



Analyse critique de l'étude "GEOCAP"

Rapport remis à

RTE

(à l'attention de M. Hervé Laffaye)

par la

Société de Calcul Mathématique SA

Version finale

en application du bon de commande 4500490435/R0MK du 19/03/2013

rédaction Bernard Beauzamy et Sophie Davin

Résumé Opérationnel

A la demande de RTE, nous avons procédé à une analyse de l'étude "GEOCAP", pour la partie de cette étude qui s'intéresse aux liens entre lignes à haute tension et leucémie de l'enfant. Notre analyse porte uniquement sur la logique formelle, qui est du ressort du mathématicien : les règles de la recherche scientifique sont-elles correctement respectées ?

Nos conclusions sont très claires :

- Cette étude est entièrement dépourvue de valeur scientifique. Elle comporte :
 - o une faute de logique majeure : ce que les auteurs cherchent n'est pas ce qu'il faudrait chercher ;
 - o une faute méthodologique majeure : les auteurs ignorent manifestement les lois fondamentales des probabilités ;
 - o de très nombreuses "approximations" dont la validité est discutable : localisation des adresses, identification entre l'adresse et le lieu de résidence, absence d'information sur la dose reçue, non validité du panel, etc.
 - o une ignorance complète des lois physiques qui régissent les phénomènes en cause, lois physiques que RTE connaît certainement (et RTE est associé à l'étude) et que nous avons rappelées lors d'un précédent travail.
- Cette étude, compte-tenu des éléments disponibles, n'aurait jamais dû être lancée. Pour un mathématicien, il était clair par avance qu'elle ne pouvait donner aucun résultat. Pour un physicien, le fait que l'étude invoque les champs magnétiques, mais sans rappeler aucune des lois qui sont associées à la propagation, ni aucune des données déjà recueillies, est contraire à l'esprit même de la recherche scientifique, qui ne se négocie pas.

L'épidémiologie se veut être l'étude des "anomalies de santé" au sein des populations, par opposition à la médecine individuelle. Un fort courant électrique, un fort rayonnement ionisant, un champ électromagnétique intense, ont un caractère léthal. Mais, lorsqu'il s'agit de "faibles doses", c'est-à-dire d'expositions limitées, l'apparition d'un symptôme, le déclenchement d'une maladie, ont nécessairement un caractère probabiliste : tous les individus de la population ne réagissent pas de la même façon.

L'étude de l'épidémiologie requiert donc nécessairement des connaissances suffisantes en ce qui concerne les lois des probabilités. Celles-ci font partie des lois de la Nature, et elles ont été dégagées voici 350 ans environ. Elles sont complexes, mais c'est la Nature qui les a voulues ainsi. Les spécialistes de cette discipline, réunis en conclave, ne peuvent en aucune manière les réécrire sous une forme qui les arrange, pas plus que l'on

n'admettrait que des responsables des travaux publics, pour économiser du béton, pussent changer la loi de l'attraction universelle.

Les spécialistes de l'épidémiologie, toujours réunis en conclave, ne peuvent décider que le "vecteur de dangerosité" des lignes HT est le champ magnétique, et s'affranchir en même temps de toutes les connaissances accumulées à propos de ces champs, connaissances auxquelles la présente étude ne fait aucune référence.

I. Introduction

Le présent document constitue la réponse apportée par la Société de Calcul Mathématique SA à la commande notifiée par RTE no4500490435/R0MK du 19/03/2013.

Cette seconde version (16 avril 2013) tient compte des commentaires faits par M. André Aurengo. La SCM remercie également MM. Daniel Bouche (CEA) et Paul Deheuvels (Université de Paris VI) pour leurs indications.

II. Présentation de l'étude GEOCAP

L'étude GEOCAP a pour objectif d'étudier la relation entre l'incidence des leucémies de l'enfant et :

- la proximité des centrales nucléaires de production d'électricité ;
- la proximité des lignes de transport d'électricité à haute tension.

Notre travail porte uniquement sur la seconde partie. La liste des documents sur lesquels nous avons travaillé figure en Annexe.

III. Notre analyse

Commençons par une présentation rapide de la maladie elle-même.

A. *La leucémie infantile aiguë*

C'est une forme de cancer ; elle se caractérise par le remplacement des cellules sanguines normales dans la moelle osseuse par des cellules cancéreuses. Ces cellules anormales empêchent d'une part la moelle de fabriquer les cellules normales et d'autre part vont infiltrer les différents organes. Ce n'est pas une maladie contagieuse. On ignore quels sont les facteurs de prédisposition ou de déclenchement, mais on a observé que les leucémies aiguës sont 20 fois plus fréquentes chez les enfants porteurs d'une trisomie 21. Sans traitement, l'issue est fatale, mais on parvient actuellement à guérir environ 70 à 80% des cas.

A la différence de ce que nous avons vu à propos des études portant sur la maladie d'Alzheimer [BP], il n'y a pas d'ambiguïté de diagnostic en ce qui concerne la leucémie infantile. Pour Alzheimer, on estime qu'un cas sur deux n'est pas convenablement recensé, ce qui invalide à l'évidence toute étude épidémiologique concernant cette maladie.

Pour la leucémie infantile, à l'inverse, on peut considérer que tous les cas sont convenablement diagnostiqués et référencés.

Le cancer se caractérise par le fait que certaines cellules, qui sont normalement réparées ou détruites, vont proliférer. L'anomalie ne réside pas dans l'existence de ces cellules, mais dans leur maintien et leur reproduction. C'est, pour employer un langage imagé, le "système de réparation" de l'organisme qui est défectueux.

Bien que tous les cas soient constatés, on ne dispose que de cartes approximatives de la leucémie en France ; chaque année, elle frappe environ 4 enfants sur 100 000 dans la tranche d'âge 0-4 ans qui est celle qui nous occupe ici. Il y a des variations selon les régions, selon les départements, mais personne ne sait l'attribuer à un type particulier de résidence, ou de mode de vie, ou d'alimentation, etc. En l'absence de toute explication déterministe, tout se passe, comme dit l'Académie de Médecine, comme si la leucémie frappait "au hasard". Le modèle probabiliste retenu est celui de l'indépendance : savoir qu'un enfant a une leucémie ne donne aucune information sur son voisin, sur son jumeau, sur ses camarades de classe. Selon ce modèle, ils n'ont pas pour autant plus de chances d'en être victimes. Voir [Haematol] pour une tentative d'étude épidémiologique de la leucémie aiguë chez les jumeaux.

L'étude GEOCAP voudrait voir si la proportion de leucémies est plus élevée au voisinage des lignes à haute tension qu'ailleurs. Cette approche, commune à la plupart des études épidémiologiques (qui tentent de mettre en évidence des surcroûts de probabilités) repose sur une faute de logique majeure.

B. Une cause externe

On admettra volontiers que les lignes HT représentent une possible cause externe à toute sorte de maladies. Mais, dans ces conditions, ce n'est pas un surcroît de probabilités qu'il faut rechercher, comme le fait GEOCAP, mais une rupture dans l'indépendance.

Avant d'expliquer ceci de manière mathématique, commençons par une description grossière, qui aidera bien à la compréhension.

Il est très possible que la probabilité de développer une leucémie varie naturellement, pour des raisons que nous ne connaissons pas. Les simples lois du hasard (voir le livre [MPPR]) montrent que, dans différents groupes ayant tous 100 000 personnes, il n'y aura pas le même nombre de leucémies. Dans ces conditions, alors que ces variations naturelles n'ont pas été recensées, vouloir établir une relation avec les lignes HT n'a aucune pertinence. Le même travail pourrait être fait avec la présence de boulangeries à proximité, avec celles de forêts, avec l'altitude, ou ce que l'on voudra. Comme les pharmaciens s'établissent dans les zones les plus peuplées, il y a certainement plus de leucémies à proximité des pharmacies qu'ailleurs.

Les lois du hasard, à elles seules, impliquent que deux groupes de même taille n'auront pas le même nombre de malades, à probabilité égale. Mais, en outre, la probabilité peut varier d'un endroit à l'autre.

Pour bien faire comprendre ceci, prenons un exemple très élémentaire : le jeu de dés. Je gagne si je fais "1". La probabilité de gagner dépend du nombre de faces du dé. On peut imaginer que certains départements français utilisent des dés à 4 faces, d'autres à 5, 6, à 37 faces, ou ce que l'on voudra. Le fait de gagner est toujours le même (faire 1), mais l'univers des possibles varie d'un endroit à l'autre. Le principe d'indépendance est préservé : l'information sur un coup ne donne rien sur les autres ailleurs, ni sur les suivants.

Si on accepte l'idée que la leucémie a un caractère "indépendant" (ce qui se traduit formellement, en probabilités, par le fait que la probabilité que deux personnes l'aient est le produit des probabilités de chacune), alors l'exemple précédent aide à comprendre comment la probabilité peut varier d'un département à l'autre, tout en préservant le caractère indépendant. Il suffit par exemple que, d'un département à l'autre, les autres maladies ou accidents soient différents : l'univers des possibles sera alors différent. En langage simplifié, il peut y avoir moins de leucémies parce que les enfants sont morts d'autre chose avant.

Un exemple évident, qui affecte la probabilité d'avoir une leucémie, sans affecter le caractère d'indépendance, est tout simplement la mortalité infantile (de l'ordre de 4 enfants pour 1 000 naissances), qui est très certainement différente d'une zone à une autre. La mortalité infantile affecte l'incidence de la leucémie, parce qu'elle tue des enfants avant qu'ils puissent être victimes de leucémie.

En effet, selon des chiffres approximatifs, pour 100 000 naissances, par an :

- 400 enfants meurent à la naissance ;
- 4 meurent de leucémie aiguë.

Nous voyons donc que l'objet même de l'étude GEOCAP, à savoir déceler un surcroît de maladies dans une zone, est entaché d'une erreur de logique :

- Les simples lois du hasard font que certaines zones, sans aucune raison, auront davantage de malades, à probabilité constante ;
- La probabilité d'attraper la maladie peut varier naturellement d'une zone à l'autre, sans que l'indépendance soit remise en cause, du fait d'autres facteurs comme la mortalité infantile.

Si une cause externe, comme les lignes HT, devait se manifester, il faudrait alors la rechercher au moyen d'une "rupture d'indépendance". Ceci n'est jamais fait dans les études épidémiologiques. Cela signifierait que le nombre d'individus touchés, dans des groupes

homogènes, est plus élevé que ce qu'il devrait être. Prenons un exemple simple pour faire comprendre ceci : prenons 10 000 groupes, chacun constitués de jumeaux ayant vécu dans les mêmes conditions, et supposons que 5 000 de ces groupes soient constitués de personnes ayant vécu au voisinage des lignes HT et 5 000 autres loin des lignes.

La proportion de groupes dans lesquels les deux personnes ont ensemble la maladie devrait être plus élevée au voisinage des lignes. Ce qui caractérise la cause externe, c'est qu'elle frappe plus souvent les jumeaux ensemble que le simple hasard ne le ferait.

Nous voyons ici une faute de logique fondamentale dans l'étude GEOCAP : elle repose sur un modèle où tous les événements sont considérés comme indépendants (lignes HT ou non), alors qu'il faut précisément rechercher des "anomalies d'indépendance".

La notion d'indépendance en probabilités est très ancienne (pratiquement aussi ancienne que les probabilités elles-mêmes, de l'ordre de 350 ans). En ce qui concerne les variations naturelles dues au hasard, les principaux théorèmes sur les marches aléatoires datent du début du 20^{ème} siècle (ex. : Khintchine, loi du logarithme itéré, 1924). Voir par exemple le livre [MPPR].

Il serait assez facile d'étudier la variabilité naturelle due au hasard, mais, à notre connaissance, ceci n'a jamais été fait. Il faudrait pour cela découper la France en 650 zones de même population, à savoir 100 000 habitants (un tel découpage s'appelle une "carte d'Archimède", voir [AMW]), et compter le nombre de leucémies dans chaque zone. En le suivant dans le temps, on aurait aussi une indication : sont-ce toujours les mêmes zones qui ont des excès ?

C. Population témoin

Très grossièrement, l'étude GEOCAP cherche à montrer ceci : il y a plus de leucémies au voisinage des lignes à haute tension qu'ailleurs. Nous avons dit plus haut que cette approche résultait d'une faute de logique : la proportion de leucémies peut varier naturellement, et il se peut qu'il y ait des endroits où elle est naturellement plus élevée. Sans avoir étudié cette variabilité, on ne peut rien conclure à propos d'une localisation précise quelconque, ni celle des lignes HT, ni celle des pharmacies, ni celle des bassins dans les squares.

Mais, pour parvenir à évaluer la probabilité de leucémie au voisinage des lignes HT, l'étude GEOCAP utilise la notion de "population témoin", qui est elle-même entachée d'une erreur méthodologique majeure.

L'étude voudrait procéder de la façon suivante :

- a) Définir une population "cible", ayant reçu une "dose élevée" de champ magnétique ;
- b) Définir une "population de référence", plus large, et évaluer la dose qu'elle reçoit ;

- c) Estimer le nombre de malades dans la population cible et la population de référence, et comparer.

Considérons chacun de ces paragraphes tour à tour :

Population cible : l'étude admet qu'il s'agit des enfants dont le domicile est situé à proximité des lignes HT. Ceci pose de nombreuses difficultés, dont nous parlerons plus bas ; ce n'est pas l'objet du présent paragraphe.

Population de référence : c'est normalement la population française de même âge (ici 0-4 ans), puisqu'il s'agit d'une maladie infantile. Prendre l'ensemble de la population ne serait pas correct, puisque les adultes, par définition, ne peuvent avoir de "maladies infantiles".

Par contre, insistons-y bien, puisqu'on ne sait pas ce qui cause la leucémie, toute réduction de la population de référence est incorrecte, sur le plan de la logique. Il ne serait pas correct, par exemple, de se limiter aux enfants uniques, aux familles à bas revenu, etc.

Sous la forme la plus simple, l'étude consiste à se procurer les quatre nombres :

n_c : nombre de cas de leucémie dans la population cible (au voisinage des lignes HT) ;

N_c : population vivant au voisinage des lignes HT ;

n_T : nombre de cas de leucémie pour la population de référence (parmi tous les enfants de France) ;

N_T : population totale (tous les enfants de France).

On comparera ensuite les quotients $\frac{n_c}{N_c}$ et $\frac{n_T}{N_T}$; si le premier est très supérieur au second, on peut certainement se poser des questions (au moins, celle abordée dans le paragraphe plus haut, de la variabilité de la proportion de leucémies).

Le nombre n_c est connu : on connaît le nombre de leucémies au voisinage des lignes, ainsi que les nombres n_T (nombre total de leucémies) et N_T (population totale d'enfants). Il nous manque le nombre N_c : population d'enfants vivant au voisinage des lignes.

Pour l'estimer, l'étude Draper (voir [BP]) essayait de faire un recensement exhaustif des populations vivant à proximité de certaines lignes HT, mais l'évaluation est difficile : les enfants en bonne santé n'ont aucune raison de déclarer leur lieu de résidence ; par ailleurs, la résidence et la dose reçue sont deux choses différentes.

L'étude GEOCAP utilise le concept de cas-témoin, qui débouche sur une faute méthodologique, du fait de l'ignorance des lois fondamentales des probabilités.

En effet, les auteurs désignent un "panel-témoin" de 30 000 enfants, pour lesquels ils se procurent l'adresse. Deux erreurs sont commises :

1. La représentativité du panel

Le panel est présenté comme représentatif de la population pour un certain nombre de critères (âge révolu, nombre d'enfants dans le ménage, taille d'unité urbaine), mais, comme on ne sait pas ce qui cause la leucémie, cette représentativité est sans objet. Imaginons, pure hypothèse d'école, que la leucémie soit liée à la maigreur, ou bien à la couleur des cheveux, ou à ce que l'on voudra : on ne sait absolument pas si ce panel, fort réduit, est représentatif de la population générale des enfants, en ce qui concerne la maigreur ou la couleur des cheveux. Il y a là une erreur de logique fondamentale.

En particulier, et ceci est vraiment important ici, on ne sait pas si le panel est représentatif de la population des enfants en France pour le critère "distance aux lignes HT". On ne sait pas si, au sein du panel, la proportion d'enfants situés à moins de 50 m des lignes est la même que dans la population globale.

2. L'extrapolation du panel à la population de référence

Ce que fait l'étude est : définir un panel témoin, que l'on interroge en ce qui concerne sa distance aux lignes. Ce panel est constitué d'environ $N_p = 30\,000$ personnes. Il est censé être représentatif d'une population totale d'enfants $N_T = 11$ millions environ. Admettons que, par interrogation directe, on trouve un nombre n d'enfants du panel qui soient proches des lignes HT. Le raisonnement de l'étude est que le nombre total d'enfants proches des lignes HT est obtenu par un produit en croix, à savoir $n \times \frac{N_T}{N_p}$.

Or ceci n'est qu'une estimation, qui ne tient pas compte des incertitudes probabilistes (nous ne parlons pas ici des incertitudes de comptage !). Ce que dit la théorie, c'est que, avec probabilité 90%, le nombre total d'enfants au voisinage des lignes est compris entre

deux bornes $n \times \frac{N_T}{N_p} - \alpha$ et $n \times \frac{N_T}{N_p} + \alpha$: c'est l'équivalent de l'intervalle de confiance dans

un sondage. Or, le panel étant très restreint (seulement 30 000 personnes), la population totale étant très grande (11 millions) et les individus retenus étant très peu nombreux (quelques unités), l'intervalle de confiance à 90% est extrêmement large.

Pour bien faire comprendre ces arguments, analysons l'étude sur la situation spécifique la plus caractéristique : celle des enfants situés à proximité immédiate des lignes de plus fort voltage.

GEOCAP met en avant une possible incidence de la proximité de lignes à haute tension sur les leucémies aiguës plus forte sur les enfants de moins de 5 ans, vivant à moins de 50 m d'une ligne de plus de 225 kV.

La meilleure précision quant au positionnement des témoins est obtenue lorsque les sujets sont géocodés "au domicile". Nous étudierons donc ces données, dans le cas où l'étude porte sur le plus grand nombre total de témoins possible, avec la meilleure précision ; c'est le tableau qui suit :

	Distance "au domicile"	
	Tous sujets	
	Cas	Témoins
0-49m	3	7
Total	2 774	30 000

Dans ce cas précis, sur 30 000 enfants, on en trouve 7 âgés de moins de 5 ans, vivant à moins de 50 m d'une ligne à haute tension délivrant plus de 225 kV. Ainsi, si on considère que cet échantillon est représentatif de la population globale des enfants (nous n'en savons rien, voir plus haut), on en trouverait 2 627 sur un total de 11 258 747 répondant exactement aux mêmes critères.

Mais ce raisonnement n'est pas juste.

Dans le livre [NMP], la proposition page 90 explique comment prendre en compte les incertitudes.

Les notations sont les mêmes que précédemment :

- N_p : taille du panel (ici 30 000) ;
- n : le nombre de témoins dans une situation donnée S_0 (ici 7) ;
- N_T population totale ;
- p : proportion de témoins dans la situation S_0 , avec $p = \frac{n}{N_p}$

D'après le livre, l'intervalle de confiance que l'on cherche à obtenir se définit ainsi :

$$I' = [\mu - \eta', \mu + \eta']$$

avec :

$$\eta' = \sqrt{\frac{p(1-p)}{N_p \varepsilon}}$$

Dans notre exemple, nous cherchons à obtenir un encadrement à 90%. Nous avons donc :

$$\varepsilon = 0.1$$

$$\mu = \frac{n}{N} = 2.33 \times 10^{-4}$$

Ainsi :

$$\eta' = \sqrt{\frac{\mu(1-\mu)}{N \varepsilon}} = 2.79 \times 10^{-4}$$

Et l'intervalle de confiance est :

$$I' = [\mu - \eta', \mu + \eta'] = [-4.55 \times 10^{-5}, 5.12 \times 10^{-4}]$$

Cet encadrement appliqué à la population totale (environ 11 millions d'enfants) devient :

$$I = [0, 5767]$$

Comme on voit, l'intervalle de confiance à 90% est extrêmement large. Ceci provient du fait que connaître 7 personnes sur 30 000 donne une très mauvaise indication sur onze millions !

Les trois cas de leucémies aiguës trouvées chez des enfants de 0 à 4 ans, vivant à moins de 50 m d'une ligne de plus de 225 kV correspondent à une étude menée sur 6 ans. Ceci donne donc 0.5 cas détectés par an, sur 5 767 enfants (en prenant l'intervalle le plus large obtenu ci-dessus).

En ramenant ce résultat à 100 000 enfants, on obtient un taux de 9/100 000. Cette valeur est supérieure aux chiffres nationaux, qui sont de 4/100 000 pour les leucémies aiguës. Il reste à savoir si le chiffre de "3" est fiable : selon que l'on attribue un cas à la zone des moins de 50 m ou au-delà, à une année ou à une autre, les résultats vont être différents. Il reste aussi à savoir quelle est la variabilité de la leucémie en France, comme nous l'avons dit précédemment. La moyenne est de 4 pour 100 000, mais il est

très possible que l'on observe des chiffres beaucoup plus élevés, sans aucun lien avec les lignes HT.

Mentionnons au passage que la méthode de l'oddsratio, utilisée par GEOCAP (et par beaucoup d'épidémiologistes) n'est pas correcte mathématiquement ; le paragraphe qui précède indique quelle méthode doit être suivie, et comment les incertitudes sont appréciées.

D. Nombreuses approximations

Outre les erreurs de logique et les erreurs de méthodologie que nous venons de voir, l'étude repose sur de nombreuses "approximations" ou simplifications, qui sont difficilement acceptables.

L'étude admet, pour la population cible, qu'il s'agit des enfants dont le domicile est situé à proximité des lignes HT, mais ceci ne constitue pas une "mesure de dose" : quelqu'un peut habiter près des lignes et vivre ou passer une proportion importante de son temps ailleurs (même pour un enfant de 4 ans : crèche, nourrice, etc.).

L'historique de l'habitat des enfants n'est pas connu. Pour les cas, l'adresse utilisée n'est pas claire (adresse au moment du géocodage ? au moment de l'inscription dans le registre des leucémies de l'enfant ? dernière adresse connue ?). Pour les témoins, l'adresse utilisée est la dernière connue, mais l'enfant pouvait n'y avoir habité que très peu de temps et avoir été exposé dans son habitat antérieur.

Il n'y a pas de tentative pour reconstituer le mode de vie ou l'habitat des enfants atteints.

Les autres causes d'exposition aux champs électromagnétiques sont totalement ignorées (cablage des maisons, radio-réveils par exemple).

Enfin, la distance aux lignes est entachée d'incertitude, sur laquelle il y a une discussion d'importance disproportionnée par rapport aux autres facteurs.

Deux types de distance sont utilisés dans GEOCAP ; l'une provient de la géolocalisation "automatique" (à la boîte aux lettres) et l'autre du géocodage "au domicile".

Par défaut la distance est automatique, tout en prenant en compte l'imprécision déduite pour chaque cas témoin, qui dépend de l'adresse connue pour chacun. Pour les cas potentiellement situés à moins de 200 m des sources (en tenant compte de l'imprécision), la distance à domicile est utilisée. Celle-ci est obtenue à l'aide de la position exacte du bâtiment, et les incertitudes liées à l'adresse disparaissent alors (mais non les incertitudes dues aux imprécisions des appareils utilisés pour la localisation et pour la mesure).

D'une manière générale, l'estimation de l'exposition aux champs électromagnétiques 50 Hz repose sur des hypothèses, dont la validité n'a pas été étudiée. Il aurait été au minimum nécessaire d'utiliser, pour un nombre significatif de cas et de témoins, une mesure réelle de l'exposition pendant quelques jours (en faisant porter un dispositif de mesure ad hoc à l'enfant) et de la comparer aux estimations utilisant le géocodage pour apprécier la validité de cette approche.

Ces incertitudes majeures, dans le temps et l'espace, sur l'exposition réelle sont d'autant plus graves que cette étude a été précédée de dizaines d'autres consacrées au même risque, et que l'on savait que le risque de leucémie de l'enfant créé par les lignes de transport de l'électricité était très faible ou inexistant.

L'incertitude sur les expositions étant la grande faiblesse des études antérieures, une nouvelle étude n'aurait eu de sens que si elle proposait une méthode d'estimation de l'exposition plus robuste que les études antérieures. Or c'est le contraire : l'étude Géocap représente une régression importante par rapport aux études utilisant une dosimétrie personnelle fondée sur des mesures ; elle ramène pratiquement aux temps du « code de câblage » de Wertheimer et Leeper, première étude sur ce sujet datant de plus de trente ans. Voir [Wertheimer].

On trouvera dans l'exposé d'André Aurengo [Aurengo] une liste de différents biais susceptibles d'entacher les études épidémiologiques. La plupart s'appliquent au cas présent.

E. Ignorance des lois de la physique

L'étude GEOCAP fait, en permanence, référence au "champ magnétique" créé par les lignes HT, et jamais au champ électrique. Il y a une discussion en fonction de la distance aux lignes, comme si les lois d'atténuation du champ magnétique n'étaient pas connues.

La loi de décroissance avec la distance est, pour un conducteur rectiligne dans le vide :

$$B = c \frac{I}{d}$$

où :

- B est la valeur du champ magnétique (en Teslas) ;
- c est la perméabilité magnétique du vide ($1,26 \cdot 10^{-6} \text{T.m/A}$) ;
- I la valeur du courant (en Ampères) ;
- d la distance (en mètres).

Une démonstration de cette formule est rappelée dans notre rapport [BP], adressé à RTE en 2009. Elle donne une bonne approximation dans le cas des lignes HT.

La valeur d'un champ magnétique ne dépend que de l'intensité du courant et non du voltage ; or l'étude différencie entre deux lignes selon le voltage et ne se renseigne pas quant au courant !

La charge de la ligne (intensité du courant) varie tout le temps au cours de la journée, dans des proportions importantes et cette variation n'est pas prise en compte.

Si on est à 100 m d'une ligne transportant 500 Ampères, on reçoit le même champ magnétique que si on est à 1 m du câble alimentant une cuisinière (5 Ampères). La fréquence des deux champs est la même (50 Hz).

Cette formule de décroissance, très simple,

- devrait figurer sur les sites web de RTE ("la clef des champs", etc.) ;
- aurait dû être rappelée aux auteurs de l'étude.

Comme il se trouve encore des gens qui ne croient pas aux lois de la physique, ou bien qui ne les connaissent pas, des mesures ont été faites à proximité des lignes HT ; elles ont donné les résultats suivants :

Ligne 1 : HauteTension 225.000 Volts avec hauteur moyenne des câbles de 19 m.

Les mesures ont été faites selon un axe perpendiculaire à celui des câbles, et à distances au sol variant de zéro à 40 m, tous les 10 m.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs du champ magnétique obtenues en fonction de la distance aux câbles HT.

Distance (m)	Valeur du champ magnétique (μ T)
0	6,19
10	4,41
20	1,85
30	0,5
40	0,36

Ligne 2 : Très haute tension (THT) de 400.000 Volts avec hauteur moyenne des câbles de 28,5 m

Les mesures ont été faites dans les mêmes conditions que la ligne 1 selon un axe perpendiculaire à celui des câbles sur une distance au sol variant de 0 m à 120m avec un point tous les 20 m. Sonde à 1,70m de hauteur au dessus du sol.

Distance (m)	Valeur du champ magnétique (μT)
0	9,97
20	6,4
40	3,22
60	1,85
80	1,16
100	0,81
120	0,61

Ainsi au plus proche de ces lignes, le champ magnétique mesuré est environ :

- 6 μT pour la ligne 1 ;
- 10 μT pour la ligne 2.

Le champ magnétique terrestre varie de 30 μT à 60 μT selon la localisation sur la Terre. Dans le centre de la France, la valeur du champ magnétique est de 47 μT .

Les valeurs mesurées pour les lignes de 225 kV et 400 kV au plus près de celles-ci (0 m) sont donc inférieures au champ magnétique terrestre. Assurément, le champ magnétique terrestre est statique, mais l'étude GEOCAP prétend prendre en compte les "champs magnétiques", sans autre précision ; la référence au champ terrestre est pertinente dans ces conditions.

On peut aussi comparer les valeurs du champ émis par les lignes THT avec les valeurs de champs magnétiques générés par divers objets du quotidien :

Valeurs caractéristiques de l'intensité du champ magnétique à diverses distances de certains appareils électriques (alimentation 50 Hz)

(Source : Office fédéral de protection contre les rayonnements, Allemagne 1999).

On notera que le niveau d'exposition effectif varie très sensiblement en fonction du modèle et de la distance à l'appareil.

Appareil	Intensité du champ magnétique (μT)		
	À 3 cm (μT)	À 30 cm (μT)	À 1 m (μT)
Sèche-cheveux	6-2000	0,01-7	0,01-0,03
Rasoir électrique	15-1500	0,08-9	0,01-0,03
Aspirateur	200-800	2-20	0,13-2
Tube fluorescent	40-400	0,5-2	0,02-0,25
Four microondes	73-23	4-8	0,25-0,6
Radio portable	16-56	1	< 0,01
Four électrique	1-50	0,15-0,5	0,01-0,04
Lave-linge	0,8-50	0,15-3	0,01-0,15
Fer à repasser	8-30	0,12-0,3	0,01-0,03
Lave-vaisselle	3,5-20	0,6-3	0,07-0,3
Ordinateur	0,5-30	< 0,01	
Réfrigérateur	0,5-1,7	0,01-0,25	< 0,01
Téléviseur couleur	2,5-50	0,04-2	0,01-0,15

De nombreux appareils électriques, utilisés dans des conditions normales, génèrent des champs magnétiques supérieurs à ceux des lignes HT.

La participation de RTE à cette étude aurait dû se traduire par une description simple et effective des lois de la physique : décroissance du champ magnétique avec la distance, comparaison avec le champ magnétique terrestre.

On ne comprend pas pourquoi l'étude se focalise sur le champ magnétique ; les courants alternatifs génèrent aussi un champ électrique.

IV. L'étude n'aurait jamais dû être lancée

L'approche suivie par cette étude était connue dès la soumission du projet : approche cas témoin, se focalisant sur la proximité des lignes HT. Indépendamment des résultats, cette approche est intrinsèquement incorrecte et n'aurait jamais dû être acceptée dans son principe même :

- On ne peut pas incriminer un élément extérieur (ici la proximité des lignes HT) dans un phénomène dont on ne connaît pas d'avance la variabilité globale ;
- L'approche suivie n'est pas susceptible de mettre en évidence une influence extérieure, mais seulement une variabilité locale.

Elle choisit le champ magnétique comme "vecteur de dangerosité", mais ignore absolument toutes les connaissances acquises relativement au champ magnétique : lois physiques relatives à la propagation, mesures déjà faites.

Il y a, de manière générale, en sciences, une obligation de connaissance des travaux antérieurs, et de faire référence à ceux-ci. Nous sommes ici, avec ce genre d'étude épidémiologique, en présence d'une "pseudo-science" (comme dit Richard Feynman) qui se nourrit d'elle-même et veut ignorer superbement tout ce qui a pu se faire à ce jour en mathématiques et en physique.

V. Références

[Aurengo] André Aurengo : Epidémiologie, l'ère du soupçon. Conférence faite lors du séminaire de la SCM, février 2010.

http://www.scmsa.eu/archives/SCM_Aurengo_2010_02_17.pdf

[MPPR] Bernard Beauzamy : Méthodes Probabilistes pour l'étude des phénomènes réels. Ouvrage édité et commercialisé par la Société de Calcul Mathématique SA, ISBN 2-9521458-0-6, ISSN 1767-1175. Mars 2004.

[NMP] Bernard Beauzamy : Nouvelles Méthodes Probabilistes pour l'évaluation des risques. Ouvrage édité et commercialisé par la Société de Calcul Mathématique SA. ISBN 978-2-9521458-4-8. ISSN 1767-1175, avril 2010.

[AMW] Bernard Beauzamy : Archimedes' Modern Works. Ouvrage édité et commercialisé par la Société de Calcul Mathématique SA. ISBN : 978-2-9521458-7-9, ISSN : 1767-1175, août 2012.

[BP] Essai de définition des bonnes pratiques en épidémiologie, méthodologie probabiliste, rapport SCM SA, 2009.

http://scmsa.eu/archives/Rapport_SCM_Bonnes_pratiques_epidemie_2009.pdf

[Haematol] Br J Haematol, Kharazmi E, da Silva Filho MI, Pukkala E, Sundquist K, Thomsen H, Hemminki K. 2012 Dec;159(5):585-8. doi: 10.1111/bjh.12069. Epub 2012 Oct 1. Familial risks for childhood acute lymphocytic leukaemia in Sweden and Finland: far exceeding the effects of known germline variants.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23025517>

[Wertheimer] Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am J Epidemiol. 1979 Mar;109(3):273-84.

VI. Documents remis

SERMAGE-FAURE Claire, *Incidence des leucémies de l'enfant en fonction de la proximité et des caractéristiques générales de diverses sources d'expositions environnementales*

INSERM, Université Paris-Sud, RNHE, RTE, *Leucémies de l'enfant au voisinage des lignes à haute tension – L'étude Geocap, 2002-2007*

Gerald DRAPER, Tim VINCENT, Mary E KROLL, John Swanson, *Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales : a case control study*

Myron MASLANYJ, Jill SIMPSON, Eve ROMAN, Joachim SCHÜZ, *Power frequency magnetic fields and risk of childhood leukemia: misclassification of exposure from the use of the “distance from power line” exposure surrogate*

John SWANSON, *Methods used to calculate exposures in two epidemiological studies of power lines in the UK*

Jérôme BESSOU, François DESCHAMPS, Lionel FIGUEROA, Damien COUGNAUD, *Methods used to estimate residential exposure to 50 Hz magnetic fields from overhead power lines in an epidemiological study in France*