



**Ministère de la Santé
et des Services sociaux**

**Position des autorités
de santé publique sur la gestion
des champs magnétiques émis
par les lignes électriques**

14-208-01W

ÉDITION

La Direction des communications du ministère de la Santé et des Services sociaux

Le présent document a été édité en quantité limitée et n'est maintenant disponible qu'en version électronique à l'adresse : **www.msss.gouv.qc.ca** section **Documentation**, rubrique **Publications**.

Le genre masculin utilisé dans ce document désigne aussi bien les femmes que les hommes.

Dépôt légal
Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2014
Bibliothèque et Archives Canada, 2014

ISBN : 978-2-550-71840-6 (version PDF)

Tous droits réservés pour tous pays. La reproduction, par quelque procédé que ce soit, la traduction ou la diffusion du présent document, même partielles, sont interdites sans l'autorisation préalable des Publications du Québec. Cependant, la reproduction partielle ou complète du document à des fins personnelles et non commerciales est permise, uniquement sur le territoire du Québec et à condition d'en mentionner la source.

Comité scientifique sur les champs électromagnétiques

Membres (en ordre alphabétique)

Monique Beausoleil, Direction régionale de santé publique de Montréal-centre

Agathe Croteau, Institut national de santé publique du Québec

Albert Daveluy, ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec

Mathieu Gauthier, Institut national de santé publique du Québec

Denis Gauvin, Institut national de santé publique du Québec

Renée Levaque, présidente TNCSE, Direction régionale de santé publique de la Capitale-Nationale

Marion Schnebelen, ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec

Slavko Sebez, Direction régionale de santé publique de la Capitale-Nationale

Réviseurs du rapport du Comité scientifique sur les champs électromagnétiques

François Desbiens, Direction régionale de santé publique de la Capitale-Nationale

Philippe Lessard, directeur régional de santé publique de Chaudière-Appalaches

Blandine Piquet-Gauthier, directrice adjointe de santé publique du centre régional de santé et services sociaux de la Baie-James

Jocelyne Sauvé, directrice régionale de santé publique de la Montérégie

Table des matières

LISTE DES TABLEAUX.....	IV
LISTE DES FIGURES.....	V
LISTE DES SIGLES, DES ACRONYMES ET DES ABRÉVIATIONS	VI
RÉSUMÉ ADMINISTRATIF.....	VII
1. INTRODUCTION	1
2. CONCLUSIONS ET ORIENTATIONS PROPOSÉES ANTÉRIEUREMENT PAR LES GROUPES DE TRAVAIL	2
3. NIVEAUX D'EXPOSITION AU CM	2
4. ÉVALUATION DES EFFETS SUR LA SANTÉ.....	5
4.1. Revue récente – principaux impacts examinés.....	5
4.2 Les études épidémiologiques relatives au risque de leucémie chez l'enfant	5
4.2.1. Méta-analyses des études épidémiologiques.....	6
4.2.2. Biais et puissance statistique des études épidémiologiques.....	8
4.2.3. Impact sur la santé de la population (estimation du nombre de cas de leucémie potentiellement attribuables à l'exposition au CM au Québec)	10
4.2.4. Conclusion concernant les études épidémiologiques	11
4.3. Études cellulaires et animales.....	12
4.4. Mécanisme d'interaction entre les CMEBF et les tissus biologiques	13
4.5. Discussion.....	13
4.5.1. Évaluation de la documentation scientifique	14
4.5.2. Interprétation des valeurs d'exposition utilisées dans les méta-analyses.....	15
4.5.3. Coût et efficacité	16
4.5.4. Perspective	16
5. NORMES ET LIGNES DIRECTRICES.....	17
5.1. Valeurs limites recommandées par l'ICNIRP et l'IEEE	17
5.2. Règlementation à travers le monde et au Canada.....	18
6. POLITIQUES ADOPTÉES EN MATIÈRE DE CMEBF	18
6.1. Organisation mondiale de la Santé (OMS).....	18
6.2. Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFSSET).....	19
6.3. Santé Canada.....	20
6.4. Au Québec.....	21
7. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	22
7.1. Conclusion sur les effets sur la santé des CMEBF	22
7.2. Recommandations	23
7.2.1. Au ministère de la Santé et des Services sociaux et à l'Institut national de santé publique du Québec.....	23
7.2.2. Au ministère de la Santé et des Services sociaux et aux directions régionales de santé publique.....	23
7.2.3. Aux directions régionales de santé publique.....	23
7.2.4. Aux promoteurs d'installations électriques.....	24
ANNEXE 1 : FIGURES DES MÉTA-ANALYSES	25
RÉFÉRENCES DES ÉTUDES ORIGINALES AYANT FAIT L'OBJET DES DIFFÉRENTES MÉTA-ANALYSES.....	30
ANNEXE 2 : PROCÉDURE D'ÉVALUATION ET D'EXAMEN DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT (PEEIE)	32
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	34

LISTE DES TABLEAUX

- TABLEAU 1 : NIVEAUX DE CMEBF MESURÉS SOUS LES LIGNES ÉLECTRIQUES ET EN BORDURE DE L'EMPRISE DE CES LIGNES ÉLECTRIQUES;
- TABLEAU 2 : ESTIMATION DE L'EXPOSITION AU CMEBF PRÈS DES LHT ET LD SOUTERRAINES;
- TABLEAU 3 : FRACTIONS ATTRIBUABLES (%), CAS ATTRIBUABLES ET EXCÈS DE RISQUE DURANT LES DIX-SEPT PREMIÈRES ANNÉES DE VIE SELON LA DISTRIBUTION DE L'EXPOSITION ET L'AMPLEUR DE L'ASSOCIATION;
- TABLEAU 4 : LIMITES D'EXPOSITION POUR LA POPULATION GÉNÉRALE AU CHAMP MAGNÉTIQUE DE 60 HZ.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : ILLUSTRATION DE RÉSULTATS OBTENUS PAR LES MÉTA-ANALYSES;

FIGURE 2 : MÉTA-ANALYSE D'ÅHLBOM (2000), $\geq 0,4$ MT;

FIGURE 3 : MÉTA-ANALYSE DE GREENLAND (2000), $> 0,3$ MT;

FIGURE 4 : MÉTA-ANALYSE DE KHEIFETS (2010), $\geq 0,3$ MT;

FIGURE 5 : MÉTA-ANALYSE GLOBALE POUR $>$ OU $\geq 0,3$ MT.

LISTE DES SIGLES, DES ACRONYMES ET DES ABRÉVIATIONS

AFSSET	Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail
BAPE	Bureau d'audiences publiques du Québec
CEM	Champ électromagnétique
CEMEBF	Champ électromagnétique d'extrêmement basses fréquences
CGEDD	Conseil général de l'environnement et du développement durable (France)
CIRC	Centre international de recherche sur le cancer
CM	Champ magnétique
CMEBF	Champ magnétique d'extrêmement basses fréquences
CFPTRP	Comité fédéral-provincial-territorial de la radioprotection
DRSP	Direction régionale de santé publique
DSP	Directeur de santé publique
IARC	International Agency for Research on Cancer
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Commission internationale de protection contre les rayonnements non-ionisants)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INSPQ	Institut nationale de santé publique du Québec
LD	Ligne de distribution
LHT	Ligne à haute tension
MAS	Mesure d'association synthèse (risque relatif ou rapport de cotes)
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec
OPECST	Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (France)
OMS	Organisation mondiale de la santé
PEEIE	Procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement
RR	Risque relatif
μT	Microtesla = 10^{-6} T

RÉSUMÉ ADMINISTRATIF

Le Comité scientifique sur les champs électromagnétiques (CEM) a été créé en juin 2011 à la demande de la Table de coordination nationale de santé publique (TCNSP). Ce comité était composé de représentants du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (MSSS), de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) et de directions régionales de santé publique (DRSP). Son mandat est de proposer une position des autorités de santé publique sur les champs magnétiques d'extrêmement basses fréquences (CMEBF) afin que leurs recommandations touchant particulièrement les projets de lignes électriques soient harmonisées et cohérentes d'une région à l'autre.

Le Comité scientifique sur les CEM considère que l'évaluation de l'ensemble des éléments de preuves ne permet pas de conclure qu'il y a présence d'effets néfastes sur la santé à la suite d'une exposition aux CMEBF aux niveaux d'intensité habituellement présents dans l'environnement.

L'évaluation d'études épidémiologiques par méta-analyses montre la possibilité d'un risque accru de leucémie chez l'enfant exposé aux CMEBF. Bien que l'association observée ne soit probablement pas simplement attribuable au hasard, on ne peut exclure la possibilité que l'association soit due à une combinaison de biais présents dans les études épidémiologiques. De plus, l'absence d'un mécanisme d'action plausible et de preuves en provenance d'études en laboratoire, en incluant les résultats de nombreuses études cellulaires et animales font que, dans l'ensemble, les preuves d'une association entre l'exposition aux champs magnétiques de 50 à 60 Hz et la leucémie chez l'enfant sont faibles et non convaincantes (OMS, 2007).

Le Comité scientifique considère qu'il n'y a pas de fondement scientifique à l'adoption d'une limite d'exposition aux CMEBF qui serait inférieure à celle des normes ou des lignes directrices établies. Ainsi, le Comité ne propose pas de limite d'exposition au champ magnétique ni de distance minimale à maintenir avec une source d'exposition ni de zone d'exclusion pour de nouvelles constructions de certains établissements (hôpitaux, garderies, etc.) près des lignes à haute tension (LHT). Cette position rejoint notamment la position de l'Organisation mondiale de la Santé (2007), de Santé Canada (2012) et de l'Institut national de santé publique du Québec (2006).

À la lumière de cette évaluation, le Comité scientifique a proposé quatre recommandations s'adressant aux autorités de santé publique et aux promoteurs d'installations électriques. Ces recommandations portent sur :

- la vigilance scientifique : mettre à jour des connaissances (MSSS et INSPQ);
- la communication du risque à la population (MSSS et DRSP);
- l'évaluation des impacts : bonifier les projets d'installations électriques (DRSP);
- la communication et la consultation (promoteurs de projets électriques).

Les recommandations du Comité scientifique et son rapport ont été adoptés à l'unanimité par la Table de coordination nationale de santé publique (TCNSP) le 16 octobre 2014, pour constituer ainsi la *Position des autorités de santé publique sur la gestion des champs magnétiques émis par les lignes électriques*.

1. INTRODUCTION

Depuis le début des années 1980, le réseau de la santé publique du Québec s'intéresse aux effets potentiels sur la santé humaine de l'exposition aux champs électromagnétiques (CEM) d'extrêmement basses fréquences (EBF) (60 Hertz) émis par les lignes électriques. Les Directions régionales de santé publique ont été régulièrement appelées à se prononcer sur ce risque, notamment lors des audiences du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE), en lien avec des projets de construction de nouvelles lignes à haute tension (LHT) ou de postes de transformation.

En 1987, le ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec a créé un Comité de suivi des études sur les effets des LHT sur la santé et en a coordonné les activités pendant plusieurs années. En 2000 et 2006, le MSSS a demandé à deux groupes de travail de revoir la documentation scientifique relative aux risques associés à l'exposition au champ électrique et au champ magnétique (CM) provenant des lignes électriques et d'émettre des recommandations quant à la conduite à tenir (INSPO, 2000; INSPO, 2006).

Depuis, de nouvelles études épidémiologiques et méta-analyses d'études épidémiologiques ont été publiées en ce qui a trait à l'exposition au CMEBF¹ et au risque cancérigène. De plus, des organisations de santé reconnues, comme l'Organisation mondiale de la Santé (OMS, 2007) et l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFSSET, 2010a) (aujourd'hui appelée l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES)), ont publié des rapports d'expertise après avoir revu l'ensemble de la documentation scientifique disponible.

Dans le cadre de la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement (PEEIE) des projets de lignes électriques prévus dans différentes régions du Québec au cours des prochaines années, les directeurs de santé publique (DSP) souhaitaient l'établissement d'une position des autorités de santé publique commune sur la gestion des champs magnétiques en provenance de ces sources. Cette position harmonisée faisant consensus entre les DRSP est essentielle au regard des avis donnés par le MSSS, en collaboration avec les DRSP, sur la recevabilité des études d'impact et l'acceptabilité de ces projets.

Un nouveau comité scientifique sur les CM a donc été créé en juin 2011 par la Table nationale de concertation en santé environnementale (TNCSE) à la demande de la Table de coordination nationale de santé publique (TCNSP). Ce comité était composé de représentants du MSSS, de l'Institut national de santé publique du Québec et de Directions régionales de santé publique. Il avait pour mandat de proposer une position des autorités de santé publique cohérente sur le dossier des CMEBF et la santé physique de la population générale. Cette position devait être basée sur une revue des principaux documents scientifiques parus depuis 2006 concernant les effets des CM, sur les niveaux d'exposition actuels de la population et sur la comparaison de ces niveaux aux limites d'exposition adoptées à l'étranger dans ce domaine. Bien qu'ils soient importants à considérer, lors de l'évaluation globale des projets, les impacts psychosociaux qui peuvent découler des projets d'installations électriques n'ont pas été abordés dans le cadre de ce document.

1. Puisque la controverse à propos d'un lien causal entre les CEM et les effets sur la santé est principalement associée au CM, l'évaluation du comité scientifique porte uniquement sur cette composante des CEM.

2. CONCLUSIONS ET ORIENTATIONS PROPOSÉES ANTÉRIEUREMENT PAR LES GROUPES DE TRAVAIL

En 2000, un groupe de travail mandaté par le MSSS et composé de neuf experts des DRSP et d'universités a revu la documentation et a produit un rapport consensuel sur l'évaluation et la gestion des risques associés à l'exposition aux CEM provenant des lignes électriques (INSPQ, 2000). Il concluait que le risque d'effets néfastes sur la santé lié à l'exposition chronique aux CEM demeurait incertain et que le lien causal entre une exposition chronique aux CEM et l'apparition de cancers (dont la leucémie chez l'enfant) n'était pas établi. Il soulignait cependant que si le risque pour la santé lié aux CEMEBF était réel, l'impact de l'exposition aux CEM provenant de toutes sources serait non négligeable compte tenu du type de problème de santé (leucémie) et de la clientèle (enfants). Le groupe considérait alors qu'on ne pouvait établir de niveau limite d'exposition ni préconiser une distance minimale à respecter pour les lignes LHT. L'application du principe de précaution leur semblait pertinente pourvu que les mesures retenues soient raisonnables compte tenu du niveau d'incertitude et des impacts socioéconomiques. Le groupe avait formulé des recommandations au MSSS, notamment :

- de recommander au gouvernement du Québec de se doter d'une politique de gestion prudente de l'exposition aux CEM provenant des LHT;
- de suivre l'évolution des connaissances (effets sur la santé et le niveau d'exposition aux CEM) et d'en informer le public;
- d'évaluer les mesures raisonnables de réduction possibles des CEM dans les scénarios suivants : nouvelle LHT près des habitations, des nouvelles écoles et des garderies près des LHT, utilisation des emprises;
- de mettre sur pied un groupe élargi qui proposerait un modèle de gestion approprié qui comprendrait des mesures raisonnables de réduction des CEM.

En 2006, un nouveau groupe de professionnels provenant de l'INSPQ, du MSSS et d'une DRSP avait conclu qu'un faible risque de leucémie chez l'enfant demeurait toujours possible, mais qu'aucun lien de cause à effet n'était démontré (INSPQ, 2006). L'INSPQ recommandait alors au MSSS de prendre position sur la gestion des CEM et de se doter d'une approche de précaution considérant la sensibilité des enjeux autour du risque de leucémie chez l'enfant et les incertitudes scientifiques quant à la détermination d'un lien causal. Il avait également recommandé au MSSS :

- de poursuivre ses actions de vigilance quant aux risques associés aux CEM;
- de mieux documenter les diverses sources d'exposition aux CEM;
- de créer un groupe de travail réunissant les principales organisations concernées par cette problématique afin d'évaluer et de proposer, le cas échéant, des mesures raisonnables et appropriées de gestion des CEM au Québec;
- de rendre disponible au grand public l'information quant aux risques sur la santé des CEM.

3. NIVEAUX D'EXPOSITION AU CM

La controverse liée à l'exposition au CMEBF s'est principalement cristallisée autour des LHT du réseau de transport d'électricité d'Hydro-Québec. Néanmoins, l'exposition de la population au CM provient de sources multiples.

Le niveau du CM à proximité des lignes électriques est bien documenté et des systèmes de modélisation permettent d'obtenir un portrait assez fiable de ces infrastructures. Le tableau 1 présente l'intensité du CM selon le type de lignes aériennes et la proximité avec celles-ci. L'intensité du CM mesuré directement sous la ligne varie de 3,9 à 15,3 microteslas (μT) (durant l'hiver) pour les LHT et de 0,3 à 1,4 μT pour les lignes de distribution (LD). L'intensité maximale du CM à l'intérieur d'un édifice situé immédiatement à la limite de l'emprise d'une LHT de 735 kV (soit à 40 mètres du centre de la ligne) est de 3,3 μT au niveau du sol. La hauteur de la prise de mesure (qui permet de connaître l'exposition des individus vivant dans un édifice à plusieurs étages) aura une influence directe sur l'intensité du CM. Ainsi, le niveau maximal mesuré à la limite de l'emprise de la même LHT de 735 kV est de 4,4 μT lorsque la mesure est prise au 5^e étage (environ 15 mètres du sol). Cette variation du niveau de CM en fonction de la hauteur est également observée pour les LD, qu'elles soient monophasées ou triphasées. Par exemple, les niveaux de CM mesurés dans un appartement situé au 2^e ou 3^e étage d'un édifice localisé à 5 mètres d'une LD triphasée (une situation pouvant être observée en milieu urbain) atteignent 3,5 à 5,0 μT .

TABEAU 1 : NIVEAUX DE CMEBF MESURÉS SOUS LES LIGNES ÉLECTRIQUES ET EN BORDURE DE L'EMPRISE DE CES LIGNES ÉLECTRIQUES

Endroit de mesure	Lignes à haute tension			Lignes de distribution	
	735 kV	315 kV	120 kV	Triphasée	Monophasée
Sous la ligne	15,3 μT^*	7,1 μT^*	3,9 μT^*	1,4 μT	0,3 μT

Endroit de mesure		Lignes à haute tension			Lignes de distribution	
		735 kV	315 kV	120 kV	Triphasée	Monophasée
Hauteur du sol		À 40 m**	À 20 m**	À 15 m**	À 5 m	À 5 m
		du centre de la ligne	du centre de la ligne	du centre de la ligne	du centre de la ligne	du centre de la ligne
0 m	Au rez-de-chaussée	3,3 μT	1,5 μT	0,5 μT	1,4 μT	0,3 μT
3 m	Au 1 ^e étage	3,6 μT	1,8 μT	0,7 μT	2,5 μT	0,5 μT
6 m	Au 2 ^e étage	3,8 μT	2,2 μT	0,9 μT	3,5 μT	1,1 μT
9 m	Au 3 ^e étage	4,0 μT	2,6 μT	1,1 μT	5,0 μT	1,7 μT
12 m	Au 4 ^e étage	4,2 μT	3,0 μT	1,3 μT	4,7 μT	1,6 μT
15 m	Au 5 ^e étage	4,4 μT	3,2 μT	1,3 μT	2,7 μT	1,1 μT
18 m	Au 6 ^e étage	4,4 μT	3,2 μT	1,2 μT	1,5 μT	0,8 μT

*CM estimé en hiver (source : Hydro-Québec, 2012)

** Distance de l'emprise de la ligne de chaque côté de la LHT

L'enfouissement des lignes électriques permet de diminuer l'exposition au CM, et ce, malgré la réduction de la distance entre cette ligne et les édifices avoisinants. Ainsi, l'intensité du CM estimée directement au-dessus d'une LHT souterraine (0 m) durant l'hiver est de 3,6 μT et elle diminue à 0,47 μT lorsqu'on s'éloigne à 6 mètres de cette ligne (voir tableau 2). Ces estimations sont du même ordre de grandeur que celles réalisées dans le cadre du projet d'enfouissement de LHT dans le secteur de Limoilou à Québec (Hydro-Québec, 2012). Quant aux LD souterraines, les niveaux de CM estimés ont diminué de manière similaire, soit 0,9 μT directement au-dessus de la ligne (0 m) et 0,1 μT à 5 mètres de distance de celle-ci.

TABLEAU 2 : ESTIMATION DE L'EXPOSITION AU CMEBF PRÈS DES LHT ET LD SOUTERRAINES

Type de lignes	Distance de la ligne (m)	Champ magnétique (μT)
Ligne à haute tension*	0	3,6
	3	1,36
	6	0,47
Ligne de distribution	0	0,9
	5	0,1
	10	0,03

*CM estimé en hiver (source : Hydro-Québec, 2012)

L'exposition au CM associée à l'utilisation d'appareils électriques à usage domestique est également connue. Certains appareils d'utilisation courante peuvent générer des niveaux supérieurs à ce qui est observé à proximité des LD ou de LHT (séchoir à cheveux : $\approx 70 \mu\text{T}$, rasoir électrique : $\approx 60 \mu\text{T}$, scie électrique : $\approx 100 \mu\text{T}$, perceuse : $\approx 20 \mu\text{T}$), toutefois, ces appareils ne sont habituellement utilisés que quelques minutes à la fois.

Enfin, certaines installations peuvent exposer des populations de manière plus importante, comme il a été observé lors d'une étude réalisée par la DRSP de la région de la Capitale-Nationale sur l'utilisation de planchers chauffants en milieu scolaire. Les niveaux de CM mesurés à 50 centimètres de certains planchers chauffants avoisinaient les $40 \mu\text{T}$ alors que la valeur maximale mesurée au niveau du sol pouvait atteindre environ $500 \mu\text{T}$ (INSPQ, 2006). C'est ce qui avait conduit la DRSP à recommander la pose d'une minuterie sur le thermostat de ces types de planchers chauffants afin de mettre à l'arrêt leur fonctionnement durant les périodes de fréquentation du local par les élèves².

Dans le rapport de l'INSPQ (2006), les niveaux d'exposition moyens de la population québécoise sont également présentés de façon détaillée. Il est ainsi rapporté que l'exposition moyenne au CM (amplitude évaluée sur 24 heures) pour une population résidant loin de LHT serait de $0,13 \mu\text{T}$. La proportion d'enfants canadiens excédant les niveaux d'exposition de $0,2 \mu\text{T}$ serait évaluée à 14,5 % comparativement à 21 % pour les enfants du Québec. Selon Deadman et Plante (2002), 7 % des résidences québécoises seraient exposées à un CM moyen supérieur à $0,4 \mu\text{T}$ provenant de toutes les sources électriques, et environ 2 % du total des résidences auraient un niveau supérieur à $0,4 \mu\text{T}$ lié à la proximité d'une LHT.

À la lumière de ces données, on constate que les niveaux de CM les plus élevés proviennent d'appareils à usage domestique, mais que la durée d'exposition à ces appareils est relativement courte. Toutefois, dans certaines circonstances, comme celle de certains planchers chauffants, la durée d'exposition plus importante à des niveaux élevés de CM peut justifier la recommandation de réduire l'exposition pour les occupants, puisque ces niveaux dépassent ou s'approchent des normes internationales (voir section 5.1). En comparaison, les niveaux de CM provenant des LHT et des LD sont beaucoup plus faibles, mais la durée d'exposition est plus longue. Cependant, les niveaux de CM dans certains logements situés près d'une LD triphasée peuvent être aussi importants que ceux d'édifices situés immédiatement à la limite de l'emprise d'une LHT. Bien que l'exposition aux CM résultant de la proximité aux LHT ne soit pas négligeable, pour la proportion de Québécois exposés à plus de $0,4 \mu\text{T}$, elle provient principalement des autres sources d'exposition.

2. Ainsi, certains appareils ou installations électriques, qui ne sont pas liés au transport de l'électricité, peuvent générer des CMEBF à une intensité qui s'approche des limites d'exposition des organisations reconnues. Le cas échéant, ces situations particulières pourraient faire l'objet de recommandations de la part des autorités de santé publique.

4. ÉVALUATION DES EFFETS SUR LA SANTÉ

Cette section dresse un tableau sommaire des connaissances actuelles quant aux effets de l'exposition aux CEMEBF sur la santé humaine.

4.1. Revue récente – principaux impacts examinés

Au cours des dernières années, diverses organisations de santé reconnues ont publié des évaluations de la documentation sur les effets potentiels des CM sur la santé. Au regard des effets aigus résultant d'une exposition à des intensités élevées, les mécanismes d'action agissant sur les systèmes physiologiques du corps humain sont bien connus. Ainsi, à forte intensité, les CEM induisent des courants électriques dans le corps humain et peuvent entraîner une stimulation des fibres nerveuses et musculaires (ICNIRP, 2010). Pour les CMEBF, les effets établis au cours d'exposition au-dessus de 5000 μT , sont la stimulation des tissus nerveux et l'induction de phosphènes³. Ces effets constituent la base des recommandations de l'International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP, 2010b) et de l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE, 2002); elles seront présentées à la section 5.1 de ce document. Les intensités de CM de 60 Hz pour lesquelles de tels effets ont été observés ne sont toutefois pas typiques de l'exposition de la population générale dans son environnement habituel.

Concernant les effets résultant d'une exposition chronique, bien que l'évaluation de l'augmentation du risque de leucémie chez l'enfant ait fait l'objet d'une attention particulière, bon nombre de recherches ont également été réalisées pour déterminer d'autres effets des CEMEBF. Ainsi, l'OMS (2007) précise que les éléments scientifiques appuyant d'autres risques sur la santé, tels que d'autres cancers que la leucémie chez l'enfant, les cancers chez l'adulte, les troubles neurodégénératifs, cardiovasculaires et de reproduction, sont plus faibles que ceux de développer la leucémie chez l'enfant. L'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (2010) abonde dans le même sens, à la suite de leur revue exhaustive de la documentation scientifique en 2010, soulignant la forte convergence entre les diverses évaluations internationales.

4.2 Les études épidémiologiques relatives au risque de leucémie chez l'enfant

Depuis que Wertheimer et Leeper (1979), ont soulevé la possibilité d'un lien entre l'augmentation du risque de leucémie chez l'enfant et l'exposition au CM généré par les lignes électriques, plus d'une vingtaine d'études épidémiologiques sur ce sujet ont été publiées. Analysés individuellement, les résultats de la plupart des études épidémiologiques ne sont pas statistiquement significatifs. Cependant, la majorité de ces études montrent un excès non statistiquement significatif du risque de leucémie chez l'enfant lorsque l'exposition résidentielle au CMEBF est supérieure à 0,3 – 0,4 μT , valeurs choisies a posteriori par Schüz (2007). La synthèse systématique de ces études est présentée à la section : Méta-analyses des études épidémiologiques.

Enfin, en interrogeant la base de données *Medline*, trois publications répertoriées s'intéressaient non pas au risque pour l'enfant de développer la leucémie après exposition au CM, mais plutôt au lien entre la survie de ces

3. Les phosphènes produits au cours d'une exposition à un CM supérieur à environ 5 000 μT se traduisent par l'impression de scintillements lumineux au niveau de la rétine. Selon l'ICNIRP (2010b), ces effets, qui demeurent transitoires, ne seraient pas associés à des conséquences pathologiques ou des effets à long terme sur la santé.

derniers et leur exposition au CM. Il s'agit d'une étude américaine (Foliart et collaborateurs, 2006), d'une étude allemande (Svendsen et collaborateurs, 2007) et d'une étude internationale (Schüz, 2011). La portée des résultats obtenus dans le cas des deux premières études demeure très limitée en raison du petit nombre de cas. Par contre, dans le cadre de l'étude internationale réalisée auprès de 3 073 enfants atteints de leucémie lymphoblastique aiguë, les auteurs concluent que l'exposition au CMEBF ($> 0,3 \mu\text{T}$) n'affecte pas la probabilité de survie ou le risque de rechute chez les enfants atteints de la maladie.

4.2.1. Méta-analyses des études épidémiologiques

Les résultats des études épidémiologiques portant sur le risque de leucémie chez les enfants exposés au CM sont présentés aux figures 2 à 5 de l'annexe 1. Trois méta-analyses en font la synthèse. Il s'agit de la méta-analyse d'Ahlbom et collaborateurs (2000) celle de Greenland et collaborateurs (2000) (toutes deux commentées dans INSPQ, 2006) et enfin celle de Kheifets et collaborateurs (2010). Elles sont résumées à la figure 1. De plus, deux publications récentes, celle de Schüz (2011) et celle de Teepen et van Dijk (2012), analysent et discutent l'ensemble des résultats tirés de ces trois méta-analyses.

Trois méthodes de mesure de l'exposition au CM ont été utilisées dans ces études :

- 1) CM mesuré;
- 2) CM calculé selon la distance et le type de lignes électriques;
- 3) CM estimé selon une codification des lignes électriques (*wire-code* en anglais).

Les méta-analyses dont il est question ici concernent les études qui ont utilisé les deux premières méthodes de mesure du CM, considérées comme plus valides. Selon la méthode de mesure utilisée, des analyses par sous-groupes ont permis d'obtenir des résultats distincts.

La méta-analyse d'Ahlbom et collaborateurs (2000) présente la synthèse des données individuelles issues de neuf études cas témoins (illustrée à la figure 2 en annexe pour une exposition $\geq 0,4 \mu\text{T}$). Comparés au groupe de référence ($< 0,1 \mu\text{T}$), les sujets exposés ($0,1 - < 0,2 \mu\text{T}$; $0,2 - < 0,4 \mu\text{T}$; $\geq 0,4 \mu\text{T}$) présentent des mesures d'association synthèses (MAS)⁴ avec intervalle de confiance à 95 % (IC à 95 %) de 1,08 (0,89 – 1,31), de 1,11 (0,84 – 1,47) et de 2,00 (1,27 – 3,13) respectivement. La MAS provenant des cinq études épidémiologiques où l'exposition au CM a été mesurée (1,87) diffère peu de celui provenant des quatre études où l'exposition au CM a été calculée (2,13) lorsqu'on considère une exposition égale ou supérieure à $0,4 \mu\text{T}$. Toutes ces MAS sont ajustées en fonction de l'âge et du sexe. De plus, la MAS (1,87) des études où l'exposition au CM a été mesurée est également ajustée en fonction du niveau socioéconomique.

4. Résultat d'une méta-analyse qui fait la synthèse de plusieurs mesures d'association. Les mesures d'association peuvent être des risques relatifs (RR) ou des rapports de cotes (RC). Dans le cas d'une maladie rare comme la leucémie chez l'enfant, le rapport de cotes est un bon estimé du risque relatif.

La méta-analyse de Greenland et collaborateurs (2000) présente la synthèse des données individuelles de quinze études épidémiologiques dont douze ont évalué l'exposition des enfants en mesurant ou en calculant le CM⁵ (illustrée à la figure 3 en annexe pour une exposition >0,3 µT)⁶. Lorsqu'ils sont comparés au groupe de référence ($\leq 0,1$ µT), les sujets exposés ($> 0,1 - \leq 0,2$ µT; $> 0,2 - \leq 0,3$ µT; $> 0,3$ µT) présentent des MAS avec IC à 95 % de 1,01 (0,84 – 1,21), de 1,06 (0,78 – 1,44) et de 1,68 (1,23 – 2,31) respectivement. La MAS provenant des études où l'exposition au CM a été mesurée (1,68) diffère peu de celle provenant des études où l'exposition au CM a été calculée (1,70) lorsqu'on considère une exposition supérieure à 0,3 µT. Toutes ces MAS sont ajustées en fonction de l'âge et du sexe.

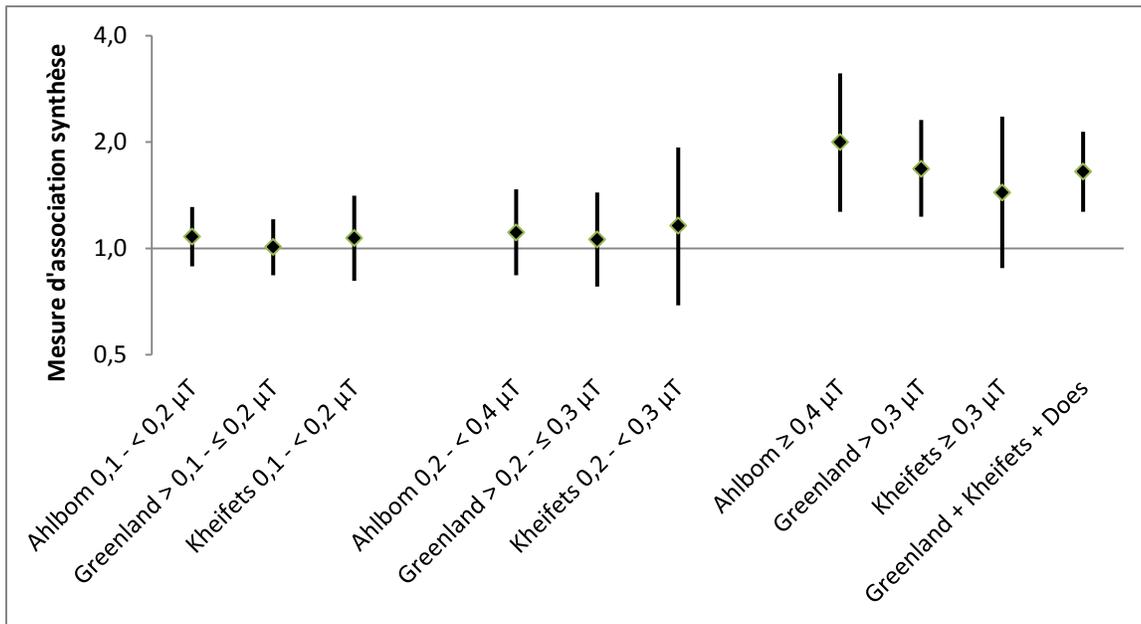
La méta-analyse de Kheifets et collaborateurs (2010) ne considère que les études épidémiologiques publiées après 2000. Elle présente la synthèse des données individuelles de six études épidémiologiques ayant évalué l'exposition des enfants au CM à l'aide de mesures ou de calculs (illustrée à la figure 4 en annexe pour une exposition $\geq 0,3$ µT). Lorsqu'ils sont comparés au groupe de référence ($< 0,1$ µT), les sujets exposés ($0,1 - < 0,2$ µT; $0,2 - < 0,3$ µT; $\geq 0,3$ µT) présentent des MAS avec IC à 95 % de 1,07 (0,81 – 1,41), de 1,16 (0,69 – 1,93) et de 1,44 (0,88 – 2,36) respectivement. Ces MAS, ajustées en fonction de l'âge, du sexe et du niveau socioéconomique, ne sont pas statistiquement significatives. La MAS provenant des trois études où l'exposition au CM a été mesurée (1,49) est plus élevée que celle provenant des trois études où l'exposition au CM a été calculée (1,15) lorsqu'on considère une exposition égale ou supérieure à 0,3 µT; ces MAS demeurent également statistiquement non significatives. Les auteurs ont conclu néanmoins que les résultats des études épidémiologiques récentes, quoique montrant une MAS moins élevée, sont cohérents avec les deux précédentes méta-analyses qui montraient une association entre l'exposition au CM résidentiel et la leucémie chez l'enfant.

Avant de rédiger ce présent document, Agathe Croteau (membre du Comité scientifique sur les CEM) a réalisé une dernière méta-analyse. Cette analyse visait à combiner les résultats des études publiées avant et après 2000. Elle fait ainsi la synthèse des résultats de neuf⁷ études épidémiologiques retenues par Greenland et collaborateurs (2000) et de cinq⁸ études épidémiologiques retenues par Kheifets et collaborateurs (2010), en y ajoutant les résultats de l'étude épidémiologique de Does et collaborateurs (2011) (illustrée à la figure 5 en annexe pour une exposition à $>$ ou $\geq 0,3$ µT). Les MAS y sont obtenues par la méthode de la variance inverse et ne sont pas ajustées. Lorsqu'on les compare au groupe de référence ($< 0,1$ µT), les sujets exposés ($>$ ou $\geq 0,3$ µT) présentent une MAS de 1,65, statistiquement significative avec un IC à 95 % de 1,27 à 2,14.

-
5. Les trois autres études utilisaient la codification des câblages (*wire-code*).
 6. Huit de ces études font aussi partie de la méta-analyse d'Ahlbom et collaborateurs (2000).
 7. Les études de Coghill, de Dockerty et de Tynes n'en font pas partie en raison de l'absence d'IC à 95 % pour leurs résultats respectifs.
 8. L'étude de Bianchi n'en fait pas partie en raison de l'absence d'IC à 95 % pour son résultat.

Dans l'ensemble, les MAS obtenues pour une exposition à $> 0,3 \mu\text{T}$ varient de 1,4 à 1,7 et la MAS obtenue pour une exposition $\geq 0,4 \mu\text{T}$ est de 2,0 (voir figure 1). Les analyses par sous-groupes, exposition calculée au CM en opposition à exposition mesurée au CM, montrent que les MAS ajustées sont similaires, sauf pour les études de la méta-analyse de Kheifets et collaborateurs (2010) où la MAS obtenue lorsque le CM est mesuré (1,49) est plus élevée que celle obtenue lorsque le CM est calculé (1,15). Cependant, notons qu'une association positive et statistiquement significative provenant d'une méta-analyse ne signifie pas qu'il y a un lien de causalité. D'autres éléments doivent être considérés, tels que la qualité des données épidémiologiques utilisées (biais possibles dans les devis, biais possibles dans d'analyse, relation dose-réponse, etc.) et la plausibilité biologique, qui peut être évaluée à partir d'études animales et de laboratoire.

FIGURE 1 : ILLUSTRATION DE RÉSULTATS OBTENUS PAR LES MÉTA-ANALYSES



Note : Pour les résultats présentés à la figure 1, le groupe de référence est celui exposé à $< \text{ou} \leq 0,1 \mu\text{T}$. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95 %. Le résultat de la méta-analyse de Greenland, Kheifets et Does a été calculé par A. Croteau, membre du Comité sur les CEM.

4.2.2. Biais et puissance statistique des études épidémiologiques

La possibilité que certains biais méthodologiques expliquent l'association observée est examinée ci-dessous. Le biais d'information (erreur de classification de l'exposition), le biais de sélection et le biais de confusion sont considérés.

Une erreur de classification de l'exposition peut résulter de la méthode de mesure de l'exposition utilisée. Si l'exposition au CM est calculée selon la distance et le type de lignes électriques, les autres sources d'exposition sont ignorées, ce qui peut conduire à une sous-estimation de l'exposition. Si l'exposition au CM est mesurée dans les résidences ou par un dosimètre porté par les enfants, il peut y avoir une erreur d'évaluation de l'exposition réelle, puisque la mesure s'effectue sur une courte période. Dans les deux cas, il est peu probable que ce type d'erreur de la mesure d'exposition soit associé à la maladie. Ainsi l'erreur d'estimation du niveau d'exposition sera non différentielle, c'est-à-dire qu'elle a autant de risque de se produire pour les cas que pour les témoins. Par conséquent, ce type de biais conduit généralement à une sous-estimation du risque (Rothman et Greenland, 2008; Schüz, 2007; Teepen et van Dijck, 2012).

Certaines données indiquent qu'un biais de sélection peut avoir conduit à une surestimation de l'association obtenue par les études où le CM était mesuré. Par contre, les études où le CM est calculé sont exemptes de biais de sélection et l'association y est quand même observée. Un tel biais de sélection peut se produire lorsque l'exposition au CM est mesurée dans les résidences ou par un dosimètre porté par les enfants. Dans une étude possédant ce type de devis les témoins sont généralement moins enclins à participer que les cas, et plus particulièrement les témoins de faible niveau socioéconomique. Comme ces derniers sont généralement plus fortement exposés au CMEBF (Schüz et Ahlbom, 2008; Teepen et van Dijck, 2012), il pourrait en résulter que les témoins exposés soient sous-représentés. Par conséquent, ce type de biais peut conduire à une surestimation du risque (Schüz, 2007). Dans le cas des études où le CM est calculé, parce que les sujets n'ont pas à être rencontrés, les résultats ne sont pas affectés par ce biais de sélection.

Malgré l'absence de biais de sélection, les résultats de trois sous-analyses spécifiques aux études où le CM est calculé montrent aussi l'association (Greenland et collaborateurs, 2000; Ahlbom et collaborateurs, 2000; méta-analyse réalisée par A. Croteau du Comité sur les CEM). Ce n'est cependant pas le cas de Kheifets et collaborateurs (2010) pour les études, avec CM calculé, publiées après 2000. Ces observations suggèrent qu'un biais de sélection ne peut, à lui seul, expliquer l'association observée (Schüz, 2007).

La possibilité qu'un biais de confusion soit responsable des associations observées a aussi été examinée. Pour que ce type de biais puisse expliquer l'association, il faut qu'un facteur causant la leucémie et non pris en compte par les auteurs des études, soit beaucoup plus prévalent chez les sujets exposés au CM. Par des études de simulation, Langholz (2001) a évalué quelle force d'association devrait exister entre ce facteur et la maladie, pour qu'un tel facteur de confusion puisse expliquer les associations observées. Après avoir posé différentes hypothèses quant à la prévalence de ce facteur chez les sujets exposés et non exposés au CM, Langholz arrive à établir que ce facteur devrait pouvoir au moins quintupler l'incidence de leucémie chez l'enfant. Un tel facteur de risque est inconnu actuellement. Bien que son existence ne puisse être exclue, les données actuelles indiquent qu'il est improbable qu'un biais de confusion explique, à lui seul, l'association observée (Schüz, 2007).

En ce qui concerne la puissance statistique, il est à souligner le peu d'enfants exposés à des CM supérieurs à 0,3 μT ou 0,4 μT dans les études épidémiologiques (125 cas, exposés à plus de 0,3 μT , sont inclus dans les méta-analyses de Greenland et de Kheifets, soit moins de 1 % des cas). Quoique généralement insuffisante dans les études individuelles, le seuil de signification statistique était atteint dans trois des quatre méta-analyses pour une exposition > 0,3 μT (voir figure 1). Il est donc très peu probable que l'association observée s'explique uniquement par le hasard (INSPQ, 2000; Schüz, 2007; Schüz, 2011).

4.2.3. Impact sur la santé de la population (estimation du nombre de cas de leucémie potentiellement attribuables à l'exposition au CM au Québec)

En supposant que l'exposition cause la maladie, le calcul de la fraction étiologique permet d'estimer quelle proportion des cas de leucémie chez l'enfant, observés dans la population serait attribuable à l'exposition au CM de plus de 0,1 μT . Pour effectuer ce calcul, il est nécessaire d'avoir une bonne évaluation de la proportion de la population exposée aux différents niveaux de CM et de connaître la grandeur de l'association entre la leucémie chez l'enfant et ces niveaux d'exposition au CM.

Afin d'estimer dans quelles proportions les enfants (0 à 17 ans) du Québec sont exposés aux niveaux de CM suivants : 0,1 – 0,2 μT ; 0,2 – 0,3 μT et $\geq 0,3 \mu\text{T}$, les trois hypothèses suivantes ont été considérées :

- 1) la distribution de l'exposition correspond à ce qui est rapporté pour l'Amérique du Nord ($n = 1290$) dans l'article de Teepen et van Dijck (2012), soit respectivement 21,5 %; 6,1 % et 4,3 % d'exposition;
- 2) la distribution de l'exposition correspond à ce qui a été observé dans cinq provinces canadiennes ($n = 365$) dans l'étude de McBride et collaborateurs (1999), soit respectivement 28 %; 6,6 % et 7,9 % d'exposition;
- 3) la distribution de l'exposition est estimée à partir de la proportion des 139 témoins du Québec exposés à plus de 0,2 μT (21,4 %) dans l'étude de McBride et collaborateurs (1999), soit respectivement 28 %; 9,7 % et 11,7 % d'exposition.

En ce qui concerne l'ampleur de l'association, deux hypothèses sont utilisées pour chacun de ces trois niveaux d'exposition :

- 1) l'ampleur de l'association correspond aux MAS obtenues par Kheifets et collaborateurs (2010) (méta-analyse des études publiées entre 2000 et 2010), soit 1,07, 1,16 et 1,44 associées aux niveaux d'exposition : 0,1 – < 0,2 μT ; 0,2 – < 0,3 μT et $\geq 0,3 \mu\text{T}$;
- 2) l'ampleur de l'association correspond aux MAS obtenues par Greenland et collaborateurs (2000) (méta-analyse des études publiées avant 2000), soit 1,01, 1,06 et 1,68 associées aux niveaux d'exposition : > 0,1 – 0,2 μT ; > 0,2 – 0,3 μT et > 0,3 μT .

En combinant les trois hypothèses de distribution de l'exposition et les deux hypothèses de l'ampleur de l'association, six scénarios peuvent être envisagés. Pour chaque scénario, il est possible de calculer une fraction attribuable, qui correspond à la proportion des cas de leucémie chez les jeunes âgés de 0 à 17 ans au Québec, à l'exposition au CM > 0,1 μT . En multipliant cette fraction attribuable par l'incidence annuelle de la leucémie chez les jeunes de 0 à 17 ans et par la population de ce groupe d'âge au Québec, on obtient le nombre de cas attribuables à l'exposition aux CM annuellement au Québec. De plus, en multipliant cette fraction attribuable par l'incidence annuelle de la leucémie et par 17 années, on peut estimer l'excès de risque encouru pour une personne durant les 17 premières années de sa vie.

On sait qu'au Québec, l'incidence moyenne de la leucémie est de 4,4 cas par 100 000 jeunes âgés de 0 à 17 ans et que la population de ce groupe d'âge était de 1 546 016 pour la période de 2004 à 2008.⁹ Cela correspond à une incidence moyenne de 68 cas de leucémie par année au Québec chez les jeunes de 0 à 17 ans.

9. Sources : MSSS, *Fichier des tumeurs*, mars 2012 (document électronique), actualisation découpage territorial version M34-2012; MSSS, *Estimations et projections démographiques (avril 2012)* (document électronique). *Plan commun de surveillance*, produit par l'INSPQ le 30 novembre 2012.

Le tableau 3 présente pour chacun des six scénarios, la fraction attribuable avec le nombre de cas attribuables et l'excès de risque correspondants. Les résultats varient peu selon l'hypothèse utilisée pour l'ampleur de l'association. Par contre, des variations sont observées selon l'hypothèse de distribution de l'exposition utilisée. Ce qui s'explique par des niveaux d'exposition plus élevés au Canada et encore plus au Québec selon l'évaluation disponible.

La distribution de l'exposition estimée pour le Québec devrait être plus proche de la réalité du Québec, cependant notons deux faiblesses liées à cette estimation. D'une part, seule la proportion des témoins québécois, de l'étude de McBride (1999), exposés à plus de 0,2 µT est indiquée. La répartition de ces sujets entre ceux exposés à 0,2 – 0,3 µT et ceux dont l'exposition est ≥ 0,3 µT est une estimation qui repose sur la répartition observée dans cinq provinces canadiennes. D'autre part, l'estimation pour le Québec provient seulement de 139 sujets comparativement à 365 pour le Canada et à 1 290 pour l'Amérique du Nord.

Selon le scénario utilisé, la fraction attribuable varie de 3,39 % à 8,08 %, le nombre annuel de cas de leucémie attribuables oscille entre 2,3 et 5,5 et l'excès de risque durant les 17 premières années de vie varie de $25,3 \times 10^{-6}$ à $60,5 \times 10^{-6}$ (v. tableau 3). En 2000, le rapport du groupe de travail présenté au MSSS avait estimé que 9,5 % des cas de leucémie chez les 0 à 14 ans au Québec pourraient être attribuables à l'exposition, en prenant comme hypothèse un risque relatif de 1,5 et en estimant que 21 % de la population est exposée à plus de 0,2 µT.

Soulignons que l'estimation du nombre de cas attribuable en utilisant ce calcul de base n'a été réalisée que dans le but de donner un ordre de grandeur de l'impact que cette association pourrait avoir sur la santé de la population si elle était causale; une hypothèse qui n'est pas démontrée. Cette estimation concerne le nombre de cas attribuable à l'exposition au CM de toutes les sources, ce qui peut comprendre les LHT mais aussi les LD ainsi que les appareils et équipements électriques. De plus, cet exercice est sujet à plusieurs incertitudes concernant l'estimation de l'association et la distribution de l'exposition. Il est par conséquent délicat de tirer une conclusion à partir de ce calcul.

TABLEAU 3 : FRACTIONS ATTRIBUABLES (%), CAS ATTRIBUABLES ET EXCÈS DE RISQUE DURANT LES DIX-SEPT PREMIÈRES ANNÉES DE VIE SELON LA DISTRIBUTION DE L'EXPOSITION ET L'AMPLEUR DE L'ASSOCIATION

Ampleur de l'association selon :	Distribution de l'exposition correspondant à :		
	Amérique du Nord	Cinq provinces canadiennes	Estimation pour le Québec
Kheifets et collab., 2010	4,19 %	6,10 %	7,96 %
	2,9 cas	4,1 cas	5,4 cas
	$31,3 \times 10^{-6}$	$45,6 \times 10^{-6}$	$59,6 \times 10^{-6}$
Greenland et collab., 2000	3,39 %	5,70 %	8,08 %
	2,3 cas	3,9 cas	5,5 cas
	$25,3 \times 10^{-6}$	$42,7 \times 10^{-6}$	$60,5 \times 10^{-6}$

4.2.4. Conclusion concernant les études épidémiologiques

Dans l'ensemble, l'évaluation des études épidémiologiques de trois méta-analyses publiées montre un risque accru de leucémie chez l'enfant, de 1,4 à 1,7, si l'exposition est supérieure à 0,3 µT et de 2,0, si l'exposition est égale ou supérieure à 0,4 µT. Les résultats des méta-analyses des nouvelles études épidémiologiques réalisées

depuis 2000 sont dans la lignée des résultats antérieurs (discutés dans INSPQ, 2006). Ils ne renforcent pas l'association déjà observée entre la leucémie chez l'enfant et l'exposition au champ magnétique et ils n'apportent pas d'éclairage nouveau quant à la détermination d'un lien causal.

À ce jour, cette association n'a pu être expliquée et il est peu probable qu'un des biais méthodologiques discutés à la section 4.2.2 explique à lui seul cette association. Cependant, il est possible, même si hypothétique, qu'une combinaison de facteurs (biais de confusion, biais de sélection, hasard) puisse expliquer cette observation (Schüz et Ahlbom, 2008). Par ailleurs, bien que non démontrée, l'hypothèse d'un lien causal ne peut être exclue (Schüz, 2011).

4.3. Études cellulaires et animales

L'association possible entre l'exposition aux CMEBF et le cancer a fait l'objet de nombreuses recherches au cours des quarante dernières années. Ainsi, au fil des ans, des centaines de millions de dollars ont été investis dans la recherche et plusieurs milliers d'études ont été publiées (Repacholi, 2012).

De nombreuses études sur des cellules isolées ont été réalisées. Ces recherches ont étudié une multitude de processus dont « la prolifération cellulaire, l'apoptose, la modification du signal calcique et la transformation maligne » (OMS 2007a). Les données fournies par les études effectuées à ce jour ont cependant été jugées insuffisantes et ne peuvent donc pas être prises en compte dans l'évaluation des effets des CMEBF (OMS, 2007a; AFSSET, 2010a).

Des études animales ont également été réalisées afin d'étudier l'association possible entre l'exposition au CMEBF et le développement de certains types de cancer. À la suite de l'évaluation de ces études, l'OMS, en 2007, a conclu que « dans l'ensemble, rien ne permet de penser que l'exposition à des champs magnétiques d'EBF seule puisse provoquer des tumeurs. Les éléments indiquant que l'exposition à un champ magnétique d'EBF peut favoriser le développement d'une tumeur lorsqu'elle est associée à des facteurs cancérigènes sont insuffisants ». Dans son évaluation plus récente de la documentation, l'AFSSET (2010a), indique que les CMEBF ne sont pas en mesure d'induire des cancers ou d'en accélérer la croissance.

4.4. Mécanisme d'interaction entre les CMEBF et les tissus biologiques

Plus d'un millier d'études portant principalement sur un possible mécanisme cancérogène des CMEBF à de faibles intensités ont été publiées à ce jour (Repacholi, 2012).

Le spectre électromagnétique s'étend sur une multitude de fréquences qui inclut, entre autres, les CEMEBF, les radiofréquences, la lumière visible, les rayons UV, les rayons X et les rayons gamma. Les photons des CEMEBF ont une énergie significativement plus faible que celle du rayonnement à des fréquences plus élevées. Ainsi, contrairement aux rayons X ou aux rayons gamma, l'absorption d'un photon de CEMEBF ne peut briser les molécules telles que l'ADN. Cependant, l'observation d'une association possible entre l'exposition au CMEBF et l'augmentation du risque de leucémie chez l'enfant a amené de nombreux chercheurs à s'intéresser aux autres mécanismes d'interaction qui permettraient d'expliquer ces observations (Swanson et Kheifets, 2006).

Une analyse de la plausibilité de plusieurs des mécanismes proposés jusqu'à maintenant a été publiée en 2006 (Swanson et Kheifets, 2006). Les auteurs ont conclu que la plupart des mécanismes d'interaction proposés ne pourraient pas être la cause d'un effet sur la santé aux niveaux d'exposition généralement rencontrés dans l'environnement. Les avis publiés par plusieurs organisations reconnues sont en accord avec les conclusions de ces chercheurs. Entre autres, l'OMS (2007a) conclut qu'aucun des trois mécanismes proposés pouvant « opérer à des intensités de champs plus faibles que les autres, soit : les champs électriques induits dans les réseaux de neurones, les paires de radicaux libres et la présence de magnétite » [...] « ne semble constituer une cause plausible d'incidence accrue des maladies aux niveaux d'exposition généralement rencontrés ». De même, l'ICNIRP (2010b) précise qu'aucun mécanisme biophysique ne permet d'expliquer l'association observée entre l'exposition au CM de 50 à 60 Hz et la leucémie chez l'enfant.

L'absence d'un mécanisme d'interaction établi indique que si des effets sur la santé étaient observés à des niveaux d'exposition faibles, cette interaction se ferait par le biais d'un mécanisme biologique inconnu (OMS, 2007).

4.5. Discussion

L'évaluation d'un risque sur la santé doit être effectuée en tenant compte des études épidémiologiques, cellulaires et animales publiées dans des revues à comité de lecture et des études portant sur les mécanismes expliquant les effets observés sur la santé. Ces études doivent être évaluées en tenant compte de la qualité de leur protocole expérimental, de leurs méthodes d'analyses et de la description des méthodes utilisées, de même que des effets démontrés (Repacholi et Cardis, 1997).

4.5.1. Évaluation de la documentation scientifique

En ce qui concerne les études épidémiologiques chez l'humain, seules les études portant sur la leucémie chez l'enfant suggèrent qu'il pourrait exister une association entre l'exposition aux CMEBF et un effet sur la santé. Analysés individuellement, les résultats de la plupart de ces études ne sont pas statistiquement significatifs et ne permettent pas de confirmer la présence d'une association. Cependant, la majorité de ces études montrent un excès non statistiquement significatif du risque de leucémie chez l'enfant lorsque l'exposition résidentielle au CMEBF est supérieure à 0,3 – 0,4 μT , valeurs choisies *a posteriori* (Schüz, 2007). Dans l'ensemble, les méta-analyses réalisées à ce jour, qui regroupent un peu plus d'une centaine de cas dans la catégorie la plus exposée, suggèrent un risque accru de leucémie chez l'enfant, de 1,4 à 1,7, dès qu'une exposition est supérieure à 0,3 μT et de 2,0, si l'exposition est égale ou supérieure à 0,4 μT .

Toutefois, il est important de noter qu'une association positive provenant d'une méta-analyse ne signifie pas qu'il y a confirmation d'un lien de causalité. En effet, même sans tenir compte des autres types d'études réalisées à ce jour, la possibilité que l'association observée dans les études épidémiologiques soit due à une combinaison de biais, discutés brièvement dans la section 4.4.2 et dans plusieurs études scientifiques (Schüz et Ahlbom, 2008 ; Schüz, 2011), ne peut pas être exclue. À cet égard, le Comité scientifique sur les CEM partage donc l'évaluation du Centre international de recherche sur le cancer, qui juge que les preuves de la cancérrogénicité des CMEBF pour la leucémie chez l'enfant sont « limitées » et qu'il n'est pas possible d'exclure, de manière raisonnable, la possibilité que des biais expliquent l'association (IARC 2002).

Aux études épidémiologiques, s'ajoutent les résultats des études sur les cellules en laboratoire, sur les animaux et sur les mécanismes d'actions possibles. Bien que des résultats positifs dans ces types d'études ne soient pas obligatoires pour l'établissement d'une relation de cause à effet, ceux-ci doivent être considérés avec soin. Dans les cas des CMEBF, au cours des quarante dernières années, plusieurs milliers d'études de ces types ont été publiées. Dans l'ensemble, la quasi-totalité de ces études ne fournissent pas d'éléments de preuve convaincants d'effets néfastes sur la santé (Schüz, 2007). En particulier, les résultats des expériences sur la cancérrogénicité des champs magnétiques effectuées sur des cellules isolées ou chez des animaux, qui touchent notamment l'induction ou le développement de tumeurs et la cocancérrogénicité, sont jugés, soit négatifs, soit insuffisants. Ainsi, les résultats des études cellulaires et animales ne soutiennent pas l'hypothèse d'une association causale entre l'exposition au champ magnétique de 50 à 60 Hz et la leucémie chez l'enfant (ICNIRP, 2010). Il peut être souligné, qu'à ce jour, tous les agents cancérigènes pour l'homme qui ont été étudiés adéquatement chez des animaux de laboratoire ont produit des résultats positifs chez une ou plusieurs espèces animales (IARC, 2006).

Dans le cas des études portant sur les mécanismes d'action possibles, celles-ci n'ont pas été en mesure de montrer qu'il existe un mécanisme qui mènerait à une action cancérigène des CMEBF (Repacholi, 2012). Le Comité scientifique sur les CEM remarque que bien que les éléments de preuve contenus dans les études cellulaires, animales et sur les mécanismes soient généralement qualifiés « d'insuffisants », puisqu'ils ne rencontrent pas les critères stricts de « preuve d'absence d'effets » du CIRC (2006), ceux-ci représentent tout de même une source d'information très vaste qui ne doit pas être négligée. Le Comité scientifique sur les CEM considère que l'absence de preuves positives en provenance de ces types d'études, en dépit des efforts considérables qui ont été déployés par la communauté scientifique au cours des dernières décennies, plaide en défaveur d'une relation de causalité dans l'association observée dans les études épidémiologiques.

En conséquence, le Comité scientifique sur les CEM considère que l'évaluation de l'ensemble de ces éléments de preuves ne permet pas de conclure qu'il y a présence d'effets néfastes sur la santé à la suite d'une exposition au CMEBF à des niveaux d'intensité habituellement présents dans l'environnement. Cette conclusion rejoint l'évaluation de l'OMS qui a conclu que « les données actuelles ne confirment en aucun cas l'existence d'effets sanitaires résultant d'une exposition à des champs électromagnétiques de faible intensité » (OMS, 2012; Repacholi, 2012).

La conclusion du Comité rejoint également l'évaluation de l'AFFSET (2010a) qui a noté qu'il existe une certaine cohérence dans l'observation d'une association statistique entre l'exposition au CMEBF et la leucémie chez l'enfant, mais note qu'une « [...] interprétation de cette corrélation en termes de cause et d'effet n'est soutenue ni par des études sur animaux ni par des études *in vitro* sur des systèmes cellulaires ». Le Comité scientifique sur les CEM considère que cette évaluation est en accord avec l'évaluation du Centre international de recherche sur le cancer qui juge que les preuves de la cancérogénicité des CMEBF pour causer la leucémie chez l'enfant sont « limitées » (groupe 2B, peut-être cancérogène) (IARC, 2002). Enfin, l'évaluation du Comité se rapproche de celle de Santé Canada (2012), qui énonce qu'il n'y a aucune preuve concluante montrant que les niveaux d'exposition normalement rencontrés dans la population puissent avoir un effet nocif sur la santé.

Le Comité scientifique sur les CEM est d'avis qu'en l'absence d'une relation de cause à effet entre l'exposition aux CMEBF et la leucémie chez l'enfant, plusieurs facteurs devraient être pris en compte lors de la sélection de mesures pour réduire l'exposition, dont l'incertitude quant à l'interprétation des données épidémiologiques, de même que les coûts et l'efficacité de ces mesures.

4.5.2. Interprétation des valeurs d'exposition utilisées dans les méta-analyses

Un premier obstacle à la mise en œuvre de mesure visant à réduire l'exposition aux CMEBF réside dans l'interprétation qui doit être faite des résultats des études épidémiologiques. Au-delà des incertitudes qui persistent quant à la validité de l'association observée, les valeurs d'exposition de 0,3 μ T ou 0,4 μ T, utilisées pour délimiter les catégories d'exposition dans les méta-analyses, doivent être interprétées avec une grande prudence. En effet, advenant le cas où l'exposition aux CMEBF de faible intensité aurait un effet néfaste sur la santé, une multitude de paramètres d'exposition aux CM pourraient être biologiquement pertinents : la valeur moyenne du champ, la valeur crête, les valeurs transitoires, le contenu harmonique, etc. (Kheifets et collaborateurs, 2005). Étant donné l'absence d'un mécanisme qui pourrait expliquer un effet néfaste pour la santé, il est impossible d'identifier quelle caractéristique des CM pourrait être importante. Le choix du type d'exposition considéré dans les études épidémiologiques, la moyenne temporelle du CM, découle du fait que l'exposition moyenne est reliée, de manière imparfaite, aux autres caractéristiques des CM (Kheifets et collaborateurs, 2005). Le choix des catégories d'exposition (>0,3 μ T ou >0,4 μ T), quant à elles, découle de considérations pratiques telles que le besoin d'avoir des échantillons de taille suffisante ou le désir d'être en mesure de comparer le résultat des analyses aux études précédentes (Kheifets et collaborateurs, 2005).

La nature arbitraire des choix des métriques d'exposition dans les études réalisées à ce jour apportent donc une incertitude supplémentaire à l'évaluation de toute mesure qui viserait à réduire l'exposition aux CMEBF en provenance des lignes électriques ou de toutes autres sources émettrices de CM. Ainsi, bien qu'il puisse être raisonnable de penser que, si l'association observée est réelle, la réduction de l'exposition générale aux CM pourrait réduire le risque, il n'est pas possible de prédire quel type de réduction pourrait avoir un effet. En particulier, la réduction de l'exposition en tenant compte d'un seuil arbitraire, ne peut tout simplement pas être justifiée par les données scientifiques disponibles (Kheifets et collaborateurs, 2005). Par exemple, il pourrait s'avérer, si l'association était réelle, que l'exposition en dessous des valeurs utilisées dans les méta-analyses soit néfaste (Schüz, 2007). Ces incertitudes, conséquences directes de la faiblesse des preuves en faveur d'une association, doivent être prises en considération dans l'évaluation des mesures qui pourraient être mises en place pour réduire l'exposition.

4.5.3. Coût et efficacité

Par ailleurs, bien que le Comité scientifique sur les CEM s'intéresse principalement à l'exposition aux CMEBF en provenance des lignes électriques, une multitude de scénarios d'exposition peuvent mener à une exposition moyenne (sur une période de 24 heures) qui serait, par exemple, supérieure à 0,3 μT : dormir à proximité d'un cadran réveil pendant 12 heures, travailler devant un ordinateur pendant 6 heures, utiliser un sèche-cheveux pendant 5 minutes, etc. (Kheifets et collaborateurs, 2005). De plus, même si environ 7 % des résidences ont une exposition moyenne sur 24 heures de plus de 0,4 μT , moins du tiers de celles-ci sont dans cette situation à cause de l'exposition aux CM des LHT, soit environ 2 % des résidences du Québec (Deadman et Plante, 2002). Ainsi, des actions ciblées sur les LHT pour réduire l'exposition aux CM, en émettant l'hypothèse que ces actions pourraient avoir un effet bénéfique, n'auraient qu'un impact limité sur l'exposition de la population générale.

Par conséquent, le Comité scientifique sur les CEM considère qu'avant d'émettre des recommandations qui modifieraient un projet d'installation électrique sur la seule base de l'exposition aux CMEBF, une analyse rigoureuse des coûts et des bénéfices qui s'y rattachent devrait être effectuée. Au-delà des coûts directs qui pourraient découler d'une modification à un projet, cette analyse devrait considérer l'incertitude sur l'efficacité de la mesure. Le Comité scientifique sur les CEM partage l'évaluation de l'OMS (2007a) qui considère qu'étant donné « la faiblesse des éléments en faveur d'un lien entre exposition aux champs magnétiques EBF et leucémie infantile et les effets limités sur la santé publique si un tel lien existe, il est malaisé de déterminer les bienfaits qu'apporterait pour la santé une réduction de l'exposition. Ainsi, le coût des mesures de précaution doit être très bas ».

4.5.4. Perspective

Le Comité scientifique sur les CEM note que les incertitudes qui persistent à propos des effets possibles d'une exposition à de faibles niveaux de CMEBF sont largement les mêmes qui étaient présentes lors des dernières évaluations québécoises de la documentation scientifique (INSPQ, 2006; INSPQ, 2000). Il est possible que ces incertitudes persistent pendant encore plusieurs décennies et que celles-ci soient résolues par la recherche

portant sur l'étiologie de la leucémie chez l'enfant, plutôt que celle portant sur l'exposition aux CM (Schüz, 2007; Schüz, 2011).

5. NORMES ET LIGNES DIRECTRICES

5.1. Valeurs limites recommandées par l'ICNIRP et l'IEEE

Deux grandes organisations internationales proposent des limites d'exposition aux CEM pour le public (voir tableau 3) : l'ICNIRP et l'IEEE. Puisque des facteurs de sécurité¹⁰ sont inclus dans les restrictions de base, les limites d'exposition proposées par ces organisations se situent à des niveaux significativement inférieurs aux seuils d'exposition entraînant des effets par stimulation des tissus électriquement excitables. Le niveau de référence¹¹ pour le CM à 60 Hz recommandée par l'ICNIRP (2010) est de 200 μ T, tandis que l'IEEE (2002) propose un niveau de référence de 904 μ T. Cette différence s'explique par le fait que ces deux organisations ont utilisé des restrictions de base similaires¹², mais des modèles du corps humain différents pour le calcul de leurs niveaux de référence (ICNIRP, 2010a; INRS, 2011). C'est d'ailleurs l'évolution de la précision de ces modèles qui a permis à l'ICNIRP d'augmenter le niveau de référence de 83,3 μ T recommandée en 1998 à 200 μ T en 2010 tout en maintenant le facteur de sécurité entre la restriction de base et le seuil d'exposition nécessaire pour produire un effet chez l'humain.

La limite de 200 μ T de l'ICNIRP est une valeur d'exposition « instantanée ». L'ICNIRP a dérivé cette valeur limite à partir d'effets aigus liés à l'induction de courants électriques dans le corps. En raison des preuves scientifiques trop faibles concernant des effets de l'exposition chronique à des niveaux plus faibles que 200 μ T, aucune recommandation liée à l'exposition à long terme n'est proposée pour le CMEBF.

TABLEAU 4 : LIMITES D'EXPOSITION POUR LA POPULATION GÉNÉRALE AU CHAMP MAGNÉTIQUE DE 60 HZ

Organisation	Champ magnétique de 60 Hz (μ T)
ICNIRP, 1998	83,3
ICNIRP, 2010	200
IEEE, 2002	904

10. Pour l'exposition de la population générale, le niveau de restriction de base contient un facteur de sécurité d'au moins cinq pour l'ICNIRP et de trois pour l'IEEE par rapport au seuil à partir duquel un effet sur la santé est observable. En pratique, l'utilisation d'hypothèses et de modèles prudents dans le calcul des niveaux de référence ajoute un élément de sécurité additionnel. Par exemple, le niveau de référence de l'ICNIRP pour le CM à 60 Hz est environ 25 fois plus faible que le seuil d'apparition des phosphènes.

11. Les niveaux de référence sont dérivés à partir des restrictions de base de manière à fournir aux utilisateurs des limites d'exposition qui sont plus faciles à mesurer en pratique. Le respect des niveaux de référence assure le respect de la restriction de base.

12. Les restrictions de base sont fixées à partir du champ électrique interne qui détermine le seuil d'effets néfastes à la santé, auquel s'ajoute un facteur de sécurité.

5.2. Règlementation à travers le monde et au Canada

Selon une revue réalisée par l'AFSSET en 2010, une trentaine de pays, dont la plupart sont européens, ont adopté la limite recommandée par l'ICNIRP pour le CM. Dans certaines situations bien particulières, quelques pays recommandent des valeurs limites plus restrictives que l'ICNIRP. Parmi ces pays, la Suisse a adopté une réglementation limitant les expositions dues aux installations fixes à 1 μT (valeur moyenne sur 24 heures) dans « les lieux à utilisation sensible » tels que les logements, les hôpitaux, les écoles, les bureaux et les aires de jeu (CGEDD, 2010). Les Pays-Bas ont formulé des recommandations, non juridiquement contraignantes, visant à éviter que des enfants séjournent de façon durable dans des zones situées à proximité de LHT aériennes où le CM moyen est supérieur à 0,4 μT (CGEDD, 2010). L'Italie a défini une « valeur d'attention » de 10 μT (valeur moyenne sur 24 heures) pour les zones où le public demeure plus de quatre heures par jour et un « objectif de qualité » de 3 μT , pour ces mêmes zones, à atteindre à moyen terme pour les nouvelles lignes et les nouvelles constructions (AFSSET, 2010a).

Le Canada n'a pas adopté de valeurs limites pour les CEMEBF; il se base plutôt sur les valeurs limites de l'ICNIRP pour conclure qu'au pays, l'exposition au CEMEBF ne présente aucun risque connu pour la santé (Gouvernement du Canada, 2012). Toutefois, la Ville de Toronto a adopté une politique d'évitement prudent et encourage les promoteurs immobiliers à réduire l'exposition potentielle des enfants qui passent plus de quatre heures par jour dans certains types d'édifices (résidences, écoles et garderies) situés près d'une LHT (Ville de Toronto 2008; 2010; 2011). En contrepartie, la Ville de Toronto considère que l'utilisation des emprises des LHT pour y installer des équipements sportifs qui demandent de grandes surfaces telles les pistes cyclables ou de marche et les terrains de sports apportent des bénéfices à la santé qui sont plus importants que les risques potentiels de l'exposition aux CEM (Ville de Toronto, 2008).

6. POLITIQUES ADOPTÉES EN MATIÈRE DE CMEBF

6.1. Organisation mondiale de la Santé (OMS)

En 2001, le CIRC a classé le CMEBF comme « [pouvant] être cancérigène pour l'homme » en considérant deux méta-analyses d'études épidémiologiques démontrant un phénomène régulier de multiplication par un facteur d'environ deux du nombre de leucémies infantiles associées à une exposition moyenne au CM supérieur à 0,3-0,4 μT dans les habitations (IARC, 2002). La réponse de l'OMS (2001) indiquait que n'y avait pas de preuve scientifique que les CM puissent être réellement responsables de cet effet, qu'une des approches qui pouvait être adoptées consistait à introduire des mesures facultatives tendant à diminuer efficacement et à faible coût l'exposition aux champs magnétiques.

En 2007, le groupe d'experts de l'OMS (2007a) a conclu que « [...] tout bien considéré, les éléments de preuve en rapport avec la leucémie infantile ne sont pas suffisamment probants pour être incriminés en tant que cause » et que les éléments de preuve pour d'autres effets sanitaires sont encore plus faibles. Comme les avantages qu'on pourrait tirer d'une diminution de l'exposition au CMEBF pour la santé sont difficiles à établir, l'OMS a émis, entre autres, les recommandations suivantes :

1. Les pouvoirs publics et l'industrie doivent suivre l'évolution scientifique et promouvoir des programmes de recherche permettant de réduire l'incertitude qui entoure les éléments scientifiques concernant les effets sanitaires de l'exposition aux champs d'EBF.
2. Les états membres sont encouragés à mettre en place des programmes de communication efficaces et ouverts avec toutes les parties concernées afin de prendre des décisions en connaissance de cause. Pour cela, il faudra peut-être améliorer la coordination et la consultation entre l'industrie, les autorités locales et les citoyens lors du processus de planification des installations émettrices de CEMEBF.
3. Lorsqu'on construit de nouvelles installations et que l'on conçoit de nouveaux équipements, y compris des appareils, il convient d'explorer les méthodes permettant de réduire les expositions à très bas coût. Les mesures appropriées de réduction de l'exposition varieront d'un pays à l'autre. Cependant, les politiques basées sur l'adoption de limites d'exposition arbitrairement faibles ne sont pas justifiées.

Depuis 2007, l'OMS ne s'est pas prononcé à nouveau sur les CMEBF.

6.2. Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFSSET)

En ce qui concerne de possibles effets à long terme, un groupe d'experts scientifiques mandaté par l'AFSSET a constaté qu'il existe une forte convergence entre les différentes évaluations des expertises internationales qui se maintient au fil du temps. On observe, avec une certaine cohérence dans les études épidémiologiques, une association entre l'exposition au CMEBF et la leucémie infantile à partir d'une exposition résidentielle moyenne de 0,2 à 0,4 μT . Cependant, cette corrélation en termes de causalité n'est soutenue ni par des études chez les animaux ni par des études *in vitro* (AFSSET 2010a).

L'AFSSET (2010a) indique que la valeur de 0,4 μT ne peut pas être avancée comme étant un niveau de risque effectif au-delà duquel la probabilité de voir survenir des effets sanitaires dommageables serait démontrée. Elle s'appuie sur la position de l'OMS, qui considère que les preuves scientifiques d'un possible effet sanitaire à long terme sont insuffisantes pour justifier une modification des valeurs limites d'exposition (OMS, 2007b).

Le groupe d'experts a également émis des recommandations concernant les orientations de recherche par rapport à :

- la recherche épidémiologique et d'effets biologiques;
- la communication du risque en vue d'améliorer la connaissance du public sur les niveaux d'exposition;
- l'exposition.

Toutefois, l'AFSSET a publié un avis (AFSSET, 2010b) relatif à la synthèse de l'expertise qui présente une recommandation supplémentaire qu'on ne retrouve pas dans le rapport des experts. Dans cet avis, l'agence « estime qu'il est justifié, par précaution, de ne plus augmenter le nombre de personnes sensibles exposées autour des lignes de transport d'électricité à très hautes tensions et de limiter les expositions ». Selon l'agence, cette recommandation « peut prendre la forme de la création d'une zone d'exclusion de nouvelles constructions d'établissements recevant du public (hôpitaux, écoles, etc.) qui accueillent des personnes sensibles (femmes enceintes et enfants) d'au minimum 100 m de part et d'autre des lignes de transport d'électricité à de très haute tension. Corrélativement, les futures implantations de lignes de transport d'électricité à très hautes tensions devront être écartées de la même distance des mêmes établissements » (AFSSET, 2010b).

À la suite de la publication de cet avis, huit experts (dont quatre des auteurs de la synthèse de l'expertise ont critiqué l'avis de l'agence dans une lettre ouverte adressée aux ministères de la Santé et de l'Environnement. Ils considèrent que l'AFSSET « a trompé délibérément le public et [a] bafoué l'expertise scientifique [...] en se focalisant sur les seules lignes à haute tension [plutôt que sur] la contribution des différents équipements et situations, [et en contredisant] l'avis des experts rédacteurs du rapport ». Ces experts dénoncent « ce déni de la science » contribuant « à inquiéter inutilement les 300 000 riverains des lignes de transport de l'électricité » (Brugere et collaborateurs, 2010).

Par la suite, l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) a évalué la recommandation d'urbanisme proposée dans l'avis de l'AFSSET (AFSSET, 2010b) et a estimé que cette mesure n'était ni fondée scientifiquement ni conforme aux directives de l'OMS sur la nécessité de trouver des solutions à très bas coût (OPECST, 2010). L'OPECST a cependant recommandé d'éviter l'exposition moyenne des jeunes enfants à plus de 0,4 μ T, lorsqu'une solution à coût raisonnable était disponible. Le Conseil général de l'Environnement et du Développement durable s'est également prononcé sur la recommandation de l'AFSSET. Il a évalué que l'impact économique pour la France d'une telle mesure pourrait dépasser dix milliards d'euros pour appliquer une zone d'exclusion autour des lignes électriques et a conclu que le « coût collectif et l'impact sur l'opinion publique d'une telle mesure seraient disproportionnés au regard des risques sanitaires encourus jugés très incertains » (CGEDD, 2010).

6.3. Santé Canada

Santé Canada, considère qu'« il n'est pas nécessaire de chercher à se protéger de l'exposition quotidienne aux CEMEBF puisqu'il n'y a aucune preuve concluante de dommages causés par des expositions à des niveaux trouvés dans les maisons et les écoles du Canada, y compris celles situées en bordure des corridors des lignes électriques » (Gouvernement du Canada, 2012). Cette conclusion est basée sur les travaux effectués par un Comité fédéral-provincial-territorial de la radioprotection du Canada (CFPTRP, 2005a; 2005b; 2005c).

6.4. Au Québec

En 2005, Hydro-Québec s'est dotée d'une position de gestion prudente au regard des CEM (Hydro-Québec, 2005). Elle entend ainsi « maintenir une attitude prudente, notamment en poursuivant sa contribution à l'effort de recherche, en exerçant une vigie constante de l'évolution des connaissances, en partageant ces connaissances avec ses partenaires et le public et à réviser, au besoin, ses pratiques actuelles de conception et l'exploitation de ses installations électriques ». Dans sa directive 22 sur les exigences de prévention et de contrôle des pollutions et nuisances, Hydro-Québec précise que « les divisions concernées tiennent compte des niveaux d'exposition des champs électriques et magnétiques de la population et des travailleurs lors de la planification et de la conception de nouvelles installations ou celles faisant l'objet de réfection. Cette prise en compte doit notamment comprendre [...] l'application, à coût égal, des moyens techniques qui réduisent l'exposition aux CEM ».

Plusieurs projets de nouvelles LHT sont actuellement en cours dans différentes régions du Québec en raison de la demande croissante en électricité. La plupart des projets de nouvelles lignes électriques (ligne d'une tension de 315 kV et plus sur une distance de plus de deux kilomètres) sont évalués dans le cadre de la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement¹³.

Au cours de l'élaboration du PEEIE, l'exposition potentielle au CM au voisinage des installations projetées est présentée et discutée, tant avec les organismes gouvernementaux qu'avec la population et les groupes de citoyens. Cependant, d'autres impacts que l'exposition au CM reliés à ces projets peuvent faire l'objet de questionnements et de débats, tant d'un point de vue environnemental (climat sonore, qualité de l'air, circulation et sécurité routière, éclairage, utilisation de pesticides, sols contaminés) que social (maintien de la qualité visuelle du paysage, impacts psychosociaux engendrés par la présence d'une nouvelle ligne électrique dans certaines régions à vocation touristique, proximité d'une LHT avec des bâtiments en régions urbaines), et ce, autant pour les phases de construction, d'exploitation que de démantèlement.

Enfin, il arrive qu'en amont de ce processus, avant même que l'avis de projet ou l'étude d'impact ne soit déposé, certaines DRSP soient invitées par les promoteurs de projet pour discuter de certains aspects entourant la santé de la population. À cet égard, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) « incite fortement l'initiateur de projet [...] à débiter le processus de consultation avant ou dès le dépôt de l'avis de projet et à y associer toutes les parties concernées, tant les individus, les groupes et les collectivités que les ministères et autres organismes publics et parapublics. Il est utile d'amorcer la consultation le plus tôt possible dans le processus de planification des projets pour que les opinions des parties intéressées puissent exercer une réelle influence sur les questions à étudier, les choix et les prises de décision. Plus la consultation intervient tôt dans le processus qui mène à une décision, plus grande est l'influence des citoyens sur l'ensemble du projet et nécessairement, plus le projet risque d'être acceptable socialement » (citation retrouvée dans l'ensemble des directives sectorielles disponibles sur le site du MDDELCC, 2012)¹⁴. Ces préconsultations prennent parfois la forme de séances d'information ou de comités de liaison avec les citoyens.

13. Voir l'annexe 2 pour une présentation détaillée de ce processus.

14. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/evaluations/publicat.htm#dir-sec>, consulté le 10 juillet 2012.

7. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

7.1. Conclusion sur les effets sur la santé des CMEBF

Le Comité scientifique sur les CEM considère que l'évaluation de l'ensemble des éléments de preuves ne permet pas de conclure qu'il y a présence d'effets néfastes sur la santé à la suite d'une exposition au CMEBF à des niveaux d'intensité habituellement présents dans l'environnement.

Cette conclusion rejoint celles de l'OMS (2012), de Repacholi (2012), du CIRC (2002), de Santé Canada (2012) et de l'AFSSET (2010a) dont ont discuté à la section 4.5.1.

Dans l'ensemble, l'évaluation des études épidémiologiques par méta-analyses montre la possibilité d'un risque accru de leucémie chez l'enfant exposé aux CMEBF. Bien que l'association observée ne soit probablement pas simplement attribuable au hasard, on ne peut pas exclure la possibilité que l'association soit due à une combinaison de biais présents dans les études épidémiologiques. De plus, l'absence d'un mécanisme d'action plausible et l'absence de preuves en provenance des études en laboratoire augmentent de manière notable le niveau de preuves épidémiologiques qui serait nécessaire à la démonstration d'un effet (OMS, 2007; Swanson et Kheifets, 2006). Également, les résultats des nombreuses études cellulaires et animales ne soutiennent pas l'hypothèse d'une association causale. Dans l'ensemble, les preuves d'une association entre l'exposition au champ magnétique de 50 à 60 Hz et la leucémie chez l'enfant sont faibles et non convaincantes (OMS, 2007).

Le Comité scientifique sur les CEM considère qu'il n'y a pas de fondement scientifique à l'adoption d'une limite d'exposition au CM qui serait inférieure à celle des normes établies ou toute mesure s'y apparentant.

Ainsi, le Comité scientifique sur les CEM ne propose pas de limite d'exposition au champ magnétique ni de distance minimale à maintenir avec une source d'exposition ni de zone d'exclusion pour de nouvelles constructions de certains établissements (hôpitaux, garderies, etc.) près des LHT. De même, l'évaluation de l'exposition de la population ne devrait pas être effectuée en fonction d'un seuil d'exposition arbitraire, puisque non soutenu par des considérations scientifiques. Cette position rejoint la position de l'Organisation mondiale de la Santé (2007a), de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ, 2006) et du rapport de consensus (INSPQ, 2000).

À la lumière de cette évaluation, le Comité scientifique sur les CEM propose quatre recommandations s'adressant aux autorités de santé publique et aux promoteurs d'installations électriques. Ces mesures s'appuient, notamment sur le cadre de référence de gestion des risques développé par l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ, 2003) et sur les recommandations de l'OMS (2007).

7.2. Recommandations

7.2.1. Au ministère de la Santé et des Services sociaux et à l'Institut national de santé publique du Québec

Recommandation 1 – Vigilance scientifique

Continuer à suivre l'évolution des connaissances scientifiques sur les champs magnétiques, tant au regard de la connaissance de l'exposition aux différentes sources qu'en ce qui concerne les résultats des études portant sur leurs effets sur la santé.

Cette vigilance scientifique est justifiée par les incertitudes qui persistent quant à l'association entre l'exposition aux CMEBF et la leucémie chez l'enfant, malgré la quantité importante d'études qui ont été réalisées à ce jour.

7.2.2. Au ministère de la Santé et des Services sociaux et aux directions régionales de santé publique

Recommandation 2 – Communication du risque

Communiquer à la population l'état des connaissances actuelles sur les risques et les incertitudes qui s'y rattachent.

La communication efficace du risque est une mesure importante pour la prise de décisions éclairées par la population. Les outils de communication développés à cette fin devraient refléter les conclusions du Comité scientifique sur les CEM et être élaborés avec soin afin d'éviter de créer une perception du risque en opposition avec le consensus scientifique international. De même, ces outils ne doivent pas avoir pour effet d'inciter à adopter des mesures de protection disproportionnées par rapport à d'autres risques dont la nature et les incertitudes qui s'y rattachent sont comparables.

7.2.3. Aux directions régionales de santé publique

Recommandation 3 – Évaluation des impacts

Proposer des recommandations appropriées pour bonifier les projets d'installations électriques, en tenant compte des particularités environnementales et sociales régionales.

Le comité considère que certains aspects de projets d'installations électriques peuvent faire l'objet de questionnements et de débats, bien qu'ils soient sans lien avec l'exposition aux CMEBF. Ces impacts peuvent se

situer tant au niveau environnemental (climat sonore, qualité de l'air, circulation et sécurité routière, éclairage, utilisation de pesticides, sols contaminés) que social (maintien de la qualité visuelle du paysage, impacts psychosociaux engendrés par la présence d'une nouvelle ligne électrique dans certaines régions à vocation touristique, proximité d'une ligne à haute tension avec des bâtiments en régions urbaines). Le comité encourage les DRSP à tenir compte de ces impacts lors de leurs recommandations.

En ce qui concerne l'exposition aux CMEBF résultant des projets d'installations électriques, les commentaires ou propositions des DRSP devraient tenir compte des recommandations de l'OMS et des conclusions du Comité scientifique sur les CEM. Les commentaires ou propositions des DRSP ne devraient donc pas être basés sur des critères d'exposition arbitraires ni avoir pour effet d'inciter à l'adoption de mesures de protection disproportionnées par rapport à d'autres risques dont la nature et les incertitudes qui s'y rattachent sont comparables.

7.2.4. Aux promoteurs d'installations électriques

Recommandation 4 – Communication et consultation

Les promoteurs d'installations électriques devraient organiser des activités d'information et de consultation des citoyens concernés par les projets qui pourraient avoir un impact sur la communauté.

La construction, l'exploitation et le démantèlement d'installations électriques d'envergure peuvent engendrer de nombreux impacts, tant d'un point de vue environnemental (climat sonore, qualité de l'air, circulation et sécurité routière, éclairage, utilisation de pesticides, sols contaminés, etc.) que social (maintien de la qualité visuelle du paysage, proximité d'une LHT avec des bâtiments en régions urbaines, etc.) Ces impacts, qui pourraient parfois avoir des effets néfastes sur la santé humaine, doivent être pris en compte par les promoteurs lors de la conception de leurs projets.

Les projets d'installations électriques d'envergure sont généralement assujettis à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement du MDDELCC. Il s'agit d'une excellente occasion pour les citoyens de prendre connaissance de ces projets, de poser des questions à propos des impacts sur leur milieu de vie et de présenter leurs recommandations sous forme de mémoires. Notons toutefois que d'autres projets d'installations électriques, qui n'ont pas à être soumis au PEEIE, pourraient aussi mériter un processus de consultation plus structuré auprès de la population vivant à proximité. Le Comité scientifique sur les CEM considère que ce type d'activité, organisée à l'initiative du promoteur, pourrait contribuer à rendre transparente la prise de décision, à améliorer l'acceptabilité sociale des projets et à mettre en place de mesures visant à atténuer les impacts discutés lors de ces consultations.

Adoption par la TCNSP

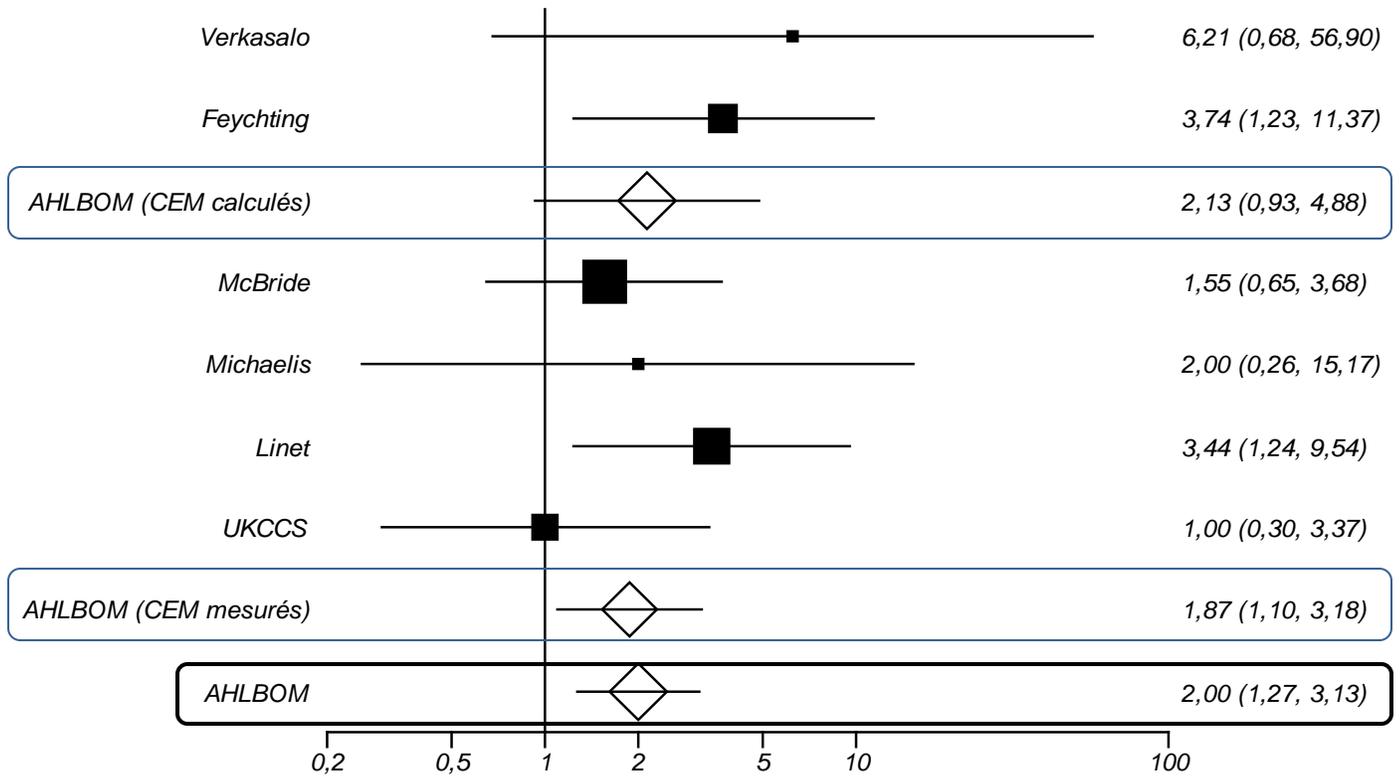
Les recommandations du Comité scientifique et son rapport ont été adoptés à l'unanimité par la Table de coordination nationale de santé publique (TCNSP) le 16 octobre 2014, pour constituer ainsi la *Position des autorités de santé publique sur la gestion des champs magnétiques émis par les lignes électriques*.

ANNEXE 1 : FIGURES DES MÉTA-ANALYSES

Les figures 2 à 5 illustrent les résultats des méta-analyses pour le niveau d'exposition supérieure à 0,3 μT . Dans chaque figure, les résultats des études participant à la méta-analyse sont représentés par un rectangle noir dont la surface est proportionnelle au poids de cette étude dans le calcul de la mesure d'association synthèse (MAS). Les losanges clairs, au bas des figures, représentent les MAS, soit le résultat de la méta-analyse. Les traits horizontaux, sur une échelle logarithmique, représentent l'intervalle de confiance (IC) 95 % pour chaque résultat d'étude individuelle et chaque MAS.

Le résultat principal de chaque méta-analyse apparaît dans un cadre au tracé foncé. Des résultats d'analyses par sous-groupes sont aussi présentés et apparaissent dans un cadre plus clair à la suite des résultats compris dans chaque sous-groupe. Par exemple, des MAS selon la méthode de mesure du champ magnétique (mesuré ou calculé) sont présentées aux figures 2, 4 et 5.

FIGURE 2 : MÉTA-ANALYSE D'AHLBOM (2000), ≥ 0,4 MT



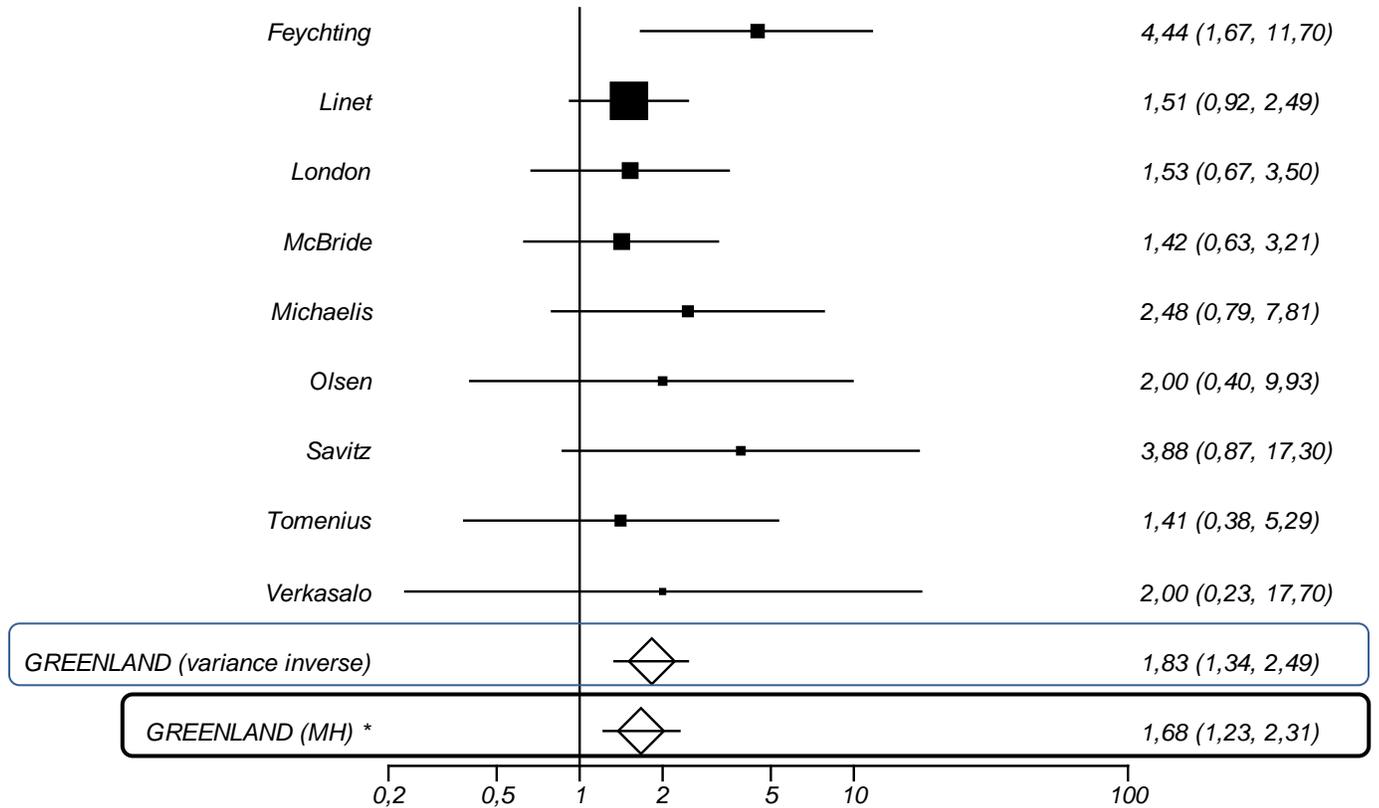
Les MAS de la méta-analyse sont ajustées en fonction de l'âge, du sexe et du niveau socioéconomique lorsque les CEM sont mesurés.

Trois études sont absentes du graphique, car aucun cas ou aucun témoin dans la catégorie égale ou supérieure à 0,4 µT n'y avait été observé. Il s'agit de :

Auteur	Témoins	Cas observés	Cas attendus	CEM
Dockerty	0	0	0	mesurés
Olsen	0	2	0	calculés
Tynes	10	0	2,7	calculés

Toutes ces études, sauf UKCCS, font aussi partie de la méta-analyse de Greenland.

FIGURE 3 : MÉTA-ANALYSE DE GREENLAND (2000), > 0,3 MT



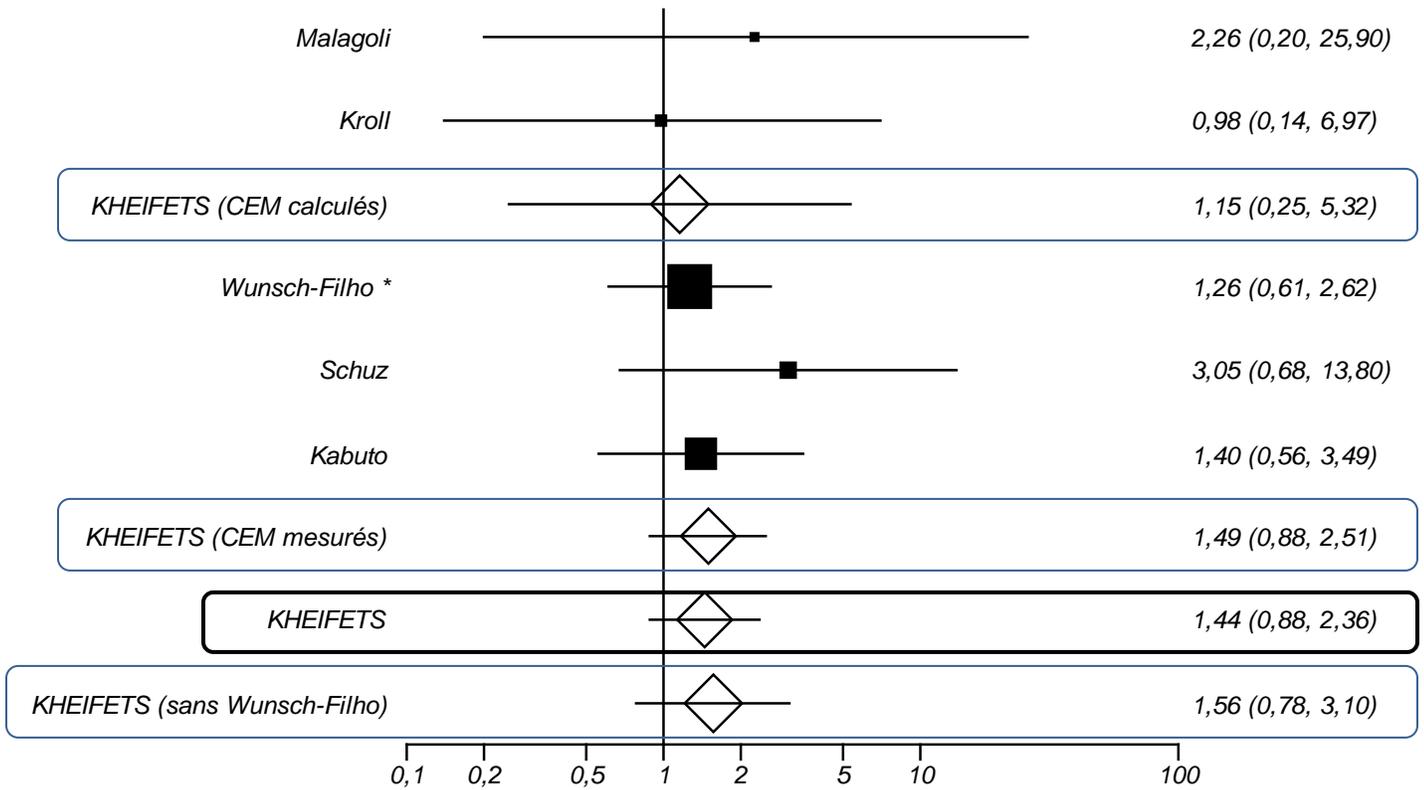
* Cette MAS obtenue par la méthode de Mantel-Haenszel, est ajustée en fonction de l'âge et du sexe; l'étude de Tomenius n'en fait pas partie.

Trois études sont absentes du graphique, car aucun cas ou aucun témoin dans la catégorie supérieure à 0,3 µT n'y avait été observé. Il s'agit de :

Auteur	Témoins	Cas observés	Cas attendus	CEM
Coghill	0	1	0	mesurés
Dockerty	0	3	0	mesurés
Tynes	31	0	2,3	calculés

Huit de ces études font aussi partie de la méta-analyse d'Ahlbom. Les quatre études qui n'en font pas partie sont : Coghill, London, Savitz et Tomenius.

FIGURE 4 : MÉTA-ANALYSE DE KHEIFETS (2010), $\geq 0,3$ MT



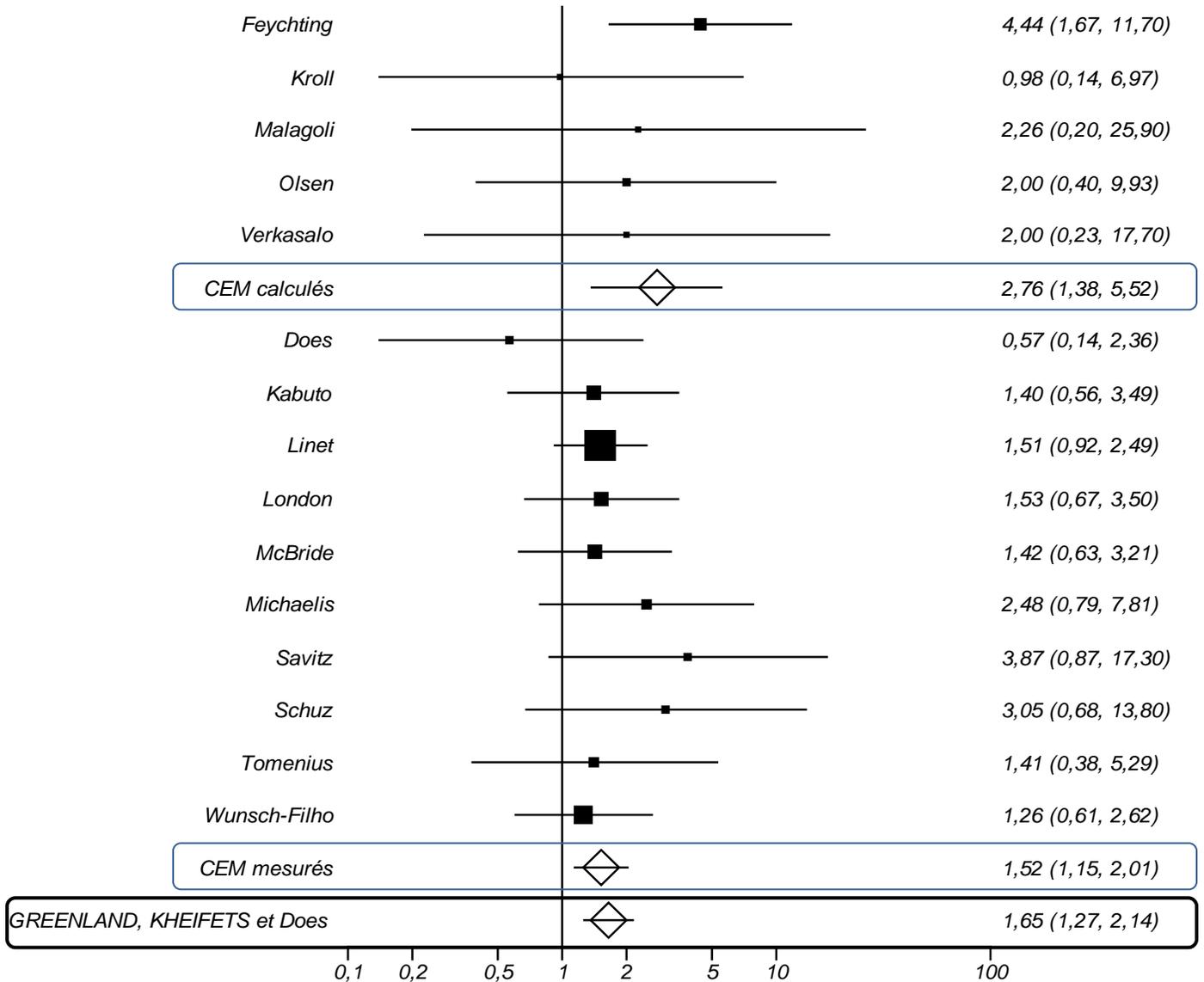
* Cette étude brésilienne a la particularité de n'inclure que les enfants de moins de 8 ans et les cas de leucémie lymphoblastique aiguë.

Les MAS sont ajustées en fonction de l'âge, du sexe et du niveau socioéconomique.

Une étude est absente du graphique, car aucun cas dans la catégorie égale ou supérieure à $0,3 \mu\text{T n'y}$ avait été observé. Il s'agit de :

Auteur	Témoins	Cas observés	Cas attendus	CEM
Bianchi	1	0	0,25	calculés

FIGURE 5 : MÉTA-ANALYSE GLOBALE POUR > OU ≥ 0,3 MT



Quatre études sont absentes du graphique, car aucun cas ou aucun témoin dans la catégorie > 0,3 $\mu\text{T n}'\gamma$ avait été observé. Il s'agit de :

Auteur	Témoins	Cas observés	Cas attendus	CEM
Bianchi	1	0	0,25	calculés
Tynes	31	0	2,3	calculés
Coghill	0	1	0	mesurés
Dockerty	0	3	0	mesurés

RÉFÉRENCES DES ÉTUDES ORIGINALES AYANT FAIT L'OBJET DES DIFFÉRENTES MÉTA-ANALYSES

BIANCHI, N., P. CROSIGNANI, A. ROVELLI, A. TITTARELLI, C. A. CARNELLI, F. ROSSITTO et collaborateurs. « Overhead electricity power lines and childhood leukemia: a registry-based, case-control study », *Tumori*, vol. 86, n° 3, 2000, p. 195-198.

COGHILL, R.W., J. STEWARD, A. PHILIPS. « Extra low frequency electric and magnetic fields in the bedplace of children diagnosed with leukaemia: a case-control study », *European Journal of Cancer Prevention*, vol. 5, n° 3, 1996, p.153-158.

DOCKERTY, J. D., J. M. ELWOOD, D. C. SKEGG, G. P. HERBISON. « Electromagnetic field exposures and childhood leukaemia in New Zealand », *Lancet*, vol. 354, n° 9194, 4 décembre 1999, p.1967-1968.

DOES, M., G. SCELO, C. METAYER, S. SELVIN, R. KAVET, P. BUFFLER. « Exposure to electrical contact currents and the risk of childhood leukemia », *Radiation Research*, vol. 175, n° 3, mars 2011, p.390-396.

FEYCHTING, M., A. AHLBOM. « Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines », *American Journal of Epidemiology*, vol. 138, n° 7, 1^{er} octobre 1993, p. 467-481.

KABUTO, M., H. NITTA, S. YAMAMOTO, N. YAMAGUCHI, S. AKIBA et collaborateurs. « Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: a case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan », *International Journal of Cancer*, vol. 119, n° 3, 1^{er} août 2006, p. 643-650.

KROLL, M. E., J. SWANSON, T. J. VINCENT, G. J. DRAPER. « Childhood cancer and magnetic fields from high-voltage power lines in England and Wales: a case-control study », *British Journal of Cancer*, vol. 103, n° 7, 28 septembre 2010, p. 1122-1127.

LINET, M. S., E. E. HATCH, R. A. KLEINERMAN, L. L. ROBISON, W. T. KAUNE, D. FRIEDMAN et collaborateurs. « Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children », *New England Journal of Medicine*, vol. 337, n° 1, 3 juillet 1997, p. 1-7.

LONDON, S. J., D. C. THOMAS, J. D. BOWMAN, E. SOBEL, T. C. CHENG, J. M. PETERS. « Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia », *American Journal of Epidemiology*, vol. 134, n° 9, 1^{er} novembre 1991, p. 923-937.

MALAGOLI, C., S. FABBI, S. TEGGI, M. CALZARI, M. POLI, E. BALLOTTI et collaborateurs. « Risk of hematological malignancies associated with magnetic fields exposure from power lines: a case-control study in two municipalities of northern Italy », *Environmental Health*, vol. 9, n° 16, 2010.

MCBRIDE, M. L., R. P. GALLAGHER, G. THERIAULT, B. G. ARMSTRONG, S. TAMARO, J. J. SPINELLI et collaborateurs. « Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada », *American Journal of Epidemiology*, vol. 149, n° 9, 1^{er} mai 1999, p. 831-842.

MICHAELIS, J., J. SCHUZ, R. MEINERT, E. ZEMANN, J. P. GRIGAT, P. KAATSCH et collaborateurs. « Combined risk estimates for two German population-based case-control studies on residential magnetic fields and childhood acute leukemia », *Epidemiology*, vol. 9, n° 1, janvier 1998, p. 92-94.

OLSEN, J. H., A. NIELSEN, G. SCHULGEN. « Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children », *BMJ*, vol. 307, n° 6909, 9 octobre 1993, p. 891-895.

SAVITZ, D. A., H. WACHTEL, F. A. BARNES, E. M. JOHN, J. G. TVRDIK. « Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields », *American Journal of Epidemiology*, vol.128, n° 1, juillet 1988, p. 21-38.

SCHÜZ, J., J. P. GRIGAT, K. BRINKMANN, J. MICHAELIS. « Residential magnetic fields as a risk factor for childhood acute leukaemia: results from a German population-based case-control study », *International Journal of Cancer*, vol. 91, n° 5, 1^{er} mars 2001, p. 728-735.

TOMENIUS, L. « 50-Hz electromagnetic environment and the incidence of childhood tumors in Stockholm County », *Bioelectromagnetics*, vol. 7, n° 2, 1986, p. 191-207.

TYNES, T., T. HALDORSEN. « Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines », *American Journal of Epidemiology*, vol. 145, n° 3, 1^{er} février 1997, p. 219-226.

UNITED KINGDOM CHILDHOOD CANCER STUDY INVESTIGATORS. « Exposure to power-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer », *Lancet*, vol. 354, n° 9194, 4 décembre 1999, p. 1925-1931.

VERKASALO, P. K., E. PUKKALA, M. Y. HONGISTO, J. E. VALIUS, P. J. JARVINEN, K. V. HEIKKILA et collaborateurs. « Risk of cancer in Finnish children living close to power lines », *BMJ*, vol. 307, n° 6909, 9 octobre 1993, p. 895-899.

WUNSCH-FILHO, V., D. PELISSARI, F. BARBIERI, L. SANT'ANNA, C. DE OLIVEIRA, J. DE MATA et collaborateurs. « Exposure to magnetic fields and childhood acute lymphocytic leukemia in Sao Paulo, Brazil », *Cancer Epidemiology*, vol. 35, n° 6, décembre 2011, p.534-539.

ANNEXE 2 : PROCÉDURE D'ÉVALUATION ET D'EXAMEN DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT (PEEIE)

Au Québec, tout promoteur de projets de grande envergure susceptibles de perturber l'environnement de façon significative doit réaliser, pour obtenir un certificat d'autorisation du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), une étude mesurant les impacts environnementaux et sociaux d'un tel projet sur un territoire dit « à l'étude » conformément à la *Loi sur la qualité de l'environnement* (L.R.Q., C. Q-2)¹⁵. Plus particulièrement, le MDDELCC consulte toujours le MSSS lorsqu'il estime que les projets pourraient avoir des impacts sur la santé des populations. Ce processus utilise l'étude d'impact sur l'environnement comme un instrument privilégié, non seulement pour l'utilisation des ressources du territoire visé, mais aussi pour intégrer les exigences gouvernementales à toutes les phases de planification, de conception et de réalisation d'un projet.

Plusieurs projets de nouvelles lignes de transport d'électricité sont actuellement en cours dans différentes régions du Québec en raison de la demande croissante en électricité. La plupart des projets de nouvelles lignes électriques sont évalués dans le cadre de ce processus d'évaluation. À cette occasion, Hydro-Québec doit se conformer à la directive sectorielle du MDDELCC¹⁶ concernant les lignes d'énergie électrique à haute tension pour réaliser leur étude d'impact. Cette directive renvoie à l'article 31.2 de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (L.R.Q., c. Q-2) pour les projets de construction ou de relocalisation d'une ligne de transport et de répartition d'énergie électrique assujettis à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement. Il s'adresse aux organismes ou entreprises ayant déposé un avis concernant un projet visé au paragraphe k (ligne d'une tension de 315 kV et plus sur une distance de plus de deux kilomètres) du premier alinéa de l'article 2 du Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement (R.R.Q., c. Q-2, r. 9). La directive du ministre indique à l'initiateur du projet la nature, la portée et l'étendue de l'étude d'impact sur l'environnement qu'il doit réaliser. Elle présente une démarche visant à fournir l'information nécessaire à l'évaluation environnementale du projet proposé et au processus d'autorisation par le gouvernement.

Lors de la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement (PEEIE) des projets, le ministre de l'Environnement peut confier au Bureau d'audiences publiques sur l'environnement, organisme public et indépendant, un mandat d'enquête et d'audience publique qui consiste à informer et consulter la population sur des questions relatives à la qualité de l'environnement. Une audience du BAPE se déroule en deux parties : la première vise à informer la population et les commissaires sur le projet et la deuxième vise à accueillir l'expression des opinions du public. Le MSSS, représenté par des experts de l'INSPQ et des DRSP, participe à la première partie des audiences à titre d'expert pour répondre aux interrogations du public et de la commission chargée d'examiner le projet alors que le directeur de santé publique de la région concernée par le projet, peut émettre des recommandations au BAPE en produisant un mémoire qui sera déposé en seconde partie des audiences.

Au cours du PEEIE, l'exposition potentielle au CM au voisinage de ces installations est présentée et discutée, tant ce qui concerne les organismes gouvernementaux, la population et les groupes de citoyens, l'environnemental (climat sonore, qualité de l'air, circulation et sécurité routière, éclairage, utilisation de pesticides, sols contaminés), le social (maintien de la qualité visuelle du paysage, impacts psychosociaux engendrés par la

15. La Loi sur la qualité de l'environnement (mise à jour le 14 août 2014) peut être consultée à l'adresse : http://www.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/Q_2/Q2.htm

16. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, *Directive pour la réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement d'un projet de ligne d'énergie électrique à haute tension*, novembre 2013, <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/evaluations/documents/Lignes.pdf>

présence d'une nouvelle ligne électrique dans certaines régions à vocation touristique, proximité d'une ligne à haute tension avec des bâtiments en régions urbaines), que ce qui concerne les phases de construction, d'exploitation et de démantèlement. Cependant, d'autres impacts que l'exposition au CM reliés à ces projets peuvent faire l'objet de questionnements et de débats.

Enfin, il arrive que certaines directions régionales de santé publique (DRSP) soient invitées en amont de ce processus par les promoteurs de projet pour discuter de certains aspects entourant la santé de la population avant même que l'avis de projet ou l'étude d'impact ne soit déposé. À cet égard, le MDDELCC « incite fortement l'initiateur de projet [...] à débiter le processus de consultation avant ou dès le dépôt de l'avis de projet et à y associer toutes les parties concernées, tant les individus, les groupes et les collectivités que les ministères et autres organismes publics et parapublics. Il est utile d'amorcer la consultation le plus tôt possible dans le processus de planification des projets pour que les opinions des parties intéressées puissent exercer une réelle influence sur les questions à étudier, les choix et les prises de décision. Plus la consultation intervient tôt dans le processus qui mène à une décision, plus grande est l'influence des citoyens sur l'ensemble du projet et nécessairement, plus le projet risque d'être acceptable socialement » (citation retrouvée dans l'ensemble des directives sectorielles disponibles sur le site du MDDELCC, 2012)¹⁷. Ces préconsultations prennent parfois la forme de séances d'information ou de comités de liaison avec les citoyens. Advenant qu'un projet électrique ne nécessite pas la mise en place d'un PEEIE (LHT de moins de 315kV), il demeure de bon aloi pour le promoteur de consulter la population habitant sur le territoire sur lequel cette ligne sera implantée.

17. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/evaluations/publicat.htm#dir-sec>, consulté le 10 juillet 2012.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. AGENCE FRANÇAISE DE SÉCURITÉ SANITAIRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU TRAVAIL. *Rapport d'expertise collective : Effets sanitaires des champs électromagnétiques extrêmement basses fréquences*, mars 2010a.
2. AGENCE FRANÇAISE DE SÉCURITÉ SANITAIRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU TRAVAIL. *Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail relatif à la « synthèse de l'expertise internationale sur les effets sanitaires des champs électromagnétiques extrêmement basses fréquences »*, 2010b.
3. AHLBOM, A. et collaborateurs. « A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia », *British Journal of Cancer*, vol. 83, n° 5, 2000, p. 692-698.
4. BRUGERE, H. et collaborateurs. *Lettre ouverte adressée à Mme Bachelot, ministre de la Santé et des Sports et à M. Borloo, ministre de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, le 19 mai 2010*.
5. CONSEIL GENERAL DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE. *Rapport sur la maîtrise de l'urbanisme autour des lignes de transport d'électricité*, août 2010. [Rédigé par Philippe Follenfant et Jean-Pierre Leteurtois].
6. DEADMAN, J.E., PLANTE, M. « Expositions aux champs magnétiques résidentiels de 60 hertz au Québec », *Bulletin d'information en santé environnementale*, vol. 13, 2002, p. 1-5.
7. DOES, M., G. SCELO, C. METAYER, S. SELVIN, R. KAVET, P. BUFFLER. « Exposure to electrical contact currents and the risk of childhood leukemia », *Radiation Research*, vol. 175, n° 3, 2011, p. 390-396.
8. FOLIART, D.E. et collaborateurs. « Magnetic field exposure and long-term survival among children with leukaemia », *British Journal of Cancer*, vol. 94, 2006, p. 161-164.
9. GREENLAND, S., A. R. SHEPPARD, W. T. KAUNE, C. POOLE, M. A. KELSH. « A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia », *Childhood Leukemia-EMF Study Group. Epidemiology*, vol. 11, n° 6, 2000, p. 624-634.
10. HYDRO-QUÉBEC. *Champs électriques et magnétiques – Position de gestion prudente. Directive 22*, 25 mai 2005.
11. HYDRO-QUÉBEC. *Table d'information et d'échange 2012 – Arrondissement Cité-Limoilou*. HYDRO-QUÉBEC. *Projet de raccordement de ligne – Solution permanente – Ligne Québec 2 / Limoilou*, 2012.
12. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. Non-Ionizing Radiation, part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields, vol. 80, 7 mars 2002, 7 p.
13. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Preamble*, 2006.
14. INTERNATIONAL COMMISSION OF NON-IONIZING RADIATION PROTECTION. « Guideline for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz) », *Health Physics*, vol. 74, n° 4, 1998, p. 494-522.
15. INTERNATIONAL COMMISSION OF NON-IONIZING RADIATION PROTECTION. « Fact sheet on the guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz - 100 kHz) », *Health Physics*, vol. 99, n° 6, 2010a, p. 818-836.
16. INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION. « Guideline for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 Hz) », *Health Physics*, vol. 99, n° 6, 2010b, p. 818-836.
17. THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0–3 kHz*, C95.6, 2002.
18. INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC. *Cadre de référence en gestion des risques pour la santé dans le réseau québécois de la santé publique*, janvier 2003, 92 p. [Rédigé par Sylvie Ricard et collaborateurs].

19. INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC. *Consensus sur l'évaluation et la gestion des risques associés à l'exposition aux champs électrique et magnétique provenant des lignes électriques*, 2000. [Rédigé par Patrick Levallois, Pierre Lajoie, Denis Gauvin, Gaétan Carrier, Albert Daveluy, Louis Drouin, Claude Prévost, Gilles Thériault, Claude Tremblay].
20. INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC. *Exposition aux champs électromagnétiques : Mise à jour des risques pour la santé et pertinence de la mise en œuvre du principe de précaution*, Québec, décembre 2006, 128 p. [Rédigé par D. Gauvin, E. Ngamga Djeutcha, P. Levallois].
21. INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE. « Lignes directrices pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques et magnétiques variables dans le temps (fréquences de 1 Hz à 100 kHz) », *Point de repère*, 2011, p. 35-55. [Traduction française de *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz)* par l'ICNIRP].
22. KHEIFETS, L. et collaborateurs. « Developing Policy in the Face of Scientific Uncertainty: Interpreting 0.3 μ T or 0.4 μ T Cutpoints from EMF Epidemiologic Studies », *Risk Analysis*, vol. 25, n° 4, 2005.
23. KHEIFETS, L., A. AHLBOM, C. M. CRESPI et collaborateurs. « Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia », *British Journal of Cancer*, vol. 103, n° 7, 2010, p. 1128-1135.
24. LANGHOLZ, B. « Factors that explain the power line configuration wiring code-childhood leukemia association: what would they look like? », *Bioelectromagnetics*, supplément n° 5, 2000, p. S19-S31.
25. McBRIDE, M. L., R. P. GALLAGHER, G. THERIAULT, B. G. ARMSTRONG, S. TAMARO, J. J. SPINELLI et collaborateurs. « Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada », *American Journal of Epidemiology*, vol. 149, n° 9, 1^{er} mai 1999, p. 831-842.
26. OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES. *Rapport sur Les effets sur la santé et l'environnement des champs électromagnétiques produits par les lignes à haute et très haute tension*, 2010. [Rédigé par Daniel Raoul].
27. ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ. *Champs électromagnétiques et santé publique – fréquences extrêmement basses et cancers*, aide-mémoire n° 263, 2001.
28. ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ. *Champs électromagnétiques et santé publique : exposition aux champs de fréquence extrêmement basse*, aide-mémoire n°322, juin 2007b.
29. ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ. *Que sont les champs électromagnétiques?*, <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/fr/index.html> (consulté le 4 décembre 2012).
30. RÉGIE RÉGIONAL DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX. *Niveaux de champ magnétique en milieu scolaire résultant de l'utilisation d'un plancher électrique chauffant*, mai 2003. [Rédigé par Gauvin, D., G. Paradis, M. Legris, en collaboration avec P. LEVALLOIS].
31. REPACHOLI, M. H. « Concern that "EMF" magnetic fields from power lines cause cancer », *Science of the Total Environment*, n° 426, 2012, p. 454-458.
32. REPACHOLI, M. H., E. CARDIS. « Criteria for EMF health risk assessment », *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 72, n°s 3, 4, 1997, p. 305-312.
33. ROTHMAN, K.J., GREENLAND, S. *Modern epidemiology*, Philadelphie, Lippincott Williams & Wilkins, 3^e édition, 2008, 758 p.
34. GOUVERNEMENT DU CANADA. *Champs électriques et magnétiques générés par les lignes électriques et les appareils électroménagers*, 2012
<http://canadiensante.gc.ca/health-sante/environnement-environnement/home-maison/emf-cem-fra.php>
(consulté le 9 septembre 2014).

35. SANTÉ CANADA. *Effets sur la santé des champs électriques et magnétiques de fréquence extrêmement basse et lignes directrices concernant l'exposition – aperçu*, 2005a. [Rédigé par le Comité fédéral-provincial-territorial de la radioprotection].
36. SANTÉ CANADA. *Énoncé de principes sur les effets des champs électriques et magnétiques de fréquence réseau (60 Hz) sur la santé de la population générale*, 2005b. [Rédigé par le Comité fédéral-provincial-territorial de la radioprotection].
37. SANTÉ CANADA. *Réponse à la question des champs magnétiques de fréquence réseau et la leucémie infantile - rendue publique le 20 janvier 2005c*. [Rédigée par le Comité fédéral-provincial-territorial de la radioprotection].
38. SCHÜZ, J. « Implications from Epidemiologic Studies on Magnetic Fields and the Risk of Childhood Leukemia on Protection Guidelines », *Health Physics*, vol. 92, n° 6, 2007.
39. SCHÜZ, J, A. AHLBOM. « Exposure to electromagnetic fields and the risk of childhood leukaemia : A review », *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 132, n° 2, 2008, p. 202–211.
40. SCHÜZ, J. « Exposure to extremely low-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer Update of the epidemiological evidence », *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, vol. 107, n° 3, 2011, p. 339-342.
41. SVENDSEN, A. L. et collaborateurs. « Exposure to Magnetic Fields and Survival after Diagnosis of Childhood Leukemia: A German Cohort Study », *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, vol. 16, n° 6, 2007, p. 1167–1171.
42. SWANSON, J, L. KHEIFETS. « Biophysical Mechanisms: A Component in the Weight of Evidence for Health Effects of Power-Frequency Electric and Magnetic Fields », *Radiation Research*, vol. 165, n° 4, 2006, p. 470-478.
43. TEEPEN, J. C., J. A. VAN DIJCK. « Impact of high electromagnetic field levels on childhood leukemia incidence », *International Journal of Cancer*, vol. 131, no 4, 2012, p. 769-78.
44. VILLE DE TORONTO. *Reducing Electromagnetic Field Exposure from Hydro Corridors*, juin 2008 http://www.toronto.ca/health/hphe/pdf/emf_boh_report.pdf (consulté le 10 septembre 2014).
45. VILLE DE TORONTO. *Guidance manual for the preparation of an EMF Management Plan for the City of Toronto*, 2010.
46. VILLE DE TORONTO. *Electromagnetic fields*, 2011, <http://www.toronto.ca/health/emfs.htm> (consulté le 10 septembre 2014).
47. WERTHEIMER, N., E. LEEPER. « Electrical wiring configurations and childhood cancer », *American Journal of Epidemiology*, vol. 109, n° 3, 1979, p. 273-284.
48. World Health Organization. « Extremely low frequency fields », *Environmental health criteria* », n° 238, 2007a.