou un traitement pharmacologique est rarement mentionnée. Les études ont tendance à cibler les symptômes dépressifs, et souvent, sur une courte période.

### **Champs électromagnétiques**

La matière est faite de molécules constituées d'atomes qui, à leur tour, comportent plusieurs types de particules, dont les électrons et les protons. Une des propriétés des électrons et des protons consiste en leur charge électrique égale et opposée, négative et positive, respectivement. Ces particules sont dotées des plus petites unités de charge électrique qu'il est possible d'isoler et les charges plus importantes sont des multiples de leur charge électrique. Les particules chargées d'électricité exercent des forces les unes sur les autres, les charges opposées s'attirant, alors que les charges semblables se repoussent. Ces charges génèrent des champs électriques statiques, si la charge est stationnaire. Mais dans le cas contraire, c'est-à-dire si la charge bouge, un champ électromagnétique est également produit. Les champs électriques sont présents lorsque, par exemple, la tension (la différence d'énergie potentielle) force l'électricité le long d'un fil. Plus la tension est élevée, plus le champ produit est puissant. Puisque la tension peut exister même en l'absence de la circulation de courant, il n'est pas nécessaire qu'un appareil soit en circuit pour qu'un champ électrique existe. Toutefois, lorsque la tension est réduite à zéro (en débranchant l'appareil), le champ électrique disparaît. La présence de champs magnétiques ne survient que lorsque le courant électrique circule; les champs magnétiques et les champs électriques coexistent alors. Lorsque le courant est plus élevé, le champ magnétique est plus puissant. Si les tensions sont stables, les courants pour leur part varient en fonction de la consommation en électricité, d'où la stabilité du champ électrique. La puissance du champ magnétique quant à elle variera en fonction de la consommation en électricité.

Un objet faisant écran, particulièrement un écran de métal, permet de réduire les champs électriques, tout comme les murs, les édifices et les arbres, par exemple, qui réduisent les champs créés par des lignes électriques. Quant aux champs magnétiques, ils traversent la plupart des

matériaux et ne peuvent être ainsi réduits et ce même en enfouissant les lignes électriques sous terre.

Un champ électrique peut également être présent à la suite de la modification d'un champ magnétique. L'interaction réciproque des champs électriques et magnétiques produit un champ électromagnétique, considéré comme ayant sa propre existence dans l'espace, distincte des charges ou des courants auxquels il peut être relié. Dans certaines conditions, il est possible de décrire ce champ électromagnétique comme une onde qui transporte de l'énergie électromagnétique.

Une onde électromagnétique se produit lorsque qu'une ligne de charges décrit un mouvement de va-et-vient dans une ligne. Les charges qui se déplacent représentent le courant électrique. Dans ce mouvement de va-et-vient, le courant circule dans une direction, puis dans une autre. En conséquence à cette inversion de la direction du courant, le champ magnétique autour du courant (découvert par Ørsted et Ampère) doit changer de direction. Le champ magnétique variant dans le temps produit un champ électrique variant dans le temps qui lui est perpendiculaire, tel que l'a découvert Faraday (la loi d'induction de Faraday). Ces champs électriques et magnétiques variant dans le temps s'éloignent de leur source (le courant oscillatoire) en s'étalant, sont perpendiculaires les uns aux autres, se propagent à la vitesse de la lumière et forment une onde électromagnétique. La fréquence de cette onde est celle des charges oscillatoires de la source.

Bien que l'exposition à une radiation électromagnétique dont les ondes sont courtes puisse entraîner des effets importants sur la santé, les ondes retrouvées dans la gamme des **fréquences extrêmement basses** sont si grandes que leur contribution à tout effet observé peut être ignoré. La longueur d'une onde de 60 Hz est de 5 000 kilomètres (3 000 milles).

Voici les termes communément utilisés pour décrire les gammes de basses fréquences :

Terme	Gamme de fréquences
Fréquence extrêmement basse	3 Hz – 3 kHz
Fréquence d'alimentation	50 Hz – 1000 Hz (1 kHz)
Fréquence très basse	3 kHz – 30 kHz
Basse fréquence	30 kHz – 300 kHz

Pour mesurer l'intensité d'un champ magnétique, la densité de flux magnétique est la mesure la plus couramment utilisée. Elle est directement proportionnelle au courant qui se déplace dans un fil, est à angle droit de la direction du courant et sa valeur est inversement proportionnelle à la distance perpendiculaire du fil. Les principales unités de densité de flux magnétique sont exprimées en **teslas** (T) et en **gauss** (G); un tesla est égal à dix mille gauss. Les unités secondaires fréquemment utilisées sont :

$$\text{le millitesla (mT)} = 10^{-3} \text{ T} = 10 \text{ G}$$

$$\text{le microtesla } (\mu\text{T}) = 10^{-6} \text{ T} = 0.01 \text{ G}$$

$$\text{le milligauss (mG)} = 10^{-3} \text{ G}$$

À titre d'exemple, la densité de flux magnétique à une distance de 10 m d'une ligne transportant un courant de 100 A est de 125 mG (12,5  $\mu\text{T}$ ). En comparaison, la densité de flux magnétique du champ statique de la terre est d'environ 500 mG (50  $\mu\text{T}$ ). Toutefois, contrairement au champ magnétique de la terre, les champs magnétiques créés par les lignes de transport électrique alternent à une fréquence de 50 ou 60 cycles à la seconde (exprimés comme suit : 50 Hz ou 60 Hz).

Au Royaume-Uni, l'électricité est distribuée sur le réseau national (*National Grid*) par des lignes aériennes à une tension de 275 ou 400 kV. Cette tension est ensuite abaissée par des postes de transformation régionaux pour les villes à 132 kV, à 11 kV dans les collectivités rurales et, enfin, par des postes locaux à la tension domestique de 240 V. Le champ qui se situe directement au-dessous d'une ligne de transport de 400 kV mesure en moyenne 10 kV/m, diminuant à 200 - 1000 V/m à une distance de 100 m, alors que le champ sous une ligne de transport de 132 kV est d'environ 1000 – 2000 V/m, diminuant à 2 – 100 V/m à une distance de 100 m. Dans certaines conditions climatiques, ces mesures peuvent doubler. Au Royaume-Uni, aucune loi n'interdit l'érection d'immeubles résidentiels à l'intérieur d'une certaine distance des lignes de transport, alors qu'au États-Unis, le champ ne peut être supérieur à 1600 V/m et dans l'ancienne Union soviétique, le champ ne pouvait être supérieur à 10 000 V/m (Dowson et al., 1988). Ainsi, bien que les tensions des lignes de transport aux États-Unis (345 kV, 230 kV, 220 kV, 66 kV) soient similaires à celles au Royaume-Uni, l'exposition aux champs électromagnétiques en milieu résidentiel ne devrait pas atteindre les niveaux élevés permis au Royaume-Uni.

Lors de l'évaluation des effets des champs électromagnétiques de fréquence extrêmement basse sur la santé humaine, les études épidémiologiques ont principalement pris en compte l'exposition en milieu résidentiel et professionnel. Les environnements extérieurs sont souvent considérés comme étant des endroits où les niveaux sont faibles, mais Lindgren et al. (2001) ont démontré que ce n'était pas vrai dans un environnement urbain. Ils ont tracé les densités de flux magnétique extrêmement faible le long du revêtement de certaines rues du centre de Goteborg, en Suède. Environ 50 % de la longueur des rues faisant l'objet de mesures indiquait des densités de flux dont l'ordre de grandeur était le même ( $\geq 0.2 \mu\text{T}$ ) qu'à celui associé aux risques accrus de cancer dans les études épidémiologiques. Les auteurs ont conclu que les expositions extérieures dans un environnement urbain devraient également être prises en compte pour l'évaluation de l'exposition et des risques. Ces densités de flux élevées sont sans doute causées par des courants vagabonds. Ils ont également mesuré des densités de flux magnétique élevées ( $> 1.0 \mu\text{T}$ ) près des poteaux de distribution ordinaires, des postes de distribution, des alarmes de magasins et d'autres dispositifs électriques.

## Épidémiologie

Les études épidémiologiques recherchent, dans la population, une association entre l'exposition à certains facteurs et un résultat de santé particulier. Il s'agit généralement d'études par observation, par opposition à des études expérimentales. En conséquence, les difficultés liées au plan d'étude, à l'analyse et à l'interprétation des études épidémiologiques se situent principalement au niveau des influences ou des biais possibles liés à la distorsion. Les études descriptives, telles que les études sur l'incidence d'une maladie ou la mortalité dans une population donnée, étudient les données sur les facteurs de risque et les résultats présents dans la population et sont soumises aux biais les plus difficiles à éliminer. Les études analytiques comportent un plan d'étude plus complexe et vérifient des hypothèses précises, tout en prévoyant des ajustements pour les biais. Il existe deux types d'études analytiques : les études cas-témoin et les études de cohorte. Les études cas-témoin comparent l'exposition de groupes de personnes atteintes d'une maladie donnée à des groupes de personnes qui n'en sont pas atteintes (les témoins). Les études de cohorte comparent les résultats de la maladie chez deux groupes de personnes soumises à des niveaux d'exposition. Les données de ces études sont alors interprétées conformément à des critères de lien de causalité largement reconnus, notamment :

1. la constance;
2. la force de l'association;
3. la séquence temporelle;
4. la relation dose-effet;
5. la spécificité;
6. la cohérence avec les connaissances antérieures; et
7. la plausibilité biologique.

Un effet constant doit être présent dans plusieurs études, au sein de plusieurs populations et à différents moments, car une seule étude ne peut fournir les preuves définitives d'une relation. La force de l'association (l'importance du risque relatif) est également importante pour l'inférence de

la causalité, de même que la séquence temporelle appropriée de l'exposition et de l'effet, et la relation dose-effet. De plus, l'effet devrait indiquer une spécificité à la suite d'une exposition particulière et devrait être biologiquement plausible.

### **Études épidémiologiques liant la dépression au flux de champs magnétiques de fréquence extrêmement basse**

Une recherche dans MEDLINE a été effectuée en vue de relever les articles explorant l'association entre la dépression et les champs électromagnétiques de fréquence extrêmement basse et la recension des bibliographies a été réalisée dans les publications obtenues par cette recherche.

Neuf études ont examiné l'association possible entre l'exposition à des champs électromagnétiques de fréquence extrêmement basse et la dépression. Un résumé de ces études est présenté dans le tableau 1.

Broadbent et al. (1985) ont étudié des employés qui ne faisaient pas partie du personnel administratif de trois secteurs de transmission de la *Central Electricity Generating Board* dans le sud-ouest de l'Angleterre et dans le sud du pays de Galles (CEGB), ainsi que le personnel similaire de la South Wales Electricity Board (SwaEB). Le personnel de la CEGB s'occupait du fonctionnement et de l'entretien de transmissions dont la tension s'élevait à 132, 275 et 400 kV. Le personnel de la SwaEB travaillait à des systèmes de distribution dont la tension s'élevait à 11, 33, 66 et 132 kV. Pendant deux semaines précédant l'administration d'un questionnaire, les sujets ont porté un appareil de mesure d'exposition électrochimique fixé à la partie supérieure du bras. Cet appareil a fourni une mesure d'exposition cumulative pour cette période de deux semaines. Les mesures étaient toutefois sujettes à des variations en fonction de la taille du sujet, de sa carrure, de ses vêtements, de ses chaussures et de la façon précise dont il portait le brassard auquel était fixé l'appareil. Pour un sujet donné qui se tenait debout, la déviation standard des lectures d'étalonnage prises dans des conditions similaires étaient d'environ 20 %. Parmi les 287 sujets inclus dans l'analyse, uniquement 28 ont subi des expositions s'élevant au-dessus du seuil de détection fiable de  $6,6 \text{ kVm}^{-1}\text{h}$ . Des ingénieurs ont également réalisé l'estimation de l'exposition en fonction des registres d'exposition et des antécédents de travail des sujets

participant à l'étude. De façon générale, ces estimations étaient plus élevées que les expositions intégrées mesurées. On s'attendait à une exposition importante chez le personnel des lignes de transmission, mais, sur 166 mesures, seulement 26 dépassaient le seuil de détection. Le questionnaire comportait environ 150 questions et avait été adapté du questionnaire du Middlesex Hospital pour une utilisation auprès des populations de travailleurs plutôt que des populations de personnes hospitalisées (Crown & Crisp, 1966). Il était connu que les résultats du questionnaire étaient plus élevés chez les personnes diagnostiquées comme étant malades en vertu d'un examen médical plus complet. Le rendement de ce questionnaire révisé a été vérifié auprès d'une série de patients pour s'assurer qu'il donnerait le même genre de résultats. Le questionnaire comprenait quatre pointages liés à l'évaluation donnée à l'examen médical : l'anxiété, la dépression, les symptômes somatiques et les symptômes d'obsession. Aucune corrélation significative avec soit les lectures d'exposition enregistrées, soit les estimations d'exposition établies par des professionnels pour des périodes de six mois ou de 15 ans, n'a été établie pour aucune des caractéristiques de santé évaluées, y compris la dépression.

Dowson et al. (1988) ont étudié les effets possibles de résider à proximité des lignes de transport électrique sur la fréquence des céphalées et de la dépression. La population étudiée vivait dans un groupe de maisons situées près de lignes de transport aériennes de 132 kV. La population témoin choisie résidait à trois milles [4,8 km] des lignes de transport et les maisons correspondaient le plus étroitement possible aux types de maison du groupe étudié, mais où il n'y avait pas de lignes de transport à proximité. À chaque endroit, un questionnaire a été remis en mains propres aux résidents de 120 maisons. Ce questionnaire demandait des renseignements sur l'âge, le sexe, la situation sociale, la période de résidence à cet endroit, des détails sur les maladies récurrentes, le temps perdu en ce qui a trait aux activités habituelles en raison de la maladie et la stabilité de l'état de santé au cours de l'année précédente. Le taux de réponse a été de 60 %, donnant un groupe d'étude de 132 personnes et un groupe témoin de 94. La situation sociale des deux groupes se situait de façon uniforme dans la classe III. La récurrence de céphalées augmentait dans la zone des 60 à 80 m de la ligne de transport, mais pas à une plus grande proximité ni à une plus grande distance, alors que neuf personnes du groupe d'étude (dont sept sur un total de 38 vivaient à moins de 40 m de la ligne de transport électrique) et une personne du groupe

contrôle ont déclaré souffrir de dépression. Le noyau de la fréquence des céphalées récurrentes est difficile à expliquer. En ce qui a trait à la dépression, cette étude n'avait pas utilisé une échelle validée pour l'identification des symptômes dépressifs, mais s'est appuyée sur l'auto-évaluation des sujets et, en conséquence, ne comporte aucune standardisation des critères. Ainsi, bien qu'il s'agisse d'un premier rapport intéressant, il ne sert qu'à lancer le débat et il est considéré comme étant inadéquat à des fins d'évaluation.

À la suite de travaux antérieurs publiés sur le suicide (Reichmanis et al., 1979; Perry et al., 1981), Perry et al. (1989) ont examiné si la susceptibilité à la maladie dépressive des personnes vivant à Wolverhampton, au Royaume-Uni, était liée à l'intensité d'un champ magnétique de 50 Hz à l'extérieur de leur résidence. Les cas étudiés étaient des patients ayant reçu leur congé des hôpitaux de Wolverhampton en 1985 avec un diagnostic de maladie dépressive [CIM 296 et (ou) 311] et vivant dans l'arrondissement métropolitain de Wolverhampton. Les témoins ont été sélectionnés parmi la liste électorale de 1985 pour ce même arrondissement. Selon l'évaluation de l'intensité des champs, les maisons des cas subissaient des niveaux de champ beaucoup supérieurs à ceux mesurés aux maisons des témoins : 2,26 mG par opposition à 2,07 mG,  $p < 0,03$ . Ces valeurs témoins sont beaucoup plus élevées que celles mesurées par le groupe dans le cadre de l'étude antérieure sur le suicide et il est discutable d'affirmer qu'une si petite différence dans les valeurs de l'intensité des champs constitue une explication plausible pour les symptômes dépressifs. Les auteurs ont reconnu que leur étude comportait certaines failles, notamment la possibilité que la distance entre une propriété et le trottoir municipal puisse constituer une variable importante, le bruit de la rue, la pollution et les aspects moins désirables des maisons en terrasse plus anciennes et ont également reconnu que l'intensité élevée du champ pouvait être due à la courte distance entre la porte d'en avant et la rue et la présence possible d'un câble de secteur souterrain. La question de la confusion, notamment en fonction des facteurs socio-économiques, n'a pas été abordée. De plus, la présence d'appareils électroménagers n'a pas été prise en compte, contrairement à leur étude antérieure sur le suicide et à laquelle les auteurs attribuaient une grande importance.

Poole et al. (1993) ont réalisé, en novembre 1987, une étude au moyen d'interviews téléphoniques pour évaluer la prévalence de symptômes dépressifs et de céphalées en relation avec la proximité

de la résidence à une ligne de transport à courant alternatif aux États-Unis. La population ciblée résidait dans huit villes en bordure de l'emprise de lignes de transport aux États-Unis en 1987. Les lignes étaient constituées de deux conducteurs de 230 kV à circuit unique sur une distance de 69 km, raccordées à une ligne de 345 kV unique sur une distance de 3 km avant de parcourir seules une distance supplémentaire de 13 km. Les participants éventuels visaient 705 personnes tirées des annuaires téléphoniques de la région étudiée, auxquelles s'ajoutaient les 205 adultes dont on savait qu'ils résidaient dans des maisons limitrophes à l'emprise et les 249 résidents de la région étudiée qui, en signant une pétition ou une feuille de présence à une assemblée publique, avaient manifesté un vif intérêt à l'égard de la proposition d'une nouvelle ligne de transport. Des interviews complètes ont été réalisées auprès de 259 adultes provenant de l'échantillon tiré de l'annuaire, de 60 adultes ayant manifesté un vif intérêt, de 53 personnes habitant des propriétés limitrophes et de 10 adultes faisant partie des deux derniers groupes. Le taux de participation s'est élevé à 69 %, variant de 67 % à 73 % dans les différents groupes. Le questionnaire visait à obtenir des participants leurs caractéristiques démographiques, l'intensité de leur attitude générale relativement à l'environnement, les effets perçus de l'exposition environnementale sur leur santé, des renseignements sur les symptômes dépressifs et la présence ou l'absence de migraines au cours des sept jours précédant l'interview. La proximité à la ligne, définie comme le fait de résider une propriété limitrophe à l'emprise ou la possibilité de voir les pylônes de la maison ou du jardin, était associée de façon positive à une mesure de symptômes dépressifs basée sur l'échelle de la dépression du Center for Epidemiologic Studies. Une prévalence élevée des résultats au-dessus de la valeur médiane était associée aux femmes, à un âge plus jeune, à une scolarisation moins élevée et à la perturbation dans le mariage. Les symptômes dépressifs étaient plus répandus chez les participants qui se disaient préoccupés par les lignes de transport en relation avec leur propre santé. L'étude a indiqué une association positive entre la prévalence des symptômes dépressifs et la principale mesure de la proximité résidentielle à l'emprise de la ligne de transport, avec un rapport de cotes (RC) de 2,8 (intervalle confiance (IC) à 95 % = 1,6 - 5,1). L'association était plus forte lorsque tous les facteurs confusionnels potentiels étaient pris en compte. L'estimation n'a pas changé de façon significative lors de la modification de la définition des symptômes dépressifs ou de celle de la proximité à la ligne de transport. L'association était plus faible entre les céphalées non liées à la migraine et la proximité à la ligne de transport (RC 1,5, IC à 95 % = 0,76 - 2,8), et les migraines signalées par les intéressés n'indiquaient aucune

association (RC 0,99, IC à 95 % = 0,29 - 3,4). Cette étude est souvent considérée comme étant la première bonne étude offrant les preuves d'une association entre l'exposition aux champs électromagnétiques et l'apparition de symptômes dépressifs. Toutefois, une faiblesse importante de l'étude se situe au niveau de l'évaluation de l'exposition, alors que sa force réside dans l'application d'outils d'évaluation validés pour identifier les symptômes dépressifs.

Savitz et al. (1994) ont analysé les données de l'étude intitulée *Vietnam Experience Study* pour la possibilité d'une association entre l'exposition aux champs électromagnétiques et la dépression. Afin de comparer le risque de dépression diagnostiquée, de symptômes dépressifs et les élévations dans les échelles de personnalité indiquant la présence de dépression, les participants utilisés ont été classés comme travailleurs en électricité (n = 183) et travailleurs qui ne travaillaient pas dans l'électricité (n = 3 861) et leurs résultats ont été comparés au moyen du DIS (*Diagnostic Interview Survey*) et du MMPI (*Minnesota Multiphasic Personality Inventory*). Seul l'emploi actuel a servi de base à la classification de l'exposition. Pour 1 051 des 4 044 hommes participant à l'étude, l'emploi actuel n'était pas celui qu'ils avaient occupé le plus longtemps. Les données ont été analysées en fonction de la prévalence de la dépression à vie, de la prévalence au cours du mois précédant l'étude et de la prévalence de la dépression unipolaire récurrente à vie. Les symptômes de dépression suivants ont été analysés à partir du DIS : la perte ou le gain de poids, la perturbation du sommeil, le ralentissement ou l'agitation, la perte d'intérêt pour la sexualité, la fatigue, les sentiments d'inutilité, la difficulté de concentration et les idées de mort. Les travailleurs en électricité ont été comparés aux travailleurs qui ne travaillaient pas dans l'électricité en fonction de l'âge, de l'état civil, du niveau de scolarité, du revenu, de la race, de la consommation d'alcool, du rang au départ de l'armée, de l'emplacement du service militaire (Viêt-nam ou ailleurs) et le nombre d'années dans l'emploi actuel. Une analyse préliminaire laissait supposer que la durée de l'emploi était liée à la dépression, le risque le plus élevé étant présent chez les hommes ayant eu la durée d'emploi la plus courte. En conséquence, toutes les analyses postérieures ont été stratifiées en fonction de la durée de l'emploi (actuel) en périodes de < 10 ans, de 11 à 15 ans et 16 ans et plus. La configuration des résultats du DIS n'indiquait pas pour l'ensemble des travailleurs en électricité une tendance nette de risques élevés. Il n'y avait pas de relation entre la dépression à vie et la dépression unipolaire récurrente et les emplois dans le domaine de l'électricité, mais la dépression au cours du mois précédant l'étude tendait à être plus

répandue chez les travailleurs en électricité, résultat qui n'était pas, par ailleurs, statistiquement significatif (RC 1,7, CI à 95 % = 0,7 – 4,3). Les symptômes de dépression associés au travail variaient, la difficulté de concentration tendant à être plus répandues chez les travailleurs en électricité, particulièrement s'ils occupaient leur emploi depuis < 10 ans (risque relatif (RR) 2,0, CI à 95 % = 0,8 - 4,9), alors que le gain ou la perte de poids et particulièrement la perte d'intérêt pour la sexualité semblaient être moins répandus chez les travailleurs en électricité (RC 0,2, CI à 95 % = 0,0 - 1,5). Les résultats du MMPI indiquaient également que pour l'ensemble des travailleurs en électricité il existait peu de preuves de risque élevé, bien que l'on retrouvait un profil constant d'élévations modestes dans les résultats du MMPI pour la dépression dans le cas des travailleurs temporaires, mais aucun de ces résultats n'était statistiquement significatif. Les données sur les électriciens ont uniquement donné des indications de risque accru à l'égard de plusieurs marqueurs de la dépression. Cependant, les auteurs ont souligné que ce groupe n'était pas celui qui avait le plus assurément subi des expositions à des champs électromagnétiques élevées. Malgré le petit nombre de travailleurs en électricité, l'incertitude relative à l'exposition et l'incapacité reconnue (par les auteurs) d'étudier d'autres expositions sur le lieu de travail, ces résultats laissent croire que les travailleurs en électricité en général ne subissent pas de risque accru pour la dépression.

Une des critiques des études de Dowson et al., 1988 et de Savitz et al., 1994 porte sur le fait qu'elles se sont appuyées sur des substituts de mesures de champs électromagnétiques. Pour tenter d'éviter cette faille, McMahan et al. (1994) ont combiné l'administration d'une mesure normalisée de la dépression (l'échelle de dépression du Center for Epidemiological Studies), privilégiée au niveau méthodologique, et des mesures de champs magnétiques prises à la porte d'en avant des résidences. L'étude a été réalisée en 1992 dans une partie de Orange County, en Californie, auprès d'une population principalement blanche appartenant à la tranche socio-économique supérieure. La zone bordait une emprise comportant deux lignes de transport de 220 kV à quatre conducteurs et deux lignes de transport de 66 kV. Les participants étaient constitués de 152 femmes qui résidaient soit en bordure de l'emprise, soit à un pâté de maisons des lignes de transport. Les interviews ont été réalisées à la porte de la maison, l'objectif n'étant pas révélé aux participantes. Les interviews ont porté sur la santé des participantes, les événements de leur vie, les antécédents familiaux, les habitudes de santé, leur emploi et la vie domestique. Les champs magnétiques ont été mesurés au moyen d'un dosimètre d'exposition numérique électrique et magnétique portatif

(EMDEX-C) qui donne un relevé d'exposition détaillé. Le champ magnétique moyen atteignait 4,86 mG (CI à 95 % = 4,26 – 5,47) (0,49  $\mu$ T) à la porte avant des maisons situées en bordure de l'emprise et 0,68 mG (CI à 95 % = 0,62 – 0,75) (0,07  $\mu$ T) à la porte avant des maisons situées à un pâté de maisons de l'emprise. La répartition des résultats de l'échelle de dépression du Center for Epidemiological Studies était asymétrique et ne semblait pas associée de façon constante au fait de résider en bordure de l'emprise ou à une distance de celle-ci. Les femmes vivant en bordure de l'emprise n'étaient pas plus susceptibles que celles qui en étaient éloignées de signaler une augmentation des symptômes dépressifs (RC 0,94, CI à 95 % = 0,48 - 1,85). De plus, les résultats de l'échelle de dépression du Center for Epidemiological Studies ne fournissaient pas de différences significatives entre les groupes après la prise en compte des variables démographiques. Les résultats indiquaient une tendance (qui n'était pas statistiquement significative) selon laquelle les femmes qui résidaient à cet endroit depuis plus longtemps signalaient un moins grand nombre de symptômes dépressifs. L'appartenance ethnique, l'âge, le niveau de scolarité et le revenu ne semblaient pas liés aux symptômes dépressifs. Les auteurs ont reconnu que l'homogénéité de la population étudiée (principalement blanche, composée uniquement de femmes dont la plupart avaient réalisé des études supérieures) pouvait limiter la généralisation de ces résultats.

Beale et al. (1997) ont étudié les modèles de dose-effet au sein d'une population dont tous les membres vivaient à proximité de lignes de transport de 50 Hz dans la région métropolitaine de Auckland, en Nouvelle-Zélande. Les maisons sur les rues situées sous ou à côté de lignes de transport aériennes ont été repérées sur des cartes topographiques de l'endroit. Une invitation à participer à l'étude a été laissée aux résidents des maisons dont les lectures au portillon étaient supérieures à 0,5  $\mu$ T et à d'autres résidents de la même rue où les lectures au portillon étaient inférieures à 0,3  $\mu$ T. Cinq cent quarante personnes, âgées de 18 à 70 ans et provenant de 374 ménages répondaient à tous les critères d'inclusion et ont rempli tous les questionnaires et effectué tous les tests. Les interviews comprenaient l'administration de cinq tests portant sur les capacités d'attention, de deux tests de mémoire concernant de nouveaux éléments et de trois questionnaires. Parmi ceux-ci, le LCQ (*Life Changes Questionnaire*) et particulièrement le GHQ (*General Health Questionnaire-28*) (Goldberg & Williams, 1988) étaient pertinents pour l'évaluation de la dépression. Les résultats de cette échelle sont étroitement liés au diagnostic professionnel de troubles psychologiques. Outre le résultat total utilisé pour l'identification des

cas, des résultats sur quatre facteurs ont été tirés de sous-ensembles de questions distincts. Ces sous-ensembles donnent des résultats pour le GHQ-symptômes somatiques, le GHQ-anxiété, GHQ-dysfonction sociale et le GHQ-dépression. Les participants devaient de plus évaluer leur propre état de santé et donner leur opinion sur la question à savoir si vivre à proximité d'une ligne de transport électrique avait ou non une incidence sur leur santé.

Les mesures des champs ont été réalisées au moment de l'interview à trois endroits dans toutes les pièces de la maison où les participants se trouvaient tous les jours en moyenne une heure ou plus. À titre de vérification de la variation saisonnière des champs magnétiques, 38 maisons ont fait l'objet d'une autre visite à l'occasion de laquelle les mesures des champs ont été prises de nouveau. À partir de ces mesures, deux estimations d'exposition ont été calculées : l'exposition moyenne et l'exposition intégrée dans le temps. Cette dernière estimation a été utilisée pour la classification des sujets de l'étude en quintiles.

Des analyses de régression multiples ont été réalisées sur deux ensembles de données : 1) tous les tests neuropsychologiques et 2) l'état de santé général évalué par les participants et les mesures de santé psychologique. Ces analyses comprenaient des ajustements pour l'âge, le sexe, la situation socio-économique et les événements de la vie. De plus, les effets sur l'état de santé évalué par les participants eux-mêmes et les effets perçus de la présence des lignes de transport sur leur santé ont été étudiés. Parmi les mesures des tests neuropsychologiques, la seule catégorie pour laquelle le coefficient de régression était significatif était le test chiffres-symboles (qui constitue un des indicateurs les plus sensibles de lésions cérébrales indifférenciées). Dans aucun des tests, y compris le test chiffres-symboles, l'ajustement des facteurs confusionnels présumés n'a eu un effet marqué. Le test chiffres-symboles ne jouissant pas d'un statut particulier en vertu d'une hypothèse a priori, les auteurs ont considéré ce résultat comme n'appuyant que faiblement une interprétation selon laquelle l'exposition touche la fonction cognitive de façon négative. Le coefficient de régression du GHQ-dépression était significatif à un niveau de 0,05, mais il perdait de sa signification lorsqu'il faisait l'objet d'un ajustement supplémentaire en fonction de la perception de l'effet des lignes de transmission sur la santé par les sujets. Ce facteur a entraîné une réduction de 38,5% du coefficient de régression ajusté pour la dépression. Il a également réduit les coefficients de régression fondés sur les résultats des catégories symptômes somatiques et anxiété de 40,5 % et de 22,8 %, respectivement. Ainsi dans cette étude, les mesures

d'exposition intégrées dans le temps semblent être un prédicteur de l'apparition de symptômes dépressifs, mais l'association était faible et limitée au quintile d'exposition le plus élevé.

L'augmentation du résultat entre les catégories d'exposition la plus élevée et la moins élevée, avant même tout ajustement, n'était que de 7,5 % et semblait être apparemment fonction de la perception des effets des lignes de transport sur la santé par les sujets eux-mêmes. La façon dont la modification de l'association s'est produite n'est cependant pas claire. Selon une interprétation, les participants étaient implicitement conscients du niveau d'exposition auquel ils étaient soumis et ils estimaient également que des niveaux d'exposition plus élevés avaient un effet plus nuisible sur la santé que les niveaux d'exposition moins élevés. Bien que la première partie de cette interprétation soit plausible, la deuxième ne l'est pas, car tous les participants habitaient à proximité des lignes de transport et connaissaient sans doute peu l'ensemble des facteurs qui déterminaient leur exposition individuelle aux champs magnétiques créés par les lignes.

L'ajustement de la perception des sujets de l'étude concernant l'effet des lignes de transport sur leur santé a peut-être pu contribuer à un facteur non identifié qui pourrait confondre l'association des champs électromagnétiques à la dépression. Verkasalo et al. (1997) ont utilisé deux ensembles de données disponibles à l'échelle nationale, l'étude finlandaise de cohorte de jumeaux (*Finnish Twin Cohort Study*) et l'étude finlandaise sur les lignes de transport électrique (*Finnish Transmission Line Study*), pour étudier la contribution des champs magnétiques à la dépression. L'étude finlandaise de cohorte de jumeaux est un projet épidémiologique visant l'étude des déterminants génétiques et environnementaux des maladies chroniques. La partie de la cohorte utilisée dans cette étude sur les lignes de transport électrique et la dépression a été tirée du registre national de la population finlandaise en 1974. Il s'agit de tous les jumeaux de même sexe nés avant 1958 et dont les deux membres vivaient encore en 1967. En 1975, les jumeaux ont reçu un questionnaire par la poste et 89 % y ont répondu. Dans un suivi des jumeaux, un questionnaire a été envoyé en 1990 à ceux nés entre 1930 et 1957 et dont les deux membres vivaient encore en 1987. Le taux de réponse s'élevait à 77,5 %, représentant 12 063 personnes (5 512 hommes et 6 551 femmes) qui avaient répondu aux 21 questions d'auto-évaluation de la dépression de l'inventaire de dépression de Beck (IDB). Les renseignements personnels sur une exposition échelonnée sur 20 ans (c.-à-d. la distance et le calcul des champs magnétiques annuels moyens) avant 1990 aux lignes de transport aériennes de 110 à 400 kV et les champs magnétiques calculés à  $\geq 0.01 \mu\text{T}$  ont été tirés de l'étude de cohorte finlandaise sur les lignes de transport électrique. La

moyenne des résultats rapportés de la IDB pour les sous-groupes d'exposition intéressants ont été ajustés en fonction d'une série de covariables : c.-à-d. l'âge, le sexe, la classe sociale, le niveau de scolarité, l'état civil, le travail à l'extérieur de la maison, le travail de jour régulier, la participation à un travail rémunéré, le tabagisme actuel, la présence d'une consommation abusive d'alcool, le nombre de pertes de conscience liées à l'alcool au cours de la dernière année, l'échelle des événements de la vie et les échelles de soutien social. Ces résultats moyens ajustés du IDB n'étaient pas différents selon l'exposition, offrant une certaine assurance en vertu de laquelle la proximité aux lignes à haute tension n'est pas associée à des modifications qui se situent dans la gamme des symptômes dépressifs usuels. Le tableau ci-dessous présentent ces données :

	<b>Résultats de l'inventaire de dépression de Beck pour les personnes vivant à proximité des lignes de transport (distance en 1989)</b>				
	<b>≥ 500 m</b>	<b>200-500 m</b>	<b>100-199 m</b>	<b>50-99 m</b>	<b>&lt; 50 m</b>
<b>Tous les sujets</b>	5,30	5,27	4,95	5,08	4,20
<b>Hommes</b>	4,61	4,91	4,68	4,04	4,53
<b>Femmes</b>	5,86	5,50	5,19	6,03	3,47

Toutefois, le risque de dépression majeure augmentait de 4,7 fois (CI à 95 % = 1,70 - 13,3) chez les sujets vivant à moins de 100 m d'une ligne à haute tension. Ce résultat ne s'appuyait que sur quatre femmes (3 jumelles hétérozygotes, 1 jumelle homozygote, âgées entre 30 et 60 ans). La publication n'offrait aucune autre caractéristique de ces personnes. De plus, une seule personne, la femme de 60 ans, vivait à < 50 m d'une ligne. Les lacunes de l'étude sont liées aux estimations de l'exposition et à la mauvaise classification de l'exposition. Ainsi, les auteurs soulignent qu'il existait des niveaux relativement bas d'exposition aux champs magnétiques créés par les lignes de transport. De façon générale, les niveaux de base aux maisons finlandaises sont rarement supérieurs à 0,1  $\mu$ T, alors que les jours de travail, la moyenne des champs magnétiques atteint 0,17  $\mu$ T au 50<sup>e</sup> percentile et 0,27  $\mu$ T au 75<sup>e</sup> percentile. Verkasalo et al.(1997) ont pris en compte

trois déterminants importants de la dépression, soit les événements stressants de la vie, les facteurs génétiques et les antécédents de dépression majeure, mais aucun n'explique les résultats obtenus dans l'étude. Les traits névrotiques de la personnalité n'étaient pas pris en compte, ni d'autres déterminants, comme les maladies somatiques, les médicaments ou la lumière visible. Voici les conclusions qu'il est possible de tirer de cette étude : 1) le fait de vivre dans des champs magnétiques de 50 Hz à proximité de lignes de transport électrique n'est pas associé à des modifications liées à l'apparition des symptômes dépressifs; 2) l'argument en faveur d'une dépression plus grave n'est pas évident. Un risque accru de dépression majeure a été observé, mais les cas étaient peu nombreux et les champs magnétiques étaient à peine plus élevés.

L'étude la plus récente (Bonhomme-Faivre et al., 1998) sur les symptômes psychologiques et les champs électromagnétiques à fréquence extrêmement basse est une étude menée en France sur un groupe de 13 personnes exposées à des champs électromagnétiques dans le cadre de leur travail et d'un groupe témoin de 13 sujets. Le groupe exposé travaillait au moins 8 heures par jour, depuis un à cinq ans dans un laboratoire situé au-dessus de transformateurs et de câbles à haute tension et dans des bureaux adjacents. Le groupe témoin a été choisi pour correspondre à l'âge, au sexe et à la situation socio-économique du groupe exposé et travaillait au même emplacement, mais dans des endroits qui n'étaient pas situés dans le voisinage immédiat des transformateurs ou des câbles à haute tension. Dans les bureaux adjacents au laboratoire, les champs électromagnétiques atteignaient 0,2 – 0,3  $\mu\text{T}$  au niveau du sol et 0,09 – 0,12  $\mu\text{T}$  à 1,50 m au-dessus du niveau du sol, alors qu'au laboratoire, les valeurs correspondantes atteignaient 1,2 – 6,6  $\mu\text{T}$  et 0,3 – 1,5  $\mu\text{T}$ . Les participants devaient remplir un questionnaire d'auto-évaluation qui ne semblait pas toutefois avoir été validé. Le groupe exposé a indiqué des augmentations significatives de l'intensité de certaines caractéristiques, notamment la fatigue physique, l'asthénie physique (faiblesse), la lipothymie (sensation d'évanouissement), la diminution de la libido, la mélancolie, la tendance dépressive et l'irritabilité. Dans cette petite étude, tous les troubles subjectifs (c.-à-d. les réponses à 28 questions) autres que les céphalées étaient plus élevés dans le groupe de personnes exposées et il se peut que les participants aient eu connaissance de l'objectif de l'étude.

## Études épidémiologiques connexes

Savoir si les populations vivant à proximité des lignes de transport possèdent des caractéristiques particulières et si le fait de résider dans ces paysages artificiels, avec ou sans l'apparition physique de résultats de santé précis, peut susciter des sentiments de préoccupation sont des éléments à considérer dans l'évaluation de toutes les études résumées précédemment. Peu d'études ont documenté les perceptions du public concernant les risques environnementaux de l'exposition aux lignes de transport aériennes pour la santé. Plus particulièrement, il existe peu de renseignements sur l'incidence de l'inquiétude sur la prévalence des symptômes chez les résidents vivant dans le voisinage de lignes à haute tension.

Une étude réalisée par McMahan et Meyer (1995) a évalué la prévalence de symptômes et de l'inquiétude (*worry*) chez 152 femmes de Orange County vivant soit sur une propriété adjacente aux lignes de transport, soit située à une distance d'un pâté de maisons de celles-ci.

L'emplacement, les participantes et les mesures de flux des champs magnétiques étaient les mêmes que dans l'étude (McMahan et al., 1994) décrite précédemment. Quarante-cinq pour cent des participantes étaient soit très inquiètes ou assez inquiètes relativement aux lignes de transport et 55 % étaient un peu inquiètes ou pas inquiètes du tout. Les résultats indiquaient que le niveau d'inquiétude n'avait pas d'incidence sur la prévalence des problèmes de santé chez celles qui n'habitaient pas en bordure de l'emprise. Celles résidant en bordure de l'emprise n'étaient pas plus susceptibles que celles qui vivaient à un pâté de maison de celle-ci de déclarer des problèmes de santé censément liés aux champs magnétiques (céphalées, migraines, perte d'appétit et difficulté à dormir, à se concentrer ou à s'activer) (RC 0,85, IC = 0,45 - 1,62). Cependant, le niveau d'inquiétude a eu un effet sur la prévalence des problèmes de santé censément liés aux champs magnétiques. Quant aux participantes qui résidaient en bordure de l'emprise, les plus inquiètes étaient plus susceptibles de déclarer des problèmes de santé :

	Ne résidant pas sur l'emprise		Résidant sur l'emprise	
	Sans inquiétude	Inquiétude	Sans inquiétude	Inquiétude
<b>Aucun problème</b>	41 %, n = 19	37 %, n = 11	61 %, n = 23	27 %, n = 10
<b>≥ Un problème</b>	59 %, n = 27	63 %, n = 19	40 %, n = 15	74 %, n = 28
	RC 1,21, CI à 95 % = 0,47 - 3,13		RC 4,30, CI à 95 % = 1,62 - 11,35	

La plupart des femmes (38 %) ont déclaré être préoccupées par les champs magnétiques, 11 % par le bruit, 11 % par l'aspect esthétique, 6 % par les chocs potentiels et 9 % d'entre elles se sont dites préoccupées par tous ces éléments; 5 % étaient préoccupées par d'autres facteurs et 19 % n'étaient pas préoccupées par les lignes de transport. La communication des problèmes de santé peut être plus fonction du niveau d'inquiétude concernant les lignes de transport aériennes que la proximité à celles-ci. Les limites possibles de cette étude portent sur les variables tenant à la personnalité, comme l'hypocondrie (et qui n'ont pas été évaluées), au biais de rappel et à la désirabilité sociale. L'homogénéité de la population étudiée peut également limiter la généralisation de ces résultats.

Les populations vivant à proximité des lignes de transport à haute tension subissent souvent des expositions aux champs magnétiques en milieu résidentiel supérieures à 1  $\mu\text{T}$ , et parfois supérieures à 2  $\mu\text{T}$ . Cependant, les populations étudiées dans la plupart des études épidémiologiques sur l'association entre l'exposition aux champs magnétiques en milieu résidentiel et la dépression affichent de façon caractéristique des expositions inférieures à 1  $\mu\text{T}$  et elles sont souvent inférieures à 0,5  $\mu\text{T}$ . Afin d'améliorer l'efficacité et la précision statistiques, il serait utile de comparer des populations dont l'exposition est élevée à des populations dont l'exposition est faible, plutôt que d'uniquement étudier des petites différences au sein des populations chez lesquelles l'exposition est faible. Pour y arriver, Wartenberg et al. (1993) ont mis au point une méthode informatisée pour identifier les populations vivant à proximité des

lignes de transport à haute tension. Ces populations sont susceptibles de compter un plus grand nombre de personnes exposées que la population en général. La méthode a utilisé un système informatique de géographie numérique pour surimposer l'emplacement des lignes de transport sur les données d'emplacement des îlots de recensement aux États-Unis, pour ensuite extraire les données géographiques pertinentes. L'analyse des données tirées d'une étude pilote sur les populations résidant à moins de 100 m d'un segment de 29 km d'une ligne de 230 kV au New Jersey a indiqué que, lorsque comparées à des populations des îlots de recensement à plus de 100 m de cette ligne, les populations à proximité de la ligne ont des données démographiques similaires, mais différentes en ce qui a trait aux variables liées à la perception de la valeur de leur résidence.

Bien que la présente recension n'ait pas abordé le suicide, ni n'avait le but de le faire, la dépression est la cause de plus de la moitié de toutes les tentatives de suicide et, en conséquence, son absence totale de la présente étude pourrait être perçue comme une lacune. Ce sujet sera donc quelque peu abordé, les articles publiés indiquant un modèle similaire à celui trouvé dans la documentation sur la dépression. Les articles ont été étudiés par Ahlbom (2001). Ainsi, la première étude, fondée sur 589 cas de suicides et de témoins en Angleterre, a trouvé des champs plus élevés à la résidence des cas qu'à celles des témoins (Reichmanis et al., 1979; Perry et al., 1981), mais l'étude a été critiquée pour la façon dont les sujets avaient été sélectionnés et sur la méthode d'analyse statistique. Cinq autres études de bien meilleure qualité ont été réalisées ultérieurement et quatre d'entre elles n'offrent aucun appui à la conclusion de la première étude. Deux de ces études avaient le défaut de ne présenter que des estimations d'exposition grossières (McDowall, 1986; Baris et Armstrong, 1990), mais les deux dernières études (Baris et al., 1996a, 1996b; Johansen et Olsen, 1998) s'appuyaient sur des cohortes de travailleurs de service public d'électricité mises sur pied spécialement aux fins d'étudier les champs électromagnétiques et ont utilisé des procédures d'évaluation d'exposition et de suivi relativement bonnes. La dernière étude et la plus récente (van Wijngaarden et al., 2000) consistait en une étude cas-témoin de 536 décès par suicide dans une cohorte de 138 905 travailleurs (hommes) de service public d'électricité. Elle offre quelques preuves d'une association entre les champs électromagnétiques en milieu professionnel et le suicide, particulièrement chez les travailleurs de moins de 50 ans. Cependant, la limite de cette étude était l'incapacité de tenir compte des principaux facteurs de risque pour le

suicide, notamment la consommation de drogues, les maladies mentales et le stress familial et social.

### **Plausibilité biologique : mécanismes possibles**

Le gradient de tension le plus élevé qui peut être créé à travers une membrane cellulaire par un champ de 60 Hz, tel que celui produit dans la vie de tous les jours (par des champs de 1 – 5 G (0,1-0,5 mT), créés par des sècheurs à cheveux ou des rasoirs électriques), est de l'ordre de dizaines de volts/mètre. Par comparaison, le gradient naturel des membranes cellulaires atteint environ  $10^7$  V/m. Voilà le fondement sur lequel repose le scepticisme à l'égard de toute suggestion d'un effet biologique (sans parler d'un effet pathologique) causé par les champs électromagnétiques à fréquence extrêmement basse. Wood (1993) présente une étude utile sur les mécanismes proposés.

On a constaté que les champs de 60 Hz avaient un effet sur la sortie d'ions calcium à travers les membranes cellulaires des tissus cérébraux. Bawin et Adey (1976) ont trouvé que, dans le tissu cérébral du poulet, la sortie de calcium diminuait avec l'exposition au champ électromagnétique, alors que Blackman et al. (1982) ont trouvé que la sortie de calcium augmentait, en utilisant le même type de préparation de tissus. Les réactions du cerveau de poulet semblaient assez imprécises, des combinaisons de fréquence et d'intensité particulières étant nécessaires pour l'observation. L'effet de l'exposition à un champ de 60 Hz n'est pas précisé par le résultat de Gunderson et al. (1986) selon lequel ils n'ont pu trouver de sortie de calcium dans l'épine dorsale des poulets.

Des études sur les rats ont indiqué une diminution de la production nocturne de mélatonine (Wilson et al., 1983; Reiter et al., 1988) et cette observation a mené à l'élaboration d'une hypothèse d'un mode d'action biologique exercé par les champs électromagnétiques.

La mélatonine est une hormone sécrétée par la glande pinéale située dans le cerveau. Elle est sécrétée selon un cycle circadien, les niveaux de mélatonine étant plus élevés la nuit et plus faibles le jour. Il est connu que la libération circadienne de la mélatonine a une incidence sur certaines fonctions physiologiques et qu'elle module la libération d'autres hormones. Des niveaux de mélatonine peu élevés ont été observés chez des patients déprimés (Wetterberg, 1997), mais il

n'est pas clair s'ils sont la cause de la dépression ou simplement sa conséquence. Un aspect essentiel à prendre en compte pour établir la pertinence et la validité de telles propositions serait de déterminer si la mélatonine est éliminée pendant ou après l'exposition à des champs électromagnétiques à fréquence extrêmement basse.

Des études évaluant la fonction endocrinienne après l'exposition à des champs magnétiques de 50 ou de 60 Hz en laboratoire ont été réalisées dans quatre laboratoires. Les résultats ont été principalement négatifs en ce qui a trait à l'observation d'effets pendant l'exposition. Des volontaires exposés à des champs la nuit, dans des conditions d'exposition et de lumière contrôlées, ne manifestaient aucun effet apparent sur les concentrations de mélatonine dans le sang la nuit, lorsque comparés à des sujets faisant l'objet d'une exposition fictive (Graham et al., 1996; Akerstedt et al., 1999; Selmaoui et al., 1997; Wood et al., 1998).

Un groupe hétérogène d'études ont également évalué chez l'homme la fonction endocrinienne après une exposition à des champs électromagnétiques à fréquence extrêmement basse dans l'environnement relativement non contrôlé des études épidémiologiques en milieu professionnel et résidentiel. Contrairement aux résultats négatifs des études en laboratoire, une certaine perturbation dans l'excrétion de 6-hydroxy-mélatonine sulfate (le métabolite principal et stable de la mélatonine) a été observée chez les groupes exposés dans toutes les études publiées. Les perturbations n'étaient cependant pas constantes dans les études. Les paramètres d'exposition étaient également différents d'une étude à une autre et ont inclus l'utilisation de couvertures électriques (Wilson et al., 1990) et de champs de 16,7 Hz chez des mécaniciens de chemins de fer (Pflugler et Minder, 1996), ainsi que des expositions en milieu résidentiel de 60 Hz (Davis et al., 2001, sous presse) et des expositions en milieu professionnel de 50 et 60 Hz (Burch et al., 1998, 2000; Juutilainen et al., 2000).

### **Analyse et conclusion**

Les études épidémiologiques qui se sont penchées sur la relation entre l'exposition aux champs électromagnétiques à fréquence extrêmement basse et l'apparition de symptômes dépressifs ou de la dépression ont fait face à des difficultés particulières liées à l'évaluation des expositions, à l'identification fiable des symptômes et la prise en compte des facteurs confusionnels. Ces

éléments doivent être étudiés dans toute étude épidémiologique, mais ce sujet a suscité et continue de susciter des problèmes particuliers.

Dans les études de Dowson et al. (1988) et de Poole et al. (1993), l'exposition était assimilée au fait de résider à une distance donnée d'une ligne de transport aérienne, sans qu'il y ait eu de mesures directes. Savitz et al. (1994) se sont appuyés sur la classification des emplois comme substitut à l'exposition. Dans les études de Perry et al. (1989) and McMahan et al. (1994), les mesures ont été prises à la porte d'en avant de la résidence des participants, mais les mesures réalisées dans la première étude soulevait des difficultés. Ainsi, Perry et al. (1989) rapportent des niveaux moyens de champs électromagnétiques élevés pour le groupe « non exposé » qui n'ont pas été expliqués et il semble peu probable que les effets signalés dans le « groupe exposé » puissent être dus à la très petite différence des mesures de champs (c.-à-d. 2,3 mG (0,23  $\mu$ T) dans le cas du groupe exposé et 2,1 mG (0,21  $\mu$ T) dans celui du groupe non exposé). L'étude de Broadbent et al. (1985) a tenté de réaliser une mesure cumulative de l'exposition en milieu professionnel pendant une période de deux semaines, mais les mesures étaient faibles alors que les chercheurs ne s'y attendaient pas et ont uniquement atteint le niveau de détection fiable chez une très petite proportion des sujets. Avec l'inclusion d'une des catégories d'emploi (le personnel travaillant aux lignes de transport), les auteurs s'attendaient à ce qu'un nombre beaucoup plus grand de travailleurs subissent une exposition significative. L'étude de Beale et al. (1997) constitue une autre tentative visant à obtenir une estimation d'exposition plus représentative qu'une seule mesure. Une mesure intégrée dans le temps a été réalisée dans différentes pièces de la résidence (voisinant des lignes de transport) des sujets. Dans l'étude de Bonhomme-Faivre et al. (1998), des mesures directes prises à plusieurs occasions ont permis de calculer une moyenne d'exposition hebdomadaire en milieu professionnel. Toutefois, cette étude ne rapporte aucune évaluation de l'exposition de la population témoin. Dans l'étude de Verkasalo et al. (1997), les expositions des personnes étaient des calculs basés sur l'emplacement caractéristique des conducteurs de phase sur les lignes de transport et sur la distance. Ces calculs ont donné des estimations d'exposition faibles pour les emplacements des résidences. De plus, dans toutes les études, les contributions des sources non résidentielles et non professionnelles de champs électromagnétiques à fréquence extrêmement basse et l'exposition provenant d'autres sources au sein de la résidence ont été ignorées, bien qu'elles puissent être importantes. Ainsi, aucune étude n'a été en mesure de prendre en compte le flux de champ magnétique comme grandeur vectorielle

liée au temps et, puisqu'il existe toute une gamme de sources de champs magnétiques, les évaluations d'exposition devraient idéalement prendre des nombreuses composantes en compte. Toutefois, l'erreur de classification d'exposition non différentielle aurait tendance à gauchir les estimations des risques vers l'uniformité, diminuant ainsi la possibilité d'observer les différences entre les groupes.

Les études de Dowson et al. (1988) et de Bonhomme-Faivre et al. (1998) ont le défaut de ne pas utiliser des échelles validées pour identifier les symptômes dépressifs. Dans l'étude de Perry et al. (1989), bien qu'aucune échelle de dépression validée n'ait été appliquée, les cas étaient des patients dépressifs qui avaient reçu leur congé des hôpitaux dans une région donnée, c.-à-d. qu'ils avaient fait l'objet d'un diagnostic clinique de dépression et qu'ils avaient été traités pour celle-ci. Les questionnaires sur l'état de santé général modifiés ou adaptés, y compris des résultats pour les catégories symptômes somatiques, dysfonction sociale, anxiété et dépression, qui ont été utilisés étaient le questionnaire du Middlesex Hospital (Broadbent et al., 1985) et à la fois le LCQ (*Life Changes Questionnaire*) et le GHQ (*General Health Questionnaire-28*) (Beale et al., 1997). Des échelles de dépression validées ont été utilisées dans les quatre autres études. Il s'agissait de l'inventaire de dépression de Beck (Verlasalo et al., 1997), de l'échelle de dépression du Center for Epidemiological Studies (McMahan et al., 1994; Poole et al., 1993), et à la fois du DIS (*Diagnostic Interview Survey*) et du MMPI (*Minnesota Multiphasic Personality Inventory*) (Savitz et al., 1994). Parmi ces études, Poole et al. (1993) ont comparé des sujets résidant sur des propriétés situées en bordure d'une emprise de lignes de transport à des sujets qui vivaient à une distance de celle-ci et ont trouvé un RR de 2,8 (niveau de confiance à 95 % = 1,6 – 5,1), alors que McMahan et al. (1994), faisant appel à un modèle d'étude quelque peu similaire et des mesures indiquant des niveaux de champs électromagnétiques à proximité des lignes beaucoup plus élevés que dans les propriétés situées à une distance de celles-ci, ont trouvé un RR de 0,9 (IC à 95 % = 0,5 – 1,9). L'étude de Savitz et al. (1994) était basée sur l'exposition en milieu professionnel et les auteurs n'ont trouvé aucune association en ce qui concerne les travailleurs en électricité dans leur ensemble, bien qu'il existait certaines indices d'association liés à des emplois particuliers. Enfin, Verkasalo et al. (1997) ont combiné une échelle de dépression et des données sur les champs magnétiques en milieu résidentiel appliqués au registre finlandais des jumeaux et n'ont trouvé aucune relation générale entre les niveaux estimés de champs électromagnétiques et le résultat de l'inventaire de dépression de Beck. Les auteurs ont toutefois trouvé un nombre

nettement excessif de cas de dépression majeure chez les personnes résidant à moins de 100 m des lignes de transport, bien que ce résultat ne s'appuyait que sur un très petit nombre ( $n = 4$ ).

Les études plus solides (Poole et al., 1993; McMahan et al., 1994; Savitz et al., 1994; Beale et al., 1997, Verkasalo et al., 1997) ont prévu des ajustements pour plusieurs facteurs démographiques, la classe sociale et, dans certains cas, des facteurs qui constituent des facteurs de risque usuels de la dépression ou de l'apparition de symptômes dépressifs (voir le tableau 1). L'ajustement pour la classe sociale est d'une importance particulière puisque ce facteur a été lié à une incidence accrue de dépression et que celle-ci peut être liée à l'exposition, par exemple un type de quartier ou de logement. Aucune étude ne fait cependant part d'un ajustement pour l'exposition aux hormones stéroïdes exogènes chez les femmes. La mesure dans laquelle ces ajustements ont été faits n'est pas toujours nette et certaines études ont le défaut, dans une mesure plus ou moins grande, de ne pas prendre en compte certains de ces facteurs confusionnels (voir les pages 2 et 3 ci-dessus). Il est clairement établi que la confusion peut entraîner une distorsion de la relation observée entre l'exposition et la maladie, soit en atténuant l'effet observé, soit en l'augmentant. La plupart des études décrites précédemment possèdent des petits totaux dans les catégories d'exposition plus élevée, suscitant un problème supplémentaire lié à l'ajustement pour les facteurs confusionnels. Les estimations sont donc instables avant même l'application d'ajustements pour différents facteurs. En conséquence, toute conclusion tirée en fonction des renseignements actuellement disponibles doit être provisoire, compte tenu des limites à la fois concernant l'évaluation de l'exposition et la prise en compte de biais et de facteurs confusionnels dans les populations étudiées.

En conclusion, bien que les études de Dowson et al. (1988), de Perry et al. (1989) et de Bonhomme-Faivre et al. (1998) pourraient être considérées comme étant particulièrement limitées en raison de différents problèmes et, qu'en conséquence, un poids moindre devrait leur être accordé, il n'en est pas de même en ce qui concerne l'étude de Poole et al. (1993), dans laquelle les auteurs ont trouvé un risque accru. Toutefois, puisque les cinq autres études valides (Broadbent et al., 1985; Savitz et al., 1994; McMahan et al., 1994; Beale et al., 1997; Verkasalo et al., 1997) indiquent des résultats principalement nuls, les preuves appuyant l'hypothèse selon laquelle il y a présence d'une augmentation de symptômes dépressifs à la suite d'une exposition à des champs électromagnétiques sont faibles. Si l'on inclut le suicide comme réponse extrême à la

dépression, la conclusion est alors similaire. Donc, à l'heure actuelle, la plus grande partie des études acceptables n'indiquent pas une relation entre l'exposition aux champs électromagnétiques et les effets en question sur la santé. Enfin, l'état actuel de la recherche sur les mécanismes biologiquement plausibles, notamment le rôle de la mélatonine, n'offre pas un grand appui à l'hypothèse selon laquelle l'exposition aux champs électromagnétiques à fréquence extrêmement basse constitue un facteur de risque dans la manifestation de symptômes dépressifs.

## Bibliographie

- Ahlbom, A. (2001) Neurodegenerative diseases, suicide and depressive symptoms in relation to EMF. *Bioelectromagnetics Suppl.*, **5**, S132-S143.
- Akerstedt, T., Arnetz, B., Ficca, G., Paulsson, L.-E. & Kallner, A. (1999) A 50-Hz electromagnetic field impairs sleep. *J. Sleep Res.*, **8**, 77-81.
- American Psychiatric Association (1980). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*, Third Edition. Washington DC. American Psychiatric Association.
- Asanova, T.P. & Rakov, A.I. (1972) The state of health of persons working in the electric field of outdoor 400 kV and 500 kV switchyard. Piskataway, NJ: *Inst.Electric.Electron.Engin. Power Engineering Soc.*, **Special Pub.No. 10**.
- Baris, D. & Armstrong, B. (1990) Suicide among electric utility workers in England and Wales. *Brit.J.Ind.Med.*, **47**, 788-792
- Baris, D., Armstrong, B.G., Deadman, J. & Thériault, G. (1996a) A case cohort study of suicide in relation to exposure to electric and magnetic fields among electrical utility workers. *Occup. Environ. Med.*, **53**, 17-24.
- Baris, D., Armstrong, B.G., Deadman, J. & Thériault, G. (1996b) A mortality study of electrical utility workers in Québec. *Occup. Environ. Med.*, **53**, 25-31.
- Bawin, S.M. & Adey, W.R. (1976) Sensitivity of calcium binding cerebral tissue to weak environmental electrical fields oscillating at low frequency. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **73**, 1999-2003.
- Beale, I.L., Pearce, N.E., Conroy, D.M., Henning, M.A. & Murrell, K.A. (1997) Psychological effects of chronic exposure to 50 Hz magnetic fields in humans living near extra-high-voltage transmission lines. *Bioelectromagnetics*, **18**, 584-594.
- Blackman, C.F., Benane, S.G., Kinney, L.S., Joines, W.T. & House, D.E. (1982). Effects of ELF fields on calcium-ion efflux. *Radiat. Res.*, **92**, 510-520.
- Bonhomme-Faivre, L., Marion, S., Bezie, Y., Auclair, H., Fredi, G. & Hommeau, C. (1998) Study of human neurovegetative and hematologic effects of environmental low-frequency (50-Hz) electromagnetic fields produced by transformers. *Arch. Environ. Health*, **53**, 87-92.
- Broadbent, D.E., Broadbent, M.H.P., Male, J.C. & Jones, M.R.L. (1985) Health of workers exposed to electric fields. *Brit. J.Ind.Med.*, **42**, 75-84.
- Burch, J.B., Reif, J.S., Yost, M.G., Keefe, T.J. & Pitrat, C.A. (1998) Nocturnal excretion of a urinary melatonin metabolite among electric utility workers. *Scand. J. Environ. Health*, **24**, 183-189.

Burch, J.B., Reif, J.S., Noonan, C.W. & Yost, M.G. (2000) Melatonin metabolite levels in workers exposed to 60-Hz magnetic fields: work in substations and with 3-phase conductors. *J. Occup. Environ. Med.*, **42**, 136-142.

Crown, S. & Crisp, A.H. (1966) A short clinical diagnostic self-rating scale for psycho-neurotic patients. *Br. J. Psychiatry*, **112**, 917-923.

Davis, S., Kaune, W.T., Mirick, D.K., Chu Chen, M.S. & Stevens, R.G. (2001). Residential magnetic fields, light-at-night, and nocturnal urinary 6-hydroxymelatonin in women. *Am.J.Epidemiol.*, (in press).

Dowson, D.I., Lewith, G.T., Cambell, M., Mullee, M.A. & Brewster, L.A. (1988) Overhead high-voltage cables and recurrent headache and depressions. *The Practitioner*, **232**, 435-436.

Goldberg, D. & Williams, C. (1988). A user's guide to the General Health Questionnaire. Berkshire: NFER Nelson.

Graham, C., Cook, M.R., Riffle, D.W., Gerkovich, M.M. & Cohen, H.D. (1996) Nocturnal melatonin levels in human volunteers exposed to intermittent 60 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics*, **17**, 263-273.

Gundersen, R., Greenebaum, B. & Goodman, E. (1986) Effects of 60-Hz electromagnetic fields on calcium efflux and neurotransmitter release. *Tech. Rept. for the New York State Power Lines Project*.

Imaida, K; Hagiwara, A; Yoshino, H; Tamano, S; Sano, M; Futakuchi, M; Ogawa, K; Asamoto, M; Shirai, T (2000) Inhibitory effects of low doses of melatonin on induction of preneoplastic liver lesions in a medium-term liver bioassay in F344 rats: relation to the influence of electromagnetic near field exposure *Cancer Lett.*, **155**, 105-114

Johansen, C. & Olsen, J.H. (1998) Mortality from amyotrophic lateral sclerosis, other chronic disorders, and electric shocks among utility workers. *Am.J.Epidemiol.*, **148**, 362-368.

Juutilainen, J., Stevens, R.G., Anderson, L.E., Hansen, N.H., Kilpelainen, M., Kumlin, T., Laitinen, J.T., Sobel, E. & Wilson, B.W. (2000) Nocturnal 6-hydroxymelatonin sulfate excretion in female workers exposed to magnetic fields. *J. Pineal Res.*, **28**, 97-104.

Knave, B., Gamberale, F., Bergstrom, S., Birke, E., Iregren, A., Kolmodin-Hedman, B. & Wennberg, A. (1979) Long-term exposure to electric fields – a cross-sectional epidemiological investigation of occupationally exposed workers in high-voltage substations. *Scand.J.Work Environ,Health*, **5**, 115-125.

Lindgren, M. Gustavsson, M., Hamnerius, Y. & Galt, S. (2001) ELF magnetic fields in a city environment *Bioelectromagnetics*, **22**, 87-90.

McDowall, M.E. (1986) Mortality of persons resident in the vicinity of electricity transmission facilities. *Br.J.Cancer*, **53**, 271-279.

- McMahan, S., Ericson, J. & Meyer, J. (1994) Depressive symptomatology in women and residential proximity to high-voltage transmission lines. *Am.J.Epidemiol.*, **139**, 58-63.
- McMahan, S. & Meyer, J. (1995) Symptom prevalence and worry about high voltage transmission lines. *Environ.Res.*, **70**, 114-118.
- Paneth, N. (1993) Neurobehavioral effects of power frequency electromagnetic fields. *Environ. Health Pers.* **101**, **Suppl. 4**, 101-106.
- Perry, F.S., Reichmanis, M., Marino, A.A. & Becker, R.O. (1981) Environmental power frequency magnetic fields and suicide. *Health Phys.*, **41**, 267-277.
- Perry, S., Pearl, L. & Binns, R. (1989) Power frequency magnetic field; depressive illness and myocardial infarction. *Pub Health*, **103**, 177-180.
- Pflugger, D.H. & Minder, C.E. (1996) Effects of exposure to 16.7 Hz magnetic fields on urinary 6-hydroxymelatonin sulfate excretion of Swiss railway workers. *J. Pineal Res.*, **21**, 91-100.
- Poole, C., Kavet, R., Funch, D.P., Donelan, K., Charry, J.M. & Dreyer, N.A. (1993) Depressive symptoms and headaches in relation to proximity of residence to an alternating-current transmission line right-of-way. *Am.J.Epidemiol.*, **137**, 318-330.
- Reichmanis, M., Perry, F.S., Marin, A.A. & Becker, R.O. (1979) Relationship between suicide and the electromagnetic field of overhead power lines. *Physiol.Chem.Phys.*, **11**, 395-404.
- Reiter, R.J., Anderson, L.E., Buschbom, R.L. & Wilson, B.W. (1988) Reduction in the nocturnal rise in pineal melatonin levels in rats exposed to 60-Hz electric fields in utero and for 23 days after birth. *Life Sci.*, **42**, 2203-2206.
- Savitz, D.A., Boyle, C.A. & Holmgreen, P. (1994) Prevalence of depression among electrical workers. *Am J Ind Med.* **25**, 165-176.
- Selmaoui, B., Lambrozo, J. & Touitou, Y. (1996) Magnetic fields and pineal function in humans: evaluation of nocturnal acute exposure to extremely low frequency magnetic fields on serum melatonin and urinary 6-sulfatoxymelatonin circadian rhythms. *Life Sci.*, **58**, 1539-1549.
- Verkasalo PK, Kaprio J, Varjonen J, Romanov K, Heikkila K, Koskenvuo M (1997) Magnetic fields of transmission lines and depression. *Am J Epidemiol* ,146, 1037-1045
- Vyalov, A.M. (1967) Physiological and hygienic assessment of labour conditions at 400-500 kV outdoor switchyards. Piskataway, NJ: *Inst.Electric.Electron.Engin. Power Engineering Soc.*, **Special Pub.No. 10**.
- Wartenberg, D., Greenberg, M. & Lathrop, R. (1993) Identification and characterization of populations living near high-voltage transmission lines: a pilot study. *Environ. Health Pers.*, **101**, 626-632.

- Weissman, M.M., Bland, R.C., Canino, G.J., Faravelli, C., Greenwald, S., Hwu, H.-G, Joyce, P.R., Karam, E.G., Lee, C.-K., Lellouch, J., Lépine, J.-P., Newman, S.C., Rubio-Stipec, M., Wells, J.E., Wickramaratne, P.J., Wittchen, H.-U. & Yeh, E.-K. (1996) Cross-national epidemiology of major depression and bipolar disorder. *JAMA*, **276**, 293-299.
- Wertheimer, N. & Leeper, E. (1979) Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am.J.Epidemiol.*, **109**, 273-284.
- Wetterberg, L. (1997). Light and melatonin in humans. In, Stevens, R.G., Eilson, B.W. & Anderson, L.E. (Eds.) *The melatonin hypothesis*, Battelle Press, Columbus, OH, USA, pp 233-265.
- Wilson, B.W. (1988) Chronic exposure to ELF fields may induce depression. *Bioelectromagnetics*, **9**, 195-205.
- Wilson, B.W, Anderson, L.E., Hilton, D.I. & Phillips, R.D. (1983) Chronic exposure to 60-Hz electric fields: effect on pineal function in the rat. *Bioelectromagnetics*, **2**, 371-380.
- Wilson, B.W., Wright, C.W., Morris, J.E., Buschbom, R.L., Brown, D.P., Miller, D.L., Sommers-Flannigan, R. & Anderson, L.E. (1990) Evidence for an effect of ELF electromagnetic fields on human pineal gland function. *J. Pineal Res.*, **9**, 259-269.
- van Wijngaarden, E., Savitz, D.A., Kleckner, R.C., Cai, J. & Loomis, D. (2000) Exposure to electromagnetic fields and suicide among electric utility workers: a nested case-control study. *Western J. Med.*, **173**, 94-100
- Wood, A.W. (1993) Possible health effects of 50/60 Hz electric and magnetic fields: review of proposed mechanisms. *Austral. Physic. Eng. Sci. Med.*, **16**, 1-21.
- Wood, A.W., Armstrong, S.M., Sait, M.L., Devine, L. & Martin, M.J. (1998). Changes in human plasma melatonin profiles in response to 50 Hz magnetic field exposure. *J. Pineal Res.*, **25**, 116-127.

**\*Tableau 1. Résumé des caractéristiques et des résultats des études sur la relation entre les champs électromagnétiques et la dépression.**

Référence	Base de l'étude et identification des sujets	Exposition	Nombre	RR (niveau de confiance à 95 %)	Ajustements
Broadbent et al., 1984 Angleterre et Pays de Galles Étude transversale	Travailleurs affectés au fonctionnement et à l'entretien de lignes de transport et de postes de distribution dont la tension s'élevait à 11, 33, 66, 132, 275 et 400 kV, dans 4 secteurs de la Electricity Generating Board.  Le questionnaire a été adapté à partir de celui du MH <sup>A</sup> , et comportait des questions sur la dépression, l'anxiété, les symptômes d'obsession et les symptômes somatiques. Taux de réponse de 90 %.	Dosimètres Deno miniatures portés sur la partie supérieure du bras pendant deux semaines (exposition intégrée) et exposition estimée.  Une lecture du dosimètre supérieure à 6,6 kV <sup>m</sup> <sup>-1</sup> était considérée comme une exposition.	28 personnes exposées  259 personnes non exposées	Aucune corrélation entre la dépression, l'anxiété, les symptômes d'obsession, les symptômes somatiques et l'exposition intégrée ou estimée (pendant six mois et 15 ans avant l'étude, séparément) dans l'ensemble de la population ou uniquement dans le groupe exposés.	
Dowson et al., 1988 Angleterre Étude transversale	Personnes résidant à proximité d'une ligne de transport de 132 kV et personnes résidant à une distance de 3 milles [4,8 km] de celle-ci.  Questionnaire sur la dépression. Taux de réponse de 60 %.	Distance entre la résidence et la ligne de transport aérienne.	132 personnes à proximité de la ligne  94 personnes éloignées de la ligne	Forte association entre la dépression et la proximité à la ligne de transport aérienne; 9 personnes sur 132 par opposition à 1 personne sur 94	
Perry et al., 1989 Angleterre Étude cas-témoin	Personnes ayant reçu leur congé de l'hôpital avec un diagnostic de dépression (Angleterre); témoins sélectionnés parmi la liste électorale.	Mesures prises à la porte d'en avant.  Mesure moyenne de 2,3 mG chez les cas et de 2,1 mG chez les témoins.	356 patients ayant reçu leur congé  356 témoins	Coefficient de régression significatif pour les cas ( $P < 0,03$ ), test unilatéral.	Secteur, distance, heure du jour.
Poole et al., 1993 États-Unis Étude transversale	Interview avec un échantillon de personnes résidant dans huit villes en bordure d'une emprise de lignes de transport.  Utilisation de l'échelle de dépression du CES* pour l'évaluation des symptômes dépressifs. Taux de réponse de 69 %.	Distance de la ligne de transport : proche par opposition à éloignée.  Proche : propriétés limitrophes ou desquelles les pylônes étaient visibles.	88 personnes résidant près de la ligne  291 personnes résidant à distance de la ligne	2,8 (1,6 - 5,1)	Âge, sexe, niveau de scolarité, état civil, mesures d'attitudes et d'opinions.
Savitz et al., 1994 États-Unis Étude transversale	Anciens combattants (hommes) ayant servi dans l'armée américaine pour la première fois entre 1965 et 1971.  Utilisation de deux inventaires de diagnostics : le DIS ( <i>Diagnostic Interview Schedule</i> ) et le MMPI ( <i>Minnesota Personality Inventory</i> ). Taux de réponse de 60 %.	L'emploi actuel à titre de travailleur en électricité a servi de base à la classification de l'exposition.  Durée d'emploi.	183 travailleurs en électricité  3 861 travailleurs ne travaillant pas dans ce domaine	0,9 (0,5 - 1,7) pour la dépression à vie	Race, état civil, niveau de scolarité, consommation d'alcool et durée d'emploi.
McMahan et al., 1994 États-Unis Étude transversale	Un échantillon de femmes résidant à proximité d'une ligne de transport et à un pâté de maisons de la ligne à Orange County, en Californie.  Les symptômes dépressifs ont été identifiés au moyen d'un questionnaire et de l'échelle de dépression du CES*.	Mesures EMDEX** prises à la porte d'en avant. Moyenne pour les maisons situées en bordure de l'emprise : 4,86 mG et pour celles situées à un pâté de maisons de là : 0,68 mG.	76 personnes résidant à proximité de la ligne  76 personnes résidant à un pâté de maisons de là	0,9 (0,5 - 1,9)	Uniquement des femmes.

Référence	Base de l'étude et identification des sujets	Exposition	Nombre	Résultats (niveau de confiance, 95 %)	Ajustements
Beale et al., 1997 Nouvelle-Zélande Étude transversale	Population vivant à proximité de lignes de transport pendant au moins 6 mois, personnes âgées entre 18 et 70 ans.  Maisons dont les densités de flux de champs magnétiques de 50 Hz étaient supérieures à 0,5 µT et inférieures à 0,3 µT au portillon.  Outils administrés : GHQ <sup>‡</sup> (y compris les résultats pour la dépression majeure, l'anxiété, la dysfonction sociale), questionnaires sur les événements de la vie et du projet sur les lignes de transport, avec des tests sur les capacités de concentration et la mémoire.  53 % des ménages invités ont accepté de participer.	Mesures prises à 3 endroits dans les pièces où les sujets disaient passer tous les jours en moyenne 1 h ou plus. L'exposition moyenne et les indices d'exposition intégrée dans le temps (TI) ont été calculés pour chaque sujet.  Pour 38 sujets, des mesures répétées ont été prises pour s'assurer de leur représentativité.  Le champ géomagnétique local a été mesuré à 6 endroits (54,3 - 54,7 µT).	540 sujets en quintiles selon l'exposition TI :  Q Exp. moy. Exp TI 1 0,057 0,640 2 0,209 2,756 3 0,392 5,333 4 0,766 10,579 5 1,944 30,761  Exposition moyenne exprimée en µT, exposition intégrée dans le temps exprimée en µT-heure	Coefficients de régression ajustés pour l'âge, le sexe, la situation socio-économique et les événements de vie, et ajustés au surplus en fonction de l'effet perçu des lignes de transport (LT) sur la santé des sujets et les valeurs P :  GHQ Ajustés Aj. + effet perçu des LT Dépression 0,0026 0,0016, P < 0,12 Anxiété 0,0057 0,0044, P < 0,027 Social 0,00053 -0,00037, P < 0,69 Somatique 0,0037 0,0022, P < 0,069 Total 0,0060 0,0035, P < 0,029	
Verkasalo et al., 1997 Finlande Étude transversale	Jumeaux finlandais qui avaient répondu au IDB <sup>&amp;</sup> en 1990, combinés à l'étude de cohorte finlandaise sur les lignes de transport.  Taux de réponse de 77,5 %.	Estimations du champ magnétique résidentiel créé par les lignes de transport près des résidences. Distance de la ligne en 1989. Champ magnétique en 1989 Distance moyenne de 1970 à 1989  Champ magnétiques-années de 1970 à 1989	N Distance de la ligne 11 532 >500m 147 200-500m 215 100-199m 127 50-99m 42 <50m	Résultat IDB non relié à l'exposition. Ajustements de la moyenne des résultats IDB pour le sexe, la classe sociale, le niveau de scolarité, l'état civil, le travail à l'extérieur, le travail de jour régulier, l'emploi rémunéré, le tabagisme actuel, la consommation abusive d'alcool, le nombre de pertes de conscience liées à l'alcool au cours de la dernière année, l'échelle des événements de la vie et les échelles de soutien social.	
Bonhomme-Faivre et al., 1998 France Étude transversale	Travailleurs dans un laboratoire et des bureaux adjacents situés au-dessus de transformateurs et de câbles à haute tension (13 kV) et au-dessus d'une génératrice pendant au moins 8 h/j pendant 1 à 5 ans et témoins de la même entreprise travaillant au même emplacement que les personnes exposées.  Questionnaire d'auto-évaluation des troubles neurovégétatifs potentiels.	Champs électromagnétiques de 50 Hz mesurés à toutes les 3 h pendant le fonctionnement des transformateurs; 3 mesures orthogonales; calcul de l'exposition moyenne pendant une semaine.  Champ de 50 Hz mesuré en µT au niveau du plancher (PL) et à 1,5 m au-dessus du PL : dans : Lab. Bur. adjacents PL 1,2 – 6,6 0,2 – 0,3 1,5m 0,3 – 1,5 0,09 - 0,12	13 personnes exposées 2 sujets travaillaient 8 h/j dans le lab., 11 travaillaient dans le lab. et dans les bur. adjacents  13 témoins au même emplacement, mais travaillant uniquement dans les bureaux.	Augmentation significative de ce qui suit après 1 an d'exposition : Tendance dépressive Mélancolie Irritabilité Fatigue physique Asthénie physique Lipothymie Diminution de la libido	Correspondance des témoins au niveau de la situation socio-économique, du sexe et de l'âge.

<sup>^</sup> - Middlesex Hospital;

<sup>\*</sup>CES, Center for Epidemiological Studies;

<sup>\*\*</sup>EMDEX, dosimètre numérique électrique et magnétique portatif;

<sup>&</sup>IDB, inventaire de dépression de Beck;

<sup>‡</sup>GHQ – General Health Questionnaire