

A propos des méta-analyses "leucémies infantiles et champs magnétiques"

Jérôme BELLAYER, Denis BIETTE, Denis CAROTI & Henri BROCH
Laboratoire de Zététique
<http://www.unice.fr/zetetique>
Université de Nice-Sophia Antipolis

Outre le champ magnétique et le champ électrique terrestres, notre mode de vie moderne nous amène à passer une grande partie de notre temps dans des champs magnétiques et électriques supplémentaires, compagnons indissociables de l'électricité apparue dans nos vies il y a environ deux siècles (un champ électromagnétique est présent partout où circule un courant électrique continu ou variable).

Et nous sommes donc amenés naturellement à nous poser les questions suivantes : Ces champs ont-ils un effet sur notre organisme ?... Et, si tel est le cas, quel(s) type(s) d'effet(s) ont-ils ? Sont-ils nocifs ? Sont-ils bénéfiques ? Peuvent-ils favoriser le développement de maladies ? En stopper d'autres ?...

Des scientifiques se sont lancés à la recherche des réponses à ces questions à l'aide d'enquêtes épidémiologiques dont on peut souligner d'emblée l'importance et la nécessité si l'on veut aboutir à une compréhension correcte et complète du problème posé. Dans le cadre de ces questionnements, l'un des thèmes qui revient systématiquement dans les médias concerne l'effet délétère des champs électromagnétiques et en particulier le lien qui pourrait exister entre l'apparition de cancers - principalement les leucémies chez les enfants - et la proximité d'installations ou lignes rayonnant de tels champs. Ce débat réapparaît régulièrement et de nombreuses études scientifiques sont alors "invitées" dans la discussion.

Un peu de cohérence...

Avant même de se lancer dans le détail des études sur les effets des champs électromagnétiques, se pose la question de la *cohérence* même de ces études (et/ou de la présentation qui en est faite) qui sont souvent citées et auxquelles se réfèrent - pas toujours très justement ni très honnêtement - de nombreux intervenants.

Dans la boucle générale du raisonnement qui caractérise la démarche scientifique et que l'on peut définir par "Induction - Déduction - Rétroaction" qui permet de tester le degré de validité d'une théorie ("théorie" pris ici dans le sens "hypothèse"), trois critères généraux interviennent nécessairement :

- a) le critère "*expérimentaliste*" (qui porte sur l'évidence des faits / lors de l'induction) ;
- b) le critère de "*cohérence*" (qui porte sur l'argumentation avancée / lors du passage induction-déduction) ;
- c) le critère "*utilitaire*" (qui porte sur les conséquences déduites, la fécondité / lors de la déduction et de la rétroaction).

Le critère de cohérence logique est un principe sélectif. Par exemple, la théorie doit expliquer les phénomènes concernés mais aussi *ne pas contredire d'autres phénomènes établis*. Et, en conclusion, elle est ou possible ou fausse¹.

-- Il faut d'abord penser à ce que l'on peut appeler la ***cohérence externe***, principe de non-contradiction avec des faits. Cette approche nous oblige, par exemple, à poser des questions aussi simples que :

Comment se fait-il que la proportion globale de leucémies détectées semble stagner au cours du temps (les données seraient ici à bien préciser sur une large période²) alors que, parallèlement, dans la majorité des pays, les réseaux électriques n'ont fait, depuis plus d'un siècle, que *s'étendre* et se *multiplier* largement et que, de plus, l'intensité transitant par ces lignes n'a fait que *s'accroître* comme s'est très largement accru également dans de nombreux pays le nombre de sources d'expositions domestiques (télévision, ordinateur, lampes à basse consommation, sèche-cheveux, rasoir électrique, radio-réveil, transformateurs-redresseurs, chargeurs divers, etc.)³ ?

Si l'hypothèse d'un effet délétère des champs électromagnétiques (ici ceux à basse fréquence) était avérée, on aurait dû "normalement" assister à une véritable explosion des cas de leucémies !

-- Lorsque l'on parle de cohérence, il faut ensuite considérer la ***cohérence interne*** et tout d'abord celle que l'on pourrait appeler "***inter-études***".

¹ Pour plus d'information sur la démarche scientifique et la "boucle" de raisonnement, cf. le livret "*L'Art du Doute ou Comment s'affranchir du prêt-à-penser*" par H. Broch, éd. Book-e-Book, collection "*Une chandelle dans les ténèbres*", 2008, pp. 33-42 (<http://www.zetetique.net>).

² Pour la France, on peut consulter le site de l'Unité 754 de l'INSERM "*Epidémiologie environnementale des cancers*" pour le Registre national des Hémopathies malignes de l'enfant (<http://www.u754.idf.inserm.fr/>)

³ Comme nous l'avons rappelé dans un précédent article (cf. "*Lignes électriques à haute tension et cancer chez l'enfant. Ce que certains... oublient*", http://www.unice.fr/zetetique/articles/HBJBDBC_Draper.html) une étude belge a montré (par des mesures en continu dans des fermes à moins de 100 m de lignes électriques) que les champs d'intensité importante que subissaient les personnes provenaient d'appareils domestiques.

Les différentes études présentent-elles des résultats cohérents entre eux ? Cohérents ne serait-ce que par les revendications non pas de l'intensité mais simplement du *type* de pathologies "observées" comme conséquences directes de l'action des champs électromagnétiques soumis à étude ?

Quelquefois, ce n'est... *pas* le cas. En effet, des études sont censées avoir mis en évidence (ou montré, ou démontré, suivant le degré d'affirmation des auteurs d'origine mais surtout des "reprises" médiatiques qui en sont faites⁴) que l'action des champs magnétiques provoquent des leucémies mais pas ou peu de tumeurs du système nerveux central, alors que d'autres affirmeront qu'il n'y a pas ou peu de risque de leucémies mais un large risque relatif⁵ de tumeurs au cerveau !

-- Et la **cohérence interne "intra-étude"**, c'est-à-dire "individuelle", spécifique à certaines études, n'est guère mieux établie.

C'est ainsi que les recherches menées via ce que l'on appelle couramment des "méta-analyses" pourraient amener de précieuses informations mais sous la réserve que ces méta-analyses soient méthodologiquement bien menées. En effet, ces dernières ne présentent qu'un intérêt limité - pour ne pas dire nul - *si* les expérimentateurs n'ont pas défini à l'avance et très précisément l'hypothèse qu'ils désiraient tester, la comparaison qu'ils désiraient faire, la variable pertinente qu'ils comptaient mettre en évidence, ni sur combien (c'est fondamental et cela doit être défini également à l'avance, sans modification ultérieure) d'expériences ou de cas ils désiraient travailler et faire leurs statistiques.

Sinon autant se mettre au tir à l'arc, tirer une flèche au hasard sur un mur puis, ensuite,... dessiner une cible qui entoure la flèche. C'est sûr, nous aurons alors fait mouche !

Aussi incroyable que cela puisse paraître, c'est ce qui malheureusement s'est fait quelquefois - avec certes une présentation moins flagrante que le tir à l'arc mais, si la forme change, le *fond* n'en demeure pas moins strictement le même - dans les méta-analyses, quel que soit d'ailleurs le domaine spécifique traité.

Si vous faites des centaines de comparaisons, vous aurez *nécessairement* des corrélations positives qui apparaîtront (et des négatives aussi, ce qui s'observe parfaitement dans les études en question). C'est un peu l'équivalent de la facette de la zététique qui dit "*Nul n'a le pouvoir de se tromper tout le temps*". C'est sûr, même une astrologue fera de temps en temps des

⁴ Cf. par exemple le site www.labelvie.com (dans sa partie "environnement/champs électromagnétiques") pour ce qui concerne les risques relatifs élevés de tumeurs au cerveau prétendument trouvés dans des études épidémiologiques (B. Floderus ; P. Guenel et al. ; D.A. Savitz et D.P. Loomis) sur l'exposition aux champs électromagnétiques de basse fréquence.

⁵ Pour la définition du "risque relatif" et d'autres paramètres intervenant dans ce type d'études, ainsi que pour l'utilisation du terme "champ magnétique" en lieu et place de "champ d'induction magnétique", cf. la publication H. Broch, J. Bellayer, D. Biette et D. Caroti, "*Lignes électriques à haute tension et cancer chez l'enfant. Ce que certains... oublient*", disponible à http://www.unice.fr/zetetique/articles/HBJBDBDC_Draper.html

prédictions qui tomberont juste, un parapsychologue aura de temps en temps des résultats positifs. C'est le contraire qui serait a-normal et qui montrerait que cette personne a de réels pouvoirs (négatifs, certes, mais de réels pouvoirs).

Lorsque quelque chose est "normal", cela sous-entend la plupart du temps que cette chose a comme distribution statistique une distribution normale, une distribution qui obéit à la loi normale. Mais ce que l'on oublie, c'est que cette loi - justement parce que c'est la loi normale, celle des grands échantillons, des grands effectifs - a des valeurs de probabilité non nulles (certes petites, mais non nulles) des deux côtés de sa moyenne, même en des endroits fort éloignés de cette moyenne.

Ce simple oubli amène malheureusement des personnes à ignorer qu'**une étude est faite pour tester une hypothèse et non pour créer, a priori, une hypothèse**. Une hypothèse est nécessairement antérieure à l'étude⁶.

Evidemment une étude - par ses résultats positifs ou négatifs, peu importe - pourra amener à concevoir, *a posteriori*, une nouvelle hypothèse⁷ mais cela n'est en rien "lié" avec l'étude en cours et cela n'a rien à voir avec la triste "fabrication" d'hypothèses à laquelle on assiste malheureusement dans le cas de l'oubli de ce qu'est véritablement une loi statistique.

Quand on est face aux types d'**incohérences** dont nous venons de parler avec, *simultanément* - et cette simultanéité est un point essentiel - des **risques relatifs qui sont d'un niveau faible**, c'est-à-dire avec des effets revendiqués d'un niveau proche en fait du "détectable"⁸, il est tout à fait légitime de se poser la question de la simple existence *réelle* du risque annoncé ; et donc, parallèlement, de penser que tout cela pourrait relever uniquement du **bruit de fond statistique**.

On est quasiment à la limite de détection, face à ce que le physicien-chimiste et prix Nobel Irving Langmuir, faisant référence aux méthodologiquement-fort-pauvres travaux du parapsychologue américain J.B. Rhine (que certains voudraient présenter comme le père de la parapsychologie... "scientifique" !), nommait les "*pathological sciences*". Ce n'est pas un effet réel existant qui serait noyé dans le segment d'incertitude mais les fluctuations aléatoires - normales - dans ce segment d'incertitude qui sont *interprétées* par certains comme un effet !

⁶ L'hypothèse de départ est quelquefois sous-entendue mais elle n'en est pas moins présente.

⁷ Lorsque nous disons "nouvelle", cela signifie nouvelle par rapport à celle qui était testée, pas nécessairement nouvelle par rapport au champ de connaissance du domaine considéré.

⁸ A titre de contre-exemple, si des études montrent que les fumeurs de cigarettes ont une probabilité près de 20 fois plus grande que celle des non-fumeurs d'avoir un cancer de la gorge, nous sommes là dans une *très forte corrélation* et un *niveau de risque parfaitement détectable et mesurable*, fort loin des incertitudes de mesure pourtant inhérentes à toute enquête sanitaire ou épidémiologique qui définissent, de fait, ce que l'on peut appeler le *niveau de détectabilité*.

Des méta-analyses fort médiatisées...

Comme nous le disions dans l'introduction, de nombreuses études scientifiques sont mises en avant par divers intervenants dans le débat sur les effets des champs électromagnétiques. Mais elles ne portent souvent que sur des effectifs assez faibles et leurs conclusions ne sont donc pas entièrement fiables et peuvent largement prêter à discussion.

En 2000 sont pourtant parues deux analyses regroupant les résultats d'une quinzaine d'études portant sur les liens entre les leucémies infantiles et l'exposition aux champs magnétiques dans le but de synthétiser et cumuler les résultats de nombreuses études de moindre envergure. Ces deux méta-analyses (A. Ahlbom et al. "*A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia*", British Journal of Cancer, 16 juin 2000, 83 [5], 692-698, et S. Greenland et al. "*A pooled analysis of magnetic fields, wire codes and childhood leukemia*», Epidemiology, novembre 2000, vol. 11, N° 6, 624-634) concluent chacune à un risque relatif plus élevé de leucémie lorsque les expositions dépassent 0,4 microtesla, respectivement un risque relatif de 2,00 (i.e. 1,27-3,13) et de 1,7 (i.e. 1,2-2,3).

- La nature même de ces analyses (méta-analyses, analyses *groupées*) fait qu'elles ont eu un impact beaucoup plus important sur les lecteurs que les études "*individuelles*" dont elles utilisent les résultats. En effet, **une analyse groupée permet de présenter des effectifs beaucoup plus élevés et ainsi de donner une crédibilité plus importante aux résultats qui sont alors obtenus** (nous verrons plus loin la confiance que l'on peut accorder à cet accroissement de crédibilité).

- Les résultats de ces deux analyses ont eu également un impact très fort que l'on peut vérifier en constatant que **les grands organismes internationaux ont fait ressortir un risque lié à l'exposition aux champs magnétiques en basant leurs conclusions principalement sur les deux résultats proposés par ces deux méta-analyses⁹** : l'*International Agency for Research on Cancer* (IARC, CIRC en français) en 2002, l'*Advisory Group on Non-Ionizing Radiation* (AGNIR) au Royaume-Uni en 2001, le *National Radiological Protection Board* et l'*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) en 2003.

Ces conclusions ont été ensuite reprises par des revues touchant le grand public (comme Sciences et Avenir, mai 2002) puis, à partir de là, reprises également par de nombreuses personnes désirant ou prétendant débattre des effets des champs magnétiques sur la santé.

⁹ J. Mark Elwood "*Childhood leukemia and residential magnetic fields : Are pooled analysis more valid than the original studies ?*" Bioelectromagnetics 27:112-118 (2006)

De la valeur d'un résultat...

Comme on vient de l'écrire, les résultats de ces méta-analyses ont été très utilisés pour mettre en avant les risques dus à l'exposition aux champs magnétiques mais on peut regretter le fait que les *discussions* des résultats ne sont jamais (ou très rarement) développées. Le calcul d'un risque dépend toujours de nombreux paramètres et la qualité de l'évaluation de ceux-ci va déterminer la **significativité du risque publié**. En conséquence, les auteurs des travaux en question sont très prudents dans leurs conclusions et ils développent longuement les limites de leurs résultats. Voici donc une série de remarques formulées par les auteurs des méta-analyses à propos de leurs propres résultats.

-- Dans l'analyse de Greenland et al.

« Il est possible que les mesures reflètent seulement les effets d'une autre exposition biologique qui n'apparaît pas dans nos données. »

« (...) Quelques résultats suggèrent que les effets de densité de circulation puissent être assez grands pour en partie expliquer les associations vues ici. »

« (...) Des biais venant d'erreurs de mesure sont indubitablement présents dans toutes les études et varient selon celle-ci. »

Et le dernier paragraphe dit ceci :

*« A la lumière des problèmes ci-dessus, **le caractère peu concluant de nos résultats semble indéniable** ; la solution devra attendre considérablement plus de données sur les fortes expositions aux CEM, sur les leucémies touchant les enfants et les différentes sources de biais possibles [...] il y a pour l'instant une insuffisance de données pour fournir autre chose qu'un vague sentiment sur la forme et les sources du lien entre champs et leucémie. Nous croyons que des études qui se focalisent sur les populations fortement exposées seraient nécessaires pour clarifier cette association [entre leucémies et champs magnétiques nda]. »*

-- Dans l'analyse d'A. Ahlbom et al. on trouve le même genre de réserves :

« Les mesures d'exposition qu'elles soient mesurées ou calculées, sont susceptibles d'être entachées d'erreurs. »

Et la dernière phrase est :

*« L'explication de l'estimation d'un risque élevé est inconnue mais **des biais de sélection peuvent justifier cet accroissement.** »*

A la lumière de ces commentaires, une attitude raisonnable consisterait à prendre les résultats de ces méta-analyses avec la plus grande prudence ou, au moins, à les citer avec toutes les réserves de rigueur et la seule conclusion vraiment valide serait : « Le risque affiché par ces analyses étant basé sur des données entachées d'incertitudes, on ne peut pas conclure à une quelconque corrélation entre l'exposition aux champs magnétiques et la survenue de leucémies chez l'enfant. ».

Pourtant, voilà ce que l'on peut lire comme en-tête d'un article dans la revue *Sciences et Avenir* de mai 2002 :

« *Enfants : Risques de leucémie.*

Exposés régulièrement à des champs magnétiques faibles, les enfants voient augmenter de façon significative la possibilité de développer une leucémie avant quinze ans. »

La phrase est on ne peut plus affirmative, ce qui ne traduit pas du tout l'esprit des méta-analyses citées et encore moins les réserves exprimées par les auteurs. Dans ce cas, une telle affirmation relève de la tromperie pure et simple.

Des problèmes de sélection dans les méta-analyses

Nous avons exprimé plus haut le fort impact des analyses groupées par rapport aux études "individuelles" originales. Cependant, les résultats revendiqués par ces méta-analyses sont-ils supérieurs aux résultats proposés par les études originales ? La question a déjà été examinée¹⁰ et nous allons en reprendre les grandes lignes.

Le premier écart constaté (et non des moindres) provient des sélections dans les effectifs des études originales pour les rendre cohérentes entre elles. En effet, chaque étude a été réalisée avec des *méthodes différentes* de mesure des champs magnétiques ou des *temps d'exposition différents*. Dans certains cas, les champs ont été *évalués*, dans d'autres, ils ont été *mesurés*. Dans ce dernier cas, les durées des relevés étaient parfois de 24h, parfois de 48h. Il faut donc sélectionner dans les données celles qui ont des paramètres identiques ce qui permet de les comparer ou de les cumuler. Si on s'intéresse uniquement aux études originales ayant le plus grand poids dans la conclusion finale des analyses groupées (Etats-Unis [Linet et al.¹¹] et Canada [McBride et al.¹²] contribuent pour 30 des 44 cas de la méta-analyse d'Ahlbom et al. et pour 25 des 50 cas de la méta-analyse de Greenland et al.) et que l'on compare les risques

¹⁰ J. Mark Elwood op. cit.

¹¹ Linet et al. « *Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children* .» New England Journal of Medicine, 1997, 337, 1-7.

¹² Mac Bride et al. « *Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada* .» American Journal of Epidemiology, 1999, 149, 831-842.

de ces études originales aux risques donnés dans les analyses groupées, on trouve des *écarts très importants* (voir tableaux suivants).

Méta-analyse Ahlbom		
	<i>Risque évalué dans l'étude originale</i>	<i>Risque évalué dans la méta-analyse après sélection (> 0,4 microtesla)</i>
Linnet et al. (Etats-Unis)	3,28 (0,4-0,499 microtesla) 1,41 (>0,5 microtesla) 2,48 (estimé pour >0,4 microtesla)	3,44
MacBride et al. (Canada)	1,24 (0,3-0,399 microtesla) 0,44 (0,4-0,499 microtesla) 0,89 (>0,5 microtesla)	1,55

Méta-analyse Greenland		
	<i>Risque évalué dans l'étude originale</i>	<i>Risque évalué dans la méta-analyse après sélection (> 0,3 microtesla)</i>
Linnet et al. (Etats-Unis)	1,85 (estimé pour >0,3 microtesla)	1,51
MacBride et al. (Canada)	1,24 (0,3-0,399 microtesla) 0,44 (0,4-0,499 microtesla) 0,89 (>0,5 microtesla)	1,42

Etude canadienne

Il faut tout d'abord remarquer qu'un « risque » de 0,89 ou de 0,44 indique plutôt un effet *bénéfique*. La conclusion de l'étude canadienne originale est :

«Les champs magnétiques ne sont pas liés aux risques de leucémie ».

Ce n'est pas faux, mais avec un risque de 0,89, elle aurait pu être : « les résultats indiquent que les champs magnétiques *diminuent* les risques de leucémie ».

Ce qui est plus gênant encore, c'est que ce « risque » de 0,89 se transforme en un risque de 1,55 ou 1,42 dans les analyses groupées. C'est-à-dire que d'un effet bénéfique, on passe... à un effet délétère !

De plus, on remarque que dans l'étude originale, les risques évalués ne dépassent jamais 1,24 pour les expositions aux champs élevés (de 0,3 à 0,5 microtesla). Après sélection, le risque recalculé pour les champs supérieurs à 0,4 microtesla prend des valeurs qui ne sont *jamais* atteintes (1,42 ou 1,55) dans l'étude originale, quelle que soit la gamme étudiée.

Etude américaine

L'étude américaine, quant à elle, subit le même sort avec une forte augmentation du risque qui passe de 2,48 à 3,44 (cas > 0,4 microtesla) dans l'analyse d'Ahlbom et al. et un risque à peu près stable dans l'analyse de Greenland et al.

On constate donc que le simple effet de sélection sur les études américaines et canadiennes a entraîné artificiellement une augmentation du risque calculé. Ces études contribuant

pour environ 59% des effectifs totaux des cas étudiés dans les analyses groupées (50% dans Greenland et al. et 68% dans Ahlbom et al.), les résultats globaux de ces méta-analyses se trouvent donc également fortement influencés artificiellement à la hausse.

Les auteurs de ces méta-analyses sont tout à fait conscients de ce problème et une bonne partie de leurs articles est d'ailleurs consacrée aux commentaires des résultats et à toutes les précautions à prendre lorsqu'on désire les utiliser. Cependant, le lecteur pressé lira, soit le seul résultat de la méta-analyse (fortement biaisé), soit les résultats des études individuelles (eux aussi biaisés comme on le verra plus loin) et non les longues discussions sur la validité des résultats.

Ce qui est fort dommage et très dommageable, c'est que **de grandes organisations comme le CIRC prennent des décisions en se basant sur ce genre de méta-analyses biaisées**. En effet, l'OMS, sur recommandation du CIRC, a classé les champs magnétiques dans la catégorie « peut-être cancérogène pour l'homme ». Même si cette catégorie ne regroupe que les sources *hypothétiques* de cancers (le café est classé dans cette même catégorie) et que les grands organismes précisent par la suite que les études sur lesquelles ils se sont basés sont certainement biaisées ou que les résultats sont non concluants, le « mal » est fait.

En effet, ce que tout le monde retient, c'est que de grands organismes internationaux comme le CIRC et l'OMS ont décidé de classer les champs magnétiques comme « peut-être cancérogènes pour l'homme » en se basant sur des études épidémiologiques de grande envergure menées par des scientifiques !

Dans ce genre de situation, on pourrait reprocher, dans un premier temps, aux auteurs de publier une étude qu'ils disent eux-mêmes non concluante sans insister dans leurs conclusions sur ce point fondamental et, dans un deuxième temps, aux grands organismes de propager l'idée d'une nocivité potentielle des champs magnétiques qui - dans le cas de ces deux analyses groupées - n'est absolument pas justifiée.

Commentaires sur les effectifs des deux méta-analyses

Des effectifs très faibles...

Nous venons de constater que la validité de ces deux analyses groupées est largement réduite à cause de biais de sélection présents dans les deux études ayant les plus grands effectifs ; mais qu'en est-il des autres ?

L'ensemble des analyses est censé mettre en évidence une relation entre les champs d'induction magnétique d'une valeur supérieure à 0,4 microtesla et le risque de leucémie chez l'enfant de moins de quinze ans. Cette relation, pour avoir une valeur statistique réelle, doit s'appuyer sur des effectifs conséquents de plusieurs centaines¹³ de cas si l'on veut pouvoir extraire un effet potentiel du bruit de fond statistique (cf. supra ce que nous avons dit sur le niveau de détectabilité). Cependant, en se concentrant sur le nombre de cas pour des valeurs de champ supérieures à 0,4 microtesla, on ne peut qu'être très surpris par ce que l'on découvre. Les deux tableaux ci-dessous détaillent les effectifs de chaque étude dans la gamme de valeur du champ où un effet semble se manifester.

Méta-analyse Greenland et al.

Auteur	Nb total de cas	Nb de cas pour B > 0,4 microtesla
Coghill	56	1
Dockerty	87	2
Feychting	38	4
Linnet	638	22
London	162	8
McBride	297	3
Michaelis	176	3
Olsen	833	3
Savitz	36	0
Tomenius	153	3
Tynes	148	0
Verkasalo	32	1
<i>Total</i>	<i>2656</i>	<i>50</i>

Méta-analyse Ahlbom et al.

Pays	Nb total de cas	Nb de cas pour B > 0,4 microtesla
Canada	272	13
Allemagne	175	2
Nouvelle-Zélande	86	0
Royaume-Uni	1073	4
Etats-Unis	595	17
Danemark	833	2
Finlande	29	1
Norvège	148	0
Suède	36	5
<i>Total</i>	<i>3247</i>	<i>44</i>

Le résultat est sans appel : un effectif total valant 50 pour une méta-analyse et 44 pour l'autre, cumulé - et c'est un point essentiel - avec la recherche simultanée d'un effet de faible niveau de

¹³ Cet effectif peut être déterminé par un calcul statistique à partir d'un niveau de significativité recherché.

délectabilité (cf. supra), revient à dire que **ces méta-analyses ne peuvent pas avoir de signification statistique réelle.**

Une partie de la crédibilité que l'on donne à ces deux analyses repose sur le fait qu'elles regroupent de gros effectifs. C'est vrai quand on regarde l'ensemble de ceux-ci, mais cela ne l'est plus quand on s'intéresse aux catégories où l'effet est censé apparaître. Que pouvons-nous conclure de manière fiable quand les données portent sur trois, quatre ou cinq personnes ou, pire, sur zéro ? Il y a, en effet, deux études (Nouvelle-Zélande et Norvège) dans lesquelles il n'y a *aucun cas* de leucémie dans la gamme de champs censée présenter un risque !

Même s'il y a plusieurs raisons à un aussi petit nombre de cas, cette faiblesse est rédhibitoire. Il est en effet clair que **l'on ne peut pas chercher à conclure à une corrélation quelconque entre champs magnétiques et apparition de leucémies chez les enfants avec des effectifs réduits à quelques unités.**

Comparaison des effectifs mesurés à ceux d'une distribution aléatoire.

Si on laisse de côté ce problème de faiblesse des effectifs (qui, ne l'oublions pas, invalide à *lui seul* les conclusions), les études individuelles montrent-elles réellement un lien entre l'apparition de leucémie chez l'enfant et l'exposition aux champs magnétiques ?

Pour répondre à cette question, nous avons étudié les distributions des cas de leucémie dans chaque gamme de valeur champ magnétique en les comparant à une distribution de cas qui ne serait due qu'au seul hasard.

Posons l'hypothèse H_0 d'une *population identique* pour les cas de leucémie et pour les témoins. Calculons ensuite les effectifs théoriques de leucémie correspondant à cette hypothèse¹⁴ et comparons ceux-ci avec les effectifs mesurés expérimentalement. Cette comparaison sera effectuée à l'aide d'un test dit du χ^2 ¹⁵. On devra trouver une valeur de χ^2 supérieure à 16,26 pour accepter l'hypothèse des auteurs ($p < 0,001$).

Le seuil qui sera exprimé après chaque tableau représente la **probabilité de se tromper en repoussant l'hypothèse H_0** . Comme il est dit précédemment, il faudra trouver un seuil

¹⁴ Les effectifs théoriques sont calculés en supposant la répartition des cas de leucémie identique à celle des témoins i.e. le pourcentage "Nb théorique de cas de leucémies / effectif total leucémies" dans une catégorie donnée est le même que celui "Nb de témoins / effectif total témoins" dans cette même catégorie (pour les critères de choix des témoins, cf. les publications originales).

Pour plus d'information sur la démarche avec l'hypothèse nulle, cf. H. Broch, J. Bellayer, D. Biette et D. Caroti, "Lignes électriques à haute tension et cancer chez l'enfant. Ce que certains... oublient", disponible à http://www.unice.fr/zetetique/articles/HBJBDBDC_Draper.html

¹⁵ Pour chaque étude, $\nu = 3$ sauf pour l'étude danoise où les effectifs des contrôles sont nuls pour la catégorie des champs supérieurs à 0,4 microT. Dans ce cas, $\nu = 2$

inférieur à 0,1% pour pouvoir dire que la population de leucémiques est différente d'une population répartie au hasard.

Première partie : étude des effectifs utilisés dans l'analyse Ahlbom et al.

Dans cette analyse, les études ont été séparées en deux groupes : celles où les champs ont été *mesurés* sur place et celles où les champs ont été *calculés* d'après l'environnement du lieu d'habitation.

- **Champs mesurés**

Canada

Champs (microtesla)	Nombre de leucémiques	Nombre de contrôles	Nombre théorique de leucémiques (Ho)
<0,1	174	215	192,37
0,1 – 0,2	56	53	47,42
0,2 – 0,4	29	26	23,26
>0,4	13	10	8,95
Total	272	304	272,00

On obtient un chi2 égal à 6,56.

L'hypothèse Ho ("Population identique pour les cas de leucémie et pour les témoins" i.e. "Répartition des cas de leucémie due au seul hasard") n'est donc *pas* infirmée, même à un seuil déjà élevé de 5%.

Allemagne

Champs (microtesla)	Nombre de leucémiques	Nombre de contrôles	Nombre théorique de leucémiques (Ho)
<0,1	156	380	162,59
0,1 – 0,2	12	21	8,98
0,2 – 0,4	5	6	2,57
>0,4	2	2	0,86
Total	175	409	175,00

On obtient un chi2 égal à 5,09.

L'hypothèse Ho n'est donc *pas* infirmée, même à un seuil de 10%.

Royaume-Uni

Champs (microtesla)	Nombre de leucémiques	Nombre de contrôles	Nombre théorique de leucémiques (Ho)
<0,1	1018	2099	1012,69
0,1 – 0,2	38	91	43,90
0,2 – 0,4	13	26	12,54
>0,4	4	8	3,86
Total	1073	2224	1072,99

On obtient un χ^2 égal à 0,84.

L'hypothèse H_0 n'est donc *pas* infirmée, même à un seuil de 75% !

Etats-Unis

Champs (microtesla)	Nombre de leucémiques	Nombre de contrôles	Nombre théorique de leucémiques (H_0)
<0,1	418	386	433,34
0,1 – 0,2	111	95	106,65
0,2 – 0,4	49	44	49,40
>0,4	17	5	5,61
Total	595	530	595,00

On obtient un χ^2 égal à 23,85.

L'hypothèse H_0 *peut être infirmée*, à un seuil inférieur de 0,1%.

- **Champs calculés**

Danemark

Champs (microtesla)	Nombre de leucémiques	Nombre de contrôles	Nombre théorique de leucémiques (H_0)
<0,1	830	4736	831,24
0,1 – 0,2	1	2	0,35
0,2 – 0,4	0	8	1,40
>0,4	2	0	0
Total	833	4746	832,99

On obtient un χ^2 égal à 2,61.

L'hypothèse H_0 n'est donc *pas* infirmée, même à un seuil de 25%¹⁶.

Finlande

Champs (microtesla)	Nombre de leucémiques	Nombre de contrôles	Nombre théorique de leucémiques (H_0)
<0,1	27	991	27,98
0,1 – 0,2	0	19	0,54
0,2 – 0,4	1	10	0,28
>0,4	1	7	0,20
Total	29	1027	29,00

On obtient un χ^2 égal à 5,63.

L'hypothèse H_0 n'est donc *pas* infirmée, même à un seuil de 10%.

¹⁶ Nous rappelons que dans cette étude $v = 2$

Norvège

Champs (microtesla)	Nombre de leucémiques	Nombre de contrôles	Nombre théorique de leucémiques (Ho)
<0,1	140	542	140,23
0,1 – 0,2	6	13	3,36
0,2 – 0,4	2	7	1,81
>0,4	0	10	2,59
Total	148	572	147,99

On obtient un chi2 égal à 4,68.

L'hypothèse Ho n'est donc *pas* infirmée, même à un seuil de 10%.

Suède

Champs (microtesla)	Nombre de leucémiques	Nombre de contrôles	Nombre théorique de leucémiques (Ho)
<0,1	27	438	31,04
0,1 – 0,2	3	30	2,13
0,2 – 0,4	1	20	1,48
>0,4	5	20	1,48
Total	36	508	36,13

On obtient un chi2 égal à 9,41.

L'hypothèse Ho n'est donc *pas* infirmée, même à un seuil de 2%.

Total des études à champs calculés

Champs (microtesla)	Nombre de leucémiques	Nombre de contrôles	Nombre théorique de leucémiques (Ho)
<0,1	1024	6707	1023,72
0,1 – 0,2	10	64	9,77
0,2 – 0,4	4	45	6,87
>0,4	8	37	5,65
Total	1046	6853	1046,01

On obtient un chi2 égal à 2,18.

L'hypothèse Ho n'est donc *pas* infirmée, même à un seuil de 50%.

Quel bilan peut-on tirer de tout cela ?

On constate que, parmi les huit études précédentes, *une seule* (l'étude américaine) affiche un seuil permettant de conclure à une significativité du résultat, à savoir une *corrélation* (ce qui ne signifie pas nécessairement une *causalité*) entre l'exposition aux champs magnétiques et l'apparition de leucémies chez l'enfant.

Peut-on, pour autant, conclure à la significativité de l'analyse **groupée** ? Pour cela, revenons tout d'abord sur le calcul de l'écart par rapport au hasard.

Cet « écart »¹⁷ repose sur les différences entre les effectifs réels expérimentaux de leucémiques et les effectifs théoriques (i.e. répartition au hasard) dans chaque catégorie de champ. On additionne ensuite tous ces écarts pour aboutir au chi². Il est bien évident qu'un écart très important sur une seule catégorie peut influencer fortement sur le résultat d'ensemble du calcul.

Or, dans l'étude américaine, si on évalue la contribution au chi² de la catégorie des champs supérieurs à 0,4 microtesla (catégorie dans laquelle l'écart est le plus grand), on trouve 23,13¹⁸. A comparer au chi² total qui est de 23,85. Cet écart contribue donc à lui seul pour ... 97% de la valeur finale du chi² !

L'écart par rapport au hasard repose donc pour cette étude américaine entièrement sur une *seule* catégorie de champ (qui comporte elle-même un effectif de seulement 17 personnes). Ce problème n'implique pas de remettre en cause l'existence d'une possible corrélation mais réduit fortement la *significativité* de cette étude en ce qui concerne le lien - causal ou non - avec les champs. Et cela d'autant plus qu'*aucune* des autres études ne confirme cette particularité.

De même, le vocable "catégorie" utilisé ici peut entraîner une fausse idée ou même une confusion sur "ces" champs. Il ne faut en effet pas oublier que *le* champ (dont on cherche à analyser les effets potentiels) est unique et qu'il est arbitrairement "découpé en catégories" suivant simplement sa valeur mais qu'il n'y a en réalité aucune discontinuité de quelque type que ce soit et que donc, a priori, le champ de 0,39 ou 0,40 microtesla classé dans une autre catégorie que ce *même* champ à 0,41 microtesla (classé, lui, en catégorie " > 0,4 microtesla") n'aura pas un effet drastiquement différent.

Ce qui implique que l'on devrait observer une variation "continue" de la valeur (du carré des écarts ramené à l'effectif théorique) et non un gigantesque "delta", un saut brusque comme celui que l'on observe *dans cette seule* étude américaine, à savoir le passage "instantané" d'une valeur de... 0,003 à la valeur de 23,125 !

Il ne faut surtout pas oublier que nous sommes ici dans le domaine biologique et que, même l'existence d'un (hypothétique) "effet seuil" dans l'action d'un champ électromagnétique en fonction de sa valeur ne peut rendre compte d'un tel saut.

D'une manière plus générale, nous avons fait remarquer que ces études présentaient des effectifs faibles. C'est pourquoi il ne faut pas s'étonner que certaines études donnent des

¹⁷ (Nombre expérimental de leucémiques – Nombre théorique de leucémiques)² / Nombre théorique de leucémiques

¹⁸ (17-5,61)² / 5,61

résultats "significatifs". Avec d'aussi petits effectifs, il aurait même été anormal de ne *pas* trouver, par pur hasard, une étude « statistiquement significative ».

Pour prendre un exemple parlant, il suffit de constater qu'il est beaucoup plus facile d'obtenir un tirage "extraordinaire" - 8 pièces d'un même côté sur un lancer de 10 pièces - que d'obtenir cette même proportion de tirage extraordinaire - 800 pièces d'un même côté sur un lancer de 1000 pièces - sur un lancer de 1000 pièces. En d'autres termes, sur des effectifs faibles, on peut très facilement obtenir des déviations surprenantes par rapport à la "moyenne" (qui, elle, n'a de sens réel que calculée sur un très grand nombre et c'est cet oubli qui est quelquefois source de confusion). De même, si l'on effectue dix lancers successifs d'une pièce de monnaie parfaitement symétrique, la probabilité d'obtenir *dix fois le même côté* est vraiment faible. Cependant, si mille personnes effectuent ces dix lancers, on en trouvera (en moyenne) deux qui auront eu ce résultat extraordinaire. Si l'on considère uniquement ces deux personnes (ayant obtenu 10 fois le même côté sur 10 lancers), on serait tenté de dire qu'elles ont le « pouvoir » d'influencer les lancers de pièces ; mais en considérant l'ensemble des mille personnes, cela ne devient qu'un résultat tout à fait *normal* parmi d'autres.

Il en va de même pour les études utilisées dans la méta-analyse : sur plusieurs études, de nombreuses ne s'écartent pas du hasard, d'autres vont faire apparaître un risque et on peut également en trouver qui font apparaître un effet *benéfique* des champs magnétiques (c'est ainsi que dans l'étude canadienne, le « risque » est de 0,89).

En résumé, la significativité du risque évalué par la **méta-analyse d'Ahlbom et al.** ne repose en fait que sur *une seule étude* (Etats-Unis) et la significativité de celle-ci ne repose elle-même que sur *une seule* gamme de valeur de champ, qui plus est avec un *faible* effectif. En d'autres termes, cette méta-analyse est ***non significative***.

Ce qui signifie également qu'il est non seulement souhaitable mais bien plus encore nécessaire d'entreprendre de nouvelles enquêtes épidémiologiques, de nouvelles études dont le niveau statistique sera suffisamment puissant pour envisager de pouvoir conclure - effet ou pas d'effet des champs - de manière indiscutable.

Deuxième partie : Etude des effectifs utilisés dans l'analyse Greenland et al.

Les tests ci-dessous ne concernent bien sûr que les seules études de cette analyse qui n'ont pas déjà été testées dans notre première partie (de nombreuses études sont communes aux deux analyses Ahlbom et al. et Greenland et al.).

London

Champs (microtesla)	Nombre de leucémiques	Nombre de contrôles	Nombre théorique de leucémiques (Ho)
<0,1	110	99	112,15
0,1 – 0,2	30	28	31,72
0,2 – 0,4	14	8	9,06
>0,4	8	8	9,06
Total	162	143	161,99

On obtient un chi2 égal à 2,95.

L'hypothèse Ho n'est donc *pas* infirmée, même à un seuil de 70%.

Savitz

Champs (microtesla)	Nombre de leucémiques	Nombre de contrôles	Nombre théorique de leucémiques (Ho)
<0,1	24	155	28,18
0,1 – 0,2	7	28	5,09
0,2 – 0,4	5	13	2,36
>0,4	0	2	0,36
Total	36	198	35,99

On obtient un chi2 égal à 4,65.

L'hypothèse Ho n'est donc *pas* infirmée, même à un seuil de 20%.

Tomenius

Champs (microtesla)	Nombre de leucémiques	Nombre de contrôles	Nombre théorique de leucémiques (Ho)
<0,1	129	546	119,68
0,1 – 0,2	16	119	26,08
0,2 – 0,4	5	28	6,14
>0,4	3	5	1,10
Total	153	698	153,00

On obtient un chi2 égal à 8,12.

L'hypothèse Ho n'est donc *pas* infirmée, même à un seuil de 5%.

De même que dans les études précédentes, les effectifs *ne font absolument pas ressortir d'écarts significatifs par rapport à une distribution aléatoire. Les risques évalués dans ces études sont non significatifs* et se révèlent donc également eux-mêmes... **très aléatoires !**

Conclusion

En résumé, pour les deux **méta-analyses censées avoir établi un lien entre leucémie infantile et exposition aux champs magnétiques** (A. Ahlbom et al., *British Journal of Cancer* et S. Greenland et al., *Epidemiology*), nous avons montré que :

- les données de bases sont biaisées par un problème de sélection (et les paramètres autres que les champs magnétiques pouvant donner des résultats identiques ne sont pas présentés ou pas maîtrisés),
- les effectifs utilisés dans les études concernant les personnes soumises à des champs magnétiques supérieurs à 0,4 microtesla sont très (trop !) faibles,
- et la distribution des effectifs de la quasi-totalité des études prises en compte est sensiblement identique à ce que donne une distribution... entièrement aléatoire.

Chacun des problèmes ci-dessus rend - à lui seul - les résultats de ces méta-analyses inconsistants et les conclusions (que certains ont voulu ou cru pouvoir tirer) totalement caduques.

Il va sans dire que s'il existait effectivement une corrélation¹⁹ entre les champs magnétiques et l'apparition de la leucémie chez l'enfant, ce ne sont pas ces analyses qui pourraient la mettre en évidence et, en reprenant les termes des auteurs eux-mêmes, il faudra attendre des études de beaucoup plus grande envergure avec un nombre significatif de cas et des conditions d'expérience très contrôlées pour pouvoir conclure quoi que ce soit²⁰.

L'analyse que nous avons faite dans la présente publication montre bien la nécessité d'entreprendre de nouvelles enquêtes épidémiologiques à très grande échelle, de manière à avoir une puissance statistique indiscutable.

Sur ce sujet, les choses sont claires, tout reste à faire. Et ce ne sont pas les utilisations et citations **totalement abusives** qui ont été faites des récents travaux de Draper et al. (G. Draper, T. Vincent, M.E. Kroll, J. Swanson, "*Childhood cancer in relation to distance from high*

¹⁹ Sans oublier que, dans un tel cas, il serait alors nécessaire de se rappeler de ce qu'est un Effet Cigogne. A savoir qu'***une corrélation n'est pas nécessairement une causalité*** et qu'il y a loin de la démonstration d'un lien statistique entre deux variables à la démonstration de la relation causale qui unit - peut-être - ces deux variables.

²⁰ Il faut cependant bien préciser que si la corrélation n'est pas mise en évidence, l'innocuité des champs magnétiques n'est, quant à elle, pas prouvée non plus. Mais personne ne cherche à prouver une négative et à inverser la charge de la preuve. A la demande « Prouvez-moi que les fantômes n'existent pas » il faut répondre par la *question* "Pourquoi, vous, croyez-vous aux fantômes ?".

voltage power lines in England and Wales : a case-control study", British Medical Journal, vol. 330 : 1290, 4 juin 2005) qui peuvent amener un peu de sérénité dans un débat totalement biaisé par des médias manifestement "orientés"²¹.

De plus, compte tenu de la sensibilité du problème "leucémie chez l'enfant et champs magnétiques" (ou, de manière plus large "santé publique et champs magnétiques"), les informations publiées ne doivent pas - d'une manière ou d'une autre - pouvoir prêter à discussions ou à interprétations variables car elles sont livrées à de nombreux esprits qui - de manière intentionnelle ou non - peuvent les transformer et ainsi en dénaturer le véritable contenu.

Il est donc essentiel, dans ce domaine comme dans tout autre, de prêter une attention particulière à la *significativité* des résultats qui sont publiés et, en particulier, à celle des résultats de méta-analyses.

JB, DB, DC, HB
Laboratoire de Zététique
Université de Nice-Sophia Antipolis
<http://www.unice.fr/zetetique/articles/index.html#environnement>

²¹ Pour une analyse de la publication de Draper et al., nous renvoyons à la lecture d'un article que les présents auteurs ont écrit (H. Broch, J. Bellayer, D. Biette et D. Caroti, "*Lignes électriques à haute tension et cancer chez l'enfant. Ce que certains... oublient*") qui démontre clairement le peu de fiabilité de l'étude en question. L'article est disponible à l'adresse suivante : http://www.unice.fr/zetetique/articles/HBJBDBC_Draper.html