

# Champs Electromagnétiques EBF et santé

## - deuxième partie –

### Les études épidémiologiques

#### 1. L'étude pionnière de Wertheimer

L'étude de Wertheimer est publiée en 1979 et va entraîner de nombreuses recherches, mais compte tenu des constantes de temps propres à l'épidémiologie, il va s'écouler quelques années (presque 10 ans en fait) avant que d'autres études sur le même sujet ne soient achevées : comme on l'a vu dans le bilan que fait l'OMS en 1984<sup>1</sup>, les résultats épidémiologiques publiés à l'époque sont encore considérés comme préliminaires et nécessitent d'être répliqués par d'autres études.

L'étude Wertheimer porte sur le voisinage des réseaux électriques et un excès de risque de leucémies et cancers chez l'enfant. La classification des expositions se fait en effet sur la base d'un code de classement à 4 catégories, fonction de l'importance des réseaux électriques, ce que les auteurs appellent le « *wiring code* » (code de câblage) :

Catégorie		Exemples
UG / VLCC	underground / very low current configuration	Réseaux enterrés, Extrémité de ligne basse tension
LCC	low current configuration	Milieu de ligne basse tension, alimentant plusieurs résidences
HCC	high current configuration	Ligne moyenne tension (primary line aux USA)
VLCC	very high current configuration	Ligne moyenne tension à gros conducteur Ligne haute tension

Note : les exemples donnés ne caractérisent que l'importance du réseau, mais il y a aussi des critères de distance que l'on a pas reproduits ici pour simplifier le propos

Ce code est complexe car il est basé sur une appréciation visuelle de l'importance des réseaux. Or les réseaux électriques en Amérique du Nord sont bien moins standardisés qu'en Europe, avec beaucoup plus de conducteurs aériens (voir illustration ci-dessous) et par ailleurs, le système de distribution électrique basse tension y est différent (système 110 volts bi-phasé avec neutre à la terre). Ce code de câblage est donc spécifique à l'Amérique du nord et ne peut pas être transposé ailleurs.



<sup>1</sup> Voir le document support de la partie 3.1 du MOOC « historique »

Même si aucune évaluation directe du champ magnétique n'est réalisée, l'intitulé des catégories fait référence au courant, donc au champ magnétique. De fait, les études épidémiologiques qui vont suivre vont creuser cette hypothèse, mais avec un certain délai et il faudra grosso modo attendre la fin des années 80 pour que soient publiées les différentes études lancées de par le monde suite à celle Wertheimer.

Les pays leader en la matière sont ceux d'Amérique du nord (puisque c'est de là qu'est parti le débat) et en Europe, les pays scandinaves (qui ont d'excellents registres de population) et anglo-saxons, et notamment le Royaume-Uni qui a été particulièrement actif sur les CEM dans les années 2000.

Ce long délai entre l'étude pionnière et celles qui ont suivi est intrinsèque aux études épidémiologiques et aussi lié au fait qu'il faut construire toute une méthodologie pour l'évaluation des expositions : en effet, l'étude Wertheimer observe une association avec certains cancers et les réseaux électriques et derrière l'association se pose donc la question du facteur explicatif sur cette influence des réseaux électriques.

C'est, comme on l'a expliqué précédemment, le champ magnétique apparaît être la seule piste plausible parmi les facteurs physiques. Une fois cette hypothèse formulée, se pose le problème technique de l'évaluation des expositions : comment évaluer avec précision sur une longue période passée l'exposition des sujets au champ magnétique ?

## 2. La question de l'évaluation des expositions

Pour pouvoir suivre et enregistrer l'exposition d'une personne sur toute une journée (voire plus), il faut un appareil compact, léger, simple d'emploi (il faut qu'il fonctionne en automatique) et avec une bonne autonomie. Au début des années 1980, de tels appareils n'existent tout simplement pas. Par ailleurs, une mesure n'est pas suffisante, encore faut-il savoir l'interpréter et contrôler d'éventuels biais.

*Par exemple, si on utilise sur une journée un appareil porté près du corps qui mesure et enregistre une valeur de CEM toutes les x secondes, il y a certaines périodes de la journée (sommeil, toilette, activités sportives, etc. ) où il faudra le poser quelque part, et il faut donc savoir où et quand car à ces moments, l'appareil ne mesure plus l'exposition de l'individu.*

Pour contrôler la validité des mesures, il est donc nécessaire de faire en parallèle un suivi d'activité aussi précis que possible. C'est faisable avec un adulte volontaire et motivé, mais avec un enfant, on se doute bien que ce n'est pas si simple. Il faut aussi tenir compte du fait que réaliser de bonnes mesures prend du temps et consomme d'importantes ressources.

*Par exemple, si on utilise sur une journée un appareil enregistreur, cela impose deux visites sur place pour le technicien : la première pour déposer le matériel de mesure et expliquer son fonctionnement, la deuxième pour récupérer le matériel et les données, y compris le questionnaire d'activité qu'il faudra contrôler sur place (s'il est incomplet ou qu'on a des questions supplémentaires, il faut réagir au plus vite quand les souvenirs sont encore frais).*

En pratique, des compromis vont donc être faits et si quelques rares études épidémiologiques ont fait des mesures personnelles, la plupart vont contourner la difficulté de l'évaluation des expositions avec trois approches possibles<sup>2</sup> :

- Faire des [mesures ponctuelles](#) dans des lieux représentatifs, typiquement les pièces de vie et les chambres des résidences des sujets de l'étude,
- Utiliser des [indicateurs indirects d'exposition](#) : c'est typiquement ce que fait le « *wiring code* ». Un autre indicateur utilisé dans beaucoup d'études est celui de la distance aux lignes à haute tension.
- Faire une [évaluation calculée](#) de l'exposition résidentielle à partir de la distance aux lignes, de la connaissance de leur géométrie et du courant moyen qui passe dedans.

---

<sup>2</sup> Certaines études ont utilisé plusieurs indicateurs d'exposition différents

Chaque méthode a ses avantages et inconvénients :

	Avantages	Inconvénients
Mesures individuelles	Prise en compte de toutes les sources d'exposition Possibilité de croiser les mesures avec le questionnaire d'activités, ce qui permet d'associer les expositions et les activités	Biais possible lorsque l'appareil de mesure n'est pas porté au corps Nécessite du matériel spécifique et des ressources (plusieurs visites sur site nécessaires) Nécessite la participation active du sujet Mesures sur une durée limitée (typiquement 24 heures)
Mesures ponctuelles	Relativement faciles à mettre en œuvre	Nécessite des ressources (visite sur site d'une équipe technique) Nécessite la participation active du sujet Ne prend en compte qu'un nombre limité de sources d'exposition
Indicateur indirect ( <i>wiring code</i> ou distance aux lignes)	Facile à mettre en œuvre Non intrusif – ne nécessite pas de participation des sujets (donc pas de problème pour constituer un échantillon témoin)	Corrélation souvent médiocre avec l'exposition aux CEM Ne prend en compte que les sources de champs couvertes par l'indicateur (typiquement les réseaux électriques)
Exposition calculée	Relativement facile mais laborieux Evaluation sur le long terme si les données de transit dans les ouvrages sont disponibles. Permet de remonter sur plusieurs années. Non intrusif – ne nécessite pas de participation des sujets	Nécessite une bonne connaissance des données des réseaux électriques (données descriptives des lignes et données de transit dans les lignes) Ne prend en compte que les réseaux et ignore toutes les autres sources

Pour l'épidémiologiste, un des avantages principaux du milieu professionnel est de trouver de [fortes expositions](#) : on a vu en effet qu'en toxicologie, le cas usuel est la relation dose-réponse, autrement dit quand on augmente l'exposition à un facteur délétère, l'effet sanitaire augmente. Ainsi donc si les CEM ont un effet sanitaire, on devrait logiquement observer davantage de cas des maladies suspectées parmi les professionnels exposés.

En milieu professionnel, les difficultés de l'évaluation de l'exposition sont comparables à celles du milieu résidentiel et on va aussi trouver des méthodes comparables (mesures, calculs, indicateurs indirects) pour le faire. Il y a cependant une difficulté supplémentaire et elle est de taille : on va en effet être amené à faire cette évaluation sur toute une carrière professionnelle, donc plusieurs décennies. Le recueil de données peut vite devenir inextricable si les sujets d'étude ont exercé plusieurs métiers au sein de différentes compagnies, raison pour laquelle la plupart des études épidémiologiques sont menées sur des populations exerçant la même profession tout au long de leur carrière ou au sein de compagnies avec des populations d'employés traditionnellement stables (par exemple de grandes compagnies de service public dans le domaine des transports, énergies, télécommunications ... etc.).

Dans la plupart des cas, le suivi de carrière est en premier lieu analysé par [l'intitulé des postes](#) occupés. On peut ensuite évaluer l'exposition pour chacun des postes (mesures, enregistrements), et à partir de cette évaluation et du déroulement de carrière (nombres d'années à tel ou tel poste) on peut donc faire une analyse globale de l'exposition professionnelle de chaque sujet. Néanmoins il y a un certain nombre de difficultés : sous un même intitulé de poste, on peut avoir une grande variété d'activités. Par ailleurs, on évalue l'exposition des postes de travail actuels mais, sous le même intitulé, la nature du travail peut avoir considérablement varié en 10, 20 et a fortiori 30 ans. L'extrapolation des données actuelles d'exposition doit donc se faire au cas par cas et avec précaution. On l'aura compris : il faut là aussi du temps, de la méthode et des ressources.

Au final, l'exposition des sujets est évaluée par une valeur exprimée en microTesla ( $\mu\text{T}$ ). Par exemple des mesures réalisées toutes les minutes dans un lieu de vie seront résumées par un certain nombre de descripteurs statistiques. Le plus utilisé est la valeur moyenne (qui peut être arithmétique ou géométrique) mais on peut aussi utiliser les quartiles<sup>3</sup> de la série de mesures.

On trouve aussi des indicateurs d'exposition dite « cumulée » (dans les études sur l'exposition professionnelle) dans laquelle on « empile » des moyennes (ou médianes) annuelles, ce qui donne des  $\mu\text{T-an}$  : être exposé à 2  $\mu\text{T}$  en moyenne pendant 3 ans équivaut alors à la même exposition qu'être exposé à 0,5  $\mu\text{T}$  en moyenne pendant 12 ans, à savoir 6  $\mu\text{T-an}$ .

Attention toutefois, cette présentation est trompeuse car elle laisse à penser que l'exposition au champ magnétique EBF peut être assimilée à une dose, qui se cumule au cours du temps. Or cette hypothèse n'est pas étayée scientifiquement : on rappelle qu'aucun mécanisme d'action à long terme n'a pu être scientifiquement établi, ce qui - évidemment - ne permet pas de le caractériser en terme de relation dose-effet. De même, aucune relation dose-effet n'a été mise en évidence par les études épidémiologiques.

### 3. Ou en est-on ?

#### 3.1 La recherche tous azimuts des années 80 et 90

Le questionnement initié par l'étude de Wertheimer en 1979 trouve un large écho auprès du public et des média nord-américains. Il s'étend en quelques années à l'ensemble des pays développés. Il faut dire qu'on même moment, un déferlement de nouvelles technologies bouscule le monde du travail, avec notamment le déploiement accéléré des postes de travail informatiques, sur lequel on s'interroge beaucoup à l'époque : maux de tête, vertiges, fatigue, fausses couches ... on accuse de tous les maux les « nouvelles » technologies.



Dans le questionnement autour de ces nouvelles technologies, on trouve évidemment l'exposition aux champs électromagnétiques. Comme on le sait, la question va encore connaître de nouveaux développements à partir des années 1990 et 2000 quand va émerger puis déferler la téléphonie mobile. Même s'il s'agit en l'occurrence de fréquences très différentes du 50 Hz, l'idée de la « pollution électromagnétique » commence à circuler.

Ceci explique qu'au-delà de l'interrogation épidémiologique autour des cancers de l'enfant, la recherche sur les effets sanitaires des champs magnétiques EBF a regardé beaucoup d'effets potentiels : troubles du sommeil, de l'humeur, de la mémoire, problèmes de reproduction (fécondité, fausses couches, malformations, prématurité), maladies cardiovasculaires, maladies neurodégénératives, cancers, etc.

---

<sup>3</sup> Par exemple le quartile 25% correspond à la valeur frontière entre les 25 % plus faibles valeurs et les 75 % les plus fortes. Le quartile 50 % est la médiane : il coupe la série en deux moitiés égales (50 % des valeurs au dessus, 50 % en dessous)

Aujourd'hui la plupart de ces axes de recherche ne sont plus actifs : aucune étude épidémiologique ni expérimentale n'est venue soutenir l'hypothèse d'un effet sanitaire du champ magnétique vis-à-vis de ces maladies. Les seules exceptions sont les maladies neurodégénératives (pour une faible part), et la leucémie infantile, qui reste aujourd'hui la principale question sanitaire encore ouverte à l'issue de 4 décennies de recherche.

Avant de regarder de plus près ce dossier de la leucémie, regardons par exemple ce que le SCENIHR<sup>4</sup> dit des études sur les CEM EBF et les maladies neurodégénératives et la reproduction dans son rapport de 2015 (*Executive Summary*, page 15) :

*Epidemiological studies do not provide convincing evidence of an increased risk of neurodegenerative diseases, including dementia, related to ELF MF exposure.*

*Furthermore, they show no evidence for adverse pregnancy outcomes in relation to ELF MF (...) Recent results do not show that ELF fields have any effect on the reproductive function in humans.*

Traduction proposée :

*Les études épidémiologiques n'apportent pas d'éléments convaincants en faveur d'un risque accru de maladies neurodégénératives, y compris la démence sénile, en relation avec l'exposition au champ magnétique EBF.*

*De plus, elles ne montrent aucune preuve d'évolution néfaste de la grossesse en relation avec le champ magnétique EBF (...) Les résultats récents ne montrent pas que les champs EBF aient le moindre effet sur la fonction reproductive chez l'humain.*

La principale question reste donc la leucémie. Où en est-on ?

## 3.2 Les leucémies chez l'enfant

### 3.2.1 Des résultats disparates

Les principales études ont porté sur les enfants, puisque c'est de là qu'est parti le débat, et sur les expositions professionnelles. Les quelques études épidémiologiques sur l'adulte en milieu résidentiel n'ont montré aucune association ; cette piste de recherche a rapidement été abandonnée.

A partir de la fin des années 1980, les publications ont été nombreuses avec à ce jour une centaine d'études chez l'enfant et plus du double chez l'adulte en milieu professionnel. C'est un effort de recherche exceptionnel.

Tout au long de ces années, certaines des études épidémiologiques sur l'enfant vont confirmer l'association, d'autres non. Autre difficulté, certaines études voient une association quand l'exposition est estimée (par exemple par le *wiring code* de Wertheimer), mais pas quand elle est calculée ou mesurée. Dans d'autres c'est l'inverse. Il n'y a donc pas de résultat clair, mais une association est tout de même observée dans environ la moitié des études.

Par ailleurs, les incertitudes statistiques sont fortes : on parle en effet de maladies rares (fort heureusement) et d'expositions rares. Ainsi, on estime que le nombre de personnes dans la catégorie la plus exposée<sup>5</sup> est de l'ordre de 0,2 à 0,5 % de la population (chiffres issus des études épidémiologiques européennes).

---

<sup>4</sup> SCENIHR : *Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks*. C'est un comité scientifique régulièrement sollicité par les autorités européennes pour produire des avis scientifiques sur les nouvelles questions sanitaires. Il s'est prononcé à 3 reprises sur les CEM (2007, 2009, 2015).

Lien vers le rapport SCENIHR 2015 : [https://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenih\\_r\\_o\\_041.pdf](https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_041.pdf)

<sup>5</sup> Depuis la publication des méta-analyses des années 2000 (voir chapitre 3.2.2), la catégorie d'exposition la plus élevée est celles des expositions supérieures à 0,4 µT en moyenne sur 24h



Maladies rares, expositions rares... Au final, le nombre de « cas exposés » des études épidémiologiques reste très faible, même avec un grand effectif initial. Par exemple, dans l'étude française GEOCAP publiée en 2013, sur un effectif de 2700 malades, 9 seulement habitaient à moins de 50 m des lignes à très haute tension, soit 0,3 %. Dans l'étude anglaise DRAPER publiée en 2005 c'est encore moins. Difficile donc d'y voir clair avec de si petits nombres : même quand une étude observe une association statistiquement significative, c'est toujours en limite<sup>6</sup>, et il n'est pas rare qu'il suffise d'un « cas exposé » en plus ou en moins pour changer la significativité des résultats. Bref, on est aux limites de discernement de la science statistique.

### 3.2.2 Le tournant des années 2000 : les méta-analyses

Pour tenter d'y voir plus clair, et lever cette faiblesse statistique, il faut donc travailler sur de plus grands effectifs. Comme on ne peut évidemment pas augmenter le nombre de cas par pays, la solution est de regrouper les études comparables menées dans différents pays : c'est ce qu'on appelle les méta-analyses. Attention, faire une méta-analyse, ce n'est pas faire une simple addition : la méthodologie varie d'une étude à l'autre, notamment au niveau de l'évaluation de l'exposition, et il y a donc un très gros travail pour rendre cohérentes les données des différentes études et les exploiter globalement.

*Par exemple certaines études prennent en compte le domicile de l'enfant au moment du diagnostic, d'autres au moment de la naissance. Autre exemple : on a vu qu'il y avait différentes manières d'évaluer l'exposition, et même pour les études sur les expositions mesurées, on peut avoir des indicateurs différents : par exemple la moyenne arithmétique ou géométrique.*

Deux méta-analyses ont été publiées au début des années 2000 par Ahlbom et Greenland et toutes deux observent un doublement du risque de leucémie infantile ( $RR = 2$  pour Ahlbom et 1,7 pour Greenland, statistiquement significatif) pour les expositions moyennes sur 24h supérieures à 0,3 pour Greenland ou 0,4  $\mu T$  pour Ahlbom. C'est sur cette base que les champs magnétiques EBF ont été classés « cancérigène possible » par le Centre International de Recherche sur le Cancer en 2001.

### 3.2.3 De 2000 à nos jours

Depuis les méta-analyses et le classement du CIRC, il y a eu de nombreuses nouvelles études épidémiologiques sur la leucémie de l'enfant dans les deux dernières décennies. Ainsi depuis 2012, pas moins de 8 publications importantes ont été faites, correspondant à des études menées au Danemark, au Royaume-Uni, en France et en Californie.

Aucune nouvelle étude depuis 2000 n'est venue changer le classement de « cancérigène possible », y compris une nouvelle méta-analyse publiée en 2010, qui a observé une augmentation de risque de 1,4 (non statistiquement significatif), à comparer à l'augmentation de 2 (statistiquement significative) de la méta-analyse d'Ahlbom. Ce risque relatif de 1,4, plus faible et non significatif, ne confirme donc pas le résultat d'Ahlbom, mais ne suffit toutefois pas à l'infirmer.

Dans les 10 dernières années, rien n'a donc fondamentalement changé : les doutes ne sont pas aggravés, mais ils ne sont toujours pas levés. Les résultats restent disparates et les études se sont succédées avec soit des résultats négatifs (aucun excès de risque), soit des résultats non significatifs, soit des résultats faiblement significatifs.

*Un bon exemple de cette disparité est l'étude anglaise de DRAPER, qui en 2005 avait observé un risque relatif (statistiquement significatif) de 1,7. L'étude sera refaite 10 ans plus tard par BUNCH avec des données réactualisées : l'excès de risque observé en 2005 a disparu (risque relatif de 1,1 non significatif).*

---

<sup>6</sup> Cela veut dire que même si le chiffre 1 n'est pas compris dans l'intervalle de confiance, il en est toujours très proche. Voir le document support sur la partie 2.3 du MOOC « Epidémiologie » ;

*Néanmoins depuis les années 2000, il y a eu aussi des études qui ont confirmé l'association observée par les deux méta-analyses comme par exemple l'étude française GEOCAP qui a observé un léger excès de leucémies à moins de 50 m des lignes à 225 et 400 kV<sup>7</sup> chez les plus jeunes enfants.*

### 3.3 Les autres cancers de l'enfant

Comme on l'a dit précédemment, l'étude de Wertheimer en 1979 lance un questionnement scientifique autour de la leucémie infantile, mais pas seulement : l'excès de risque est également observé pour tous les cancers de l'enfant et notamment le cancer du cerveau<sup>8</sup>.

Les toutes premières études épidémiologiques de la fin des années 1980 confirment les observations de Wertheimer sur la leucémie et le cancer du cerveau, mais dès le milieu des années 1990 le sujet va s'éteindre pour le cancer du cerveau car les études épidémiologiques vont accumuler des résultats convergeant vers l'absence de risque. Une méta-analyse menée en 2010 va confirmer cet état de fait (risque relatif de 1,14 non significatif) et les auteurs concluront que leurs résultats apportent peu d'éléments à l'appui de l'hypothèse d'une association entre champs magnétiques et cancer du cerveau.

Le niveau de questionnement scientifique vis-à-vis des cancers de l'enfant est donc depuis longtemps bien plus faible que sur la leucémie : le rapport SCENIHR précédemment évoqué n'en parle pas faute de matière : ce n'est plus réellement un sujet de recherche.

### 3.4 Les cancers de l'adulte

Le bilan, du côté des études professionnelles, est comparable à celui des cancers de l'enfant. C'est bien sûr relatif en ce sens que là aussi, certaines études épidémiologiques en milieu professionnel ont observé des associations... mais pas toutes, loin de là, et d'une étude à l'autre, ce n'est pas la même maladie qui a été mise en cause.

Il n'y a donc pas chez l'adulte d'élément de cohérence comparable à ce qu'on a pu observer pour la leucémie de l'enfant (sachant que dans l'absolu, et comme on vient de le voir, la cohérence est toute relative). Aucun type de cancer ne ressort de manière récurrente des études professionnelles. Les conclusions générales sont que les « preuves épidémiologiques » déjà faibles chez l'enfant le sont encore plus chez l'adulte.... En 2017, le sujet du cancer chez l'adulte n'est plus évoqué dans les bilans de la recherche régulièrement réalisés de par le monde. C'est par exemple le cas du rapport SCENIHR déjà évoqué.

La piste des fortes expositions comme on peut en trouver en milieu professionnel n'a donc pas confirmé les associations observées sur la seule leucémie de l'enfant.

## 4. En conclusion

Au final, malgré les progrès dans la méthodologie des études et dans les outils à la disposition des chercheurs, comme par exemple dans l'évaluation de l'exposition et la géolocalisation des sujets, l'épidémiologie n'a pas produit de nouvelles preuves plus de 15 ans après le classement du Centre International de Recherche sur le Cancer.

---

<sup>7</sup> Une deuxième phase d'étude, portant cette fois sur les expositions calculées, est toujours en cours en 2018

<sup>8</sup> C'est la deuxième cause de cancer chez l'enfant après la leucémie