

## Qualité du cadre de vie

# Effets des champs électriques et magnétiques



### Sommaire

Mise en contexte .....	1
Bilan historique .....	2
Cadre réglementaire et encadrements internes.....	2
Ampleur et portée des études réalisées .....	5
Résultats .....	10
Effets des CÉM sur les humains .....	10
Effets biologiques des CÉM sur le bétail.....	12
Revues de la littérature – effets sur les animaux et les végétaux .....	15
Études techniques .....	16
Suivis de projets.....	16
Mesures de gestion prudente.....	17
Les enseignements .....	
À retenir .....	18
À poursuivre .....	18
Vocabulaire.....	19
Bibliographie .....	20



Pour des raisons historiques, les appellations (noms de lignes et de postes ainsi que vocabulaire méthodologique) et les règles d'écriture utilisées dans cette synthèse sont celles qui figurent dans les sources ayant servi à sa réalisation. Pour plus de précisions, lire l'avant-propos.

#### Photos de la couverture

*En haut* : Piste cyclable dans une emprise de ligne à 315 kV à Brossard

*En bas* : Vaches broutant sous la ligne à 735 kV des Cantons-Lévis dans la vallée du lac William

#### Photo de l'endos

Troupeau de vaches sous les lignes 7006 et 7034, dans la région de Nicolet, dont une porte un baril au cou pour mesurer l'exposition réelle aux champs magnétiques



*Le projet de ligne Châteauguay-frontière canado-américaine lance le débat, au Québec, sur les CÉM.*

## Mise en contexte

Il y a 40 ans, on a commencé à se préoccuper des effets possibles de l'exposition aux champs électriques et magnétiques (CÉM) sur la santé des humains, ainsi que sur les animaux et les plantes. Lors du congrès de la Conférence internationale des grands réseaux électriques à haute tension (CIGRÉ) organisé à Paris en 1972, on a présenté des résultats faisant état de problèmes de santé physique et psychologique chez des travailleurs soviétiques. En 1973, les audiences publiques relatives à la construction d'une ligne à 765 kV s'étendant d'Utica, dans l'État de New York, jusqu'à la frontière canadienne, pour s'interconnecter avec le réseau d'Hydro-Québec, ont donné lieu à un important forum sur certains aspects de santé et sécurité liés aux lignes de transport à haute tension (LHT).

Au Québec, le débat est lancé en 1976, alors que des agriculteurs contestent le tracé de la ligne à 765 kV Châteauguay-frontière canado-américaine. Ceux-ci citent à comparaître devant le tribunal de l'Office national de l'énergie un expert biophysicien de l'Université de Syracuse qui avance que les LHT pourraient causer des effets néfastes sur la santé des populations avoisinantes. À la demande d'Hydro-Québec, un autre physicien, de l'Université de Rochester cette fois, viendra devant les juges contredire point par point les allégations de son confrère. Hydro-Québec prend immédiatement conscience du sérieux du débat. Au lendemain des audiences, le Dr Georges Rouleau, responsable de l'exercice de la médecine du travail à Hydro-Québec, lance un programme interne de suivi médical intensif de 56 électriciens d'appareillage, ciblant ainsi les travailleurs les plus exposés (Roberge, 1976 a et b). Depuis ce temps, Hydro-Québec poursuit la recherche sur les CÉM.

## Bilan historique

### Cadre réglementaire et encadrements internes

#### *Décrets gouvernementaux*

Il n'y a pas de loi provinciale ou fédérale visant la gestion de l'exposition aux CÉM. Par contre, la construction de nouvelles lignes et de nouveaux postes à haute tension suscite des débats dans la population et amène régulièrement Hydro-Québec devant le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE). Lors de ces audiences, les intervenants expriment entre autres leurs inquiétudes concernant les effets des CÉM. Les recommandations du BAPE qui s'ensuivent conduiront le gouvernement du Québec à émettre des décrets pour encadrer les études sur le sujet à partir de 1984.

#### ■ Premier décret gouvernemental

La réalisation de nouvelles lignes d'une tension égale ou supérieure à 315 kV est conditionnelle à l'obtention d'un certificat d'autorisation en vertu de l'article 31.1 de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE) (L.R.Q., c. Q-2). La délivrance du certificat s'accompagne de conditions de réalisation. Le gouvernement du Québec impose pour la première fois de telles conditions relativement aux études des effets des CÉM pour le projet de ligne à 735 kV en courant alternatif entre les postes de la Nicolet et de Kingsey. Le 28 mars 1984, il publie le premier décret (n° 729-84), qui pose les conditions suivantes à la délivrance du certificat :

- qu'Hydro-Québec réalise une étude épidémiologique des effets des lignes à haute tension sur la santé humaine et que les ministères des Affaires sociales et de l'Environnement soient associés à cette étude ;

- qu'Hydro-Québec réalise une étude des effets des lignes à haute tension sur la santé du bétail et que les ministères de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) et de l'Environnement soient associés à cette étude.

À la suite de la publication du premier décret, en juin 1986, Hydro-Québec adopte le Plan d'action sur les effets biologiques des CÉM, duquel naîtra en septembre le Comité interne de coordination de la gestion des CÉM. Ce plan d'action est axé principalement sur des activités d'évaluation scientifique et technique, de recherche et de communication. L'enjeu des CÉM évolue vers des décisions de gestion touchant l'ingénierie, l'environnement et la santé. L'orientation des activités doit servir à réduire l'incertitude scientifique et à répondre aux requêtes venant des partenaires tels que l'Association canadienne de l'électricité et Électricité de France (EDF), des instances gouvernementales telles que le ministère de l'Environnement (MENVIQ), le MAPAQ, le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS), la Régie de l'énergie et Santé Canada ainsi que du public.

Le plan d'action vise trois objectifs :

- fournir les études spécialisées et l'expertise nécessaire pour répondre aux exigences relatives au transit d'énergie électrique (conception, implantation, réfection et exploitation des installations électriques) ;
- définir les encadrements (p. ex. directives et recommandations) pour gérer efficacement l'enjeu en appliquant la position d'entreprise et en tenant compte de l'évolution de la réglementation ;
- maintenir la contribution technique et financière d'Hydro-Québec à l'effort international de recherche-développement pour réduire au minimum l'incertitude scientifique.



## ■ Deuxième décret gouvernemental

Un deuxième projet de LHT donne lieu à l'émission d'un décret par le gouvernement du Québec, assorti de conditions relatives aux études des effets des CÉM, soit le projet de ligne à 450 kV à courant continu de Radisson-Nicolet-des Cantons. La partie de la ligne projetée qui est située au sud du territoire régi par la *Convention de la Baie James et du Nord québécois* est en cause. Le décret n° 924-87, promulgué le 10 juin 1987, pose les conditions suivantes à la délivrance du certificat :

- qu'en plus de la condition 9 du décret 729-84 en date du 28 mars 1984 concernant la réalisation d'une étude épidémiologique des effets des lignes à haute tension sur la santé humaine, Hydro-Québec fasse un bilan régulier des connaissances scientifiques des effets sur la santé des lignes à haute tension, y compris les lignes à courant continu, en tenant compte notamment de la largeur des emprises, et fasse rapport annuellement au comité ci-dessous décrit ;
- que dans la révision périodique des critères de conception et d'exploitation de son réseau, Hydro-Québec tienne compte notamment de l'exposition de la population aux champs électriques (CÉ) et à l'ionisation produite par les lignes à courant continu à haute tension ;

- qu'un comité interministériel formé de représentants du MSSS, du MENVIQ, du ministère de l'Énergie et des Ressources (MER) ainsi que du MAPAQ soit chargé d'assurer le suivi des études portant sur les effets des lignes à haute tension sur la santé. La coordination de ce comité sera assumée par le MSSS.

## *Encadrements internes*

Pour faire suite aux préoccupations concernant les effets des CÉM formulées lors des consultations publiques, des enquêtes et médiations ou des audiences publiques, aux décrets gouvernementaux et à plusieurs autres interventions, Hydro-Québec a adopté trois principales mesures dont une position d'entreprise qui permet d'être vigilant en regard des CÉM et un encadrement qui assure le respect de la position d'entreprise :

1. position de gestion prudente des CÉM ;
2. directive d'entreprise Exigences de prévention et de contrôle des pollutions et nuisances (DIR-22) ;
3. projets de recherche et de communication.

## ■ Position de gestion prudente des CÉM

Hydro-Québec a adopté en 1996 une position de gestion prudente des CÉM. Celle-ci a été révisée en 2005 (voir le texte de 2005 en encadré ci-dessous).

## Champs électriques et magnétiques – Position de gestion prudente<sup>1</sup>

Depuis une trentaine d'années, la question des effets potentiels des champs électriques et magnétiques de 60 Hz sur la santé a fait l'objet de nombreuses études, notamment en regard du lien possible avec le cancer. Malgré l'amélioration croissante des protocoles de recherche, le recours à des études épidémiologiques d'envergure et une connaissance beaucoup plus précise des niveaux d'exposition, le risque appréhendé ne s'est pas confirmé. À ce jour, aucun lien de cause à effet n'a pu être établi. Néanmoins, l'hypothèse d'une augmentation de risque de cancer chez l'enfant exposé aux champs magnétiques demeure possible selon certains scientifiques.

Les résultats des études scientifiques disponibles actuellement justifient la poursuite de la recherche pour vérifier l'existence des effets présumés sur la santé, mais ne permettent pas de recommander des mesures préventives systématiques visant la diminution des expositions des travailleurs ou du public.

Hydro-Québec considère que l'enjeu résultant de cette situation d'incertitude est important pour ses employés, ses clients et le public. Il s'agit d'une question qui doit être évaluée avec la plus grande rigueur scientifique et qui doit être traitée avec la plus grande transparence.

Hydro-Québec s'engage à faire en sorte que la conception et l'exploitation de ses équipements respectent la santé et la sécurité de ses employés et du public.

L'entreprise entend également maintenir une attitude prudente, notamment en poursuivant sa contribution à l'effort de recherche, en exerçant une vigie constante de l'évolution des connaissances ainsi qu'en partageant ces connaissances avec ses partenaires et le public, et à réviser, au besoin, ses pratiques actuelles de conception et d'exploitation de ses installations électriques.

1. Révisée à la fin 2012

### ■ Directive d'entreprise DIR-22

La directive DIR-22, Exigences de prévention et de contrôle des pollutions et nuisances, adoptée en 1999 et révisée en 2005, vise toutes les activités utilisant ou générant des pollutions et des nuisances dans l'environnement. L'article 2.2 de la directive prévoit les dispositions particulières suivantes relativement aux CÉM :

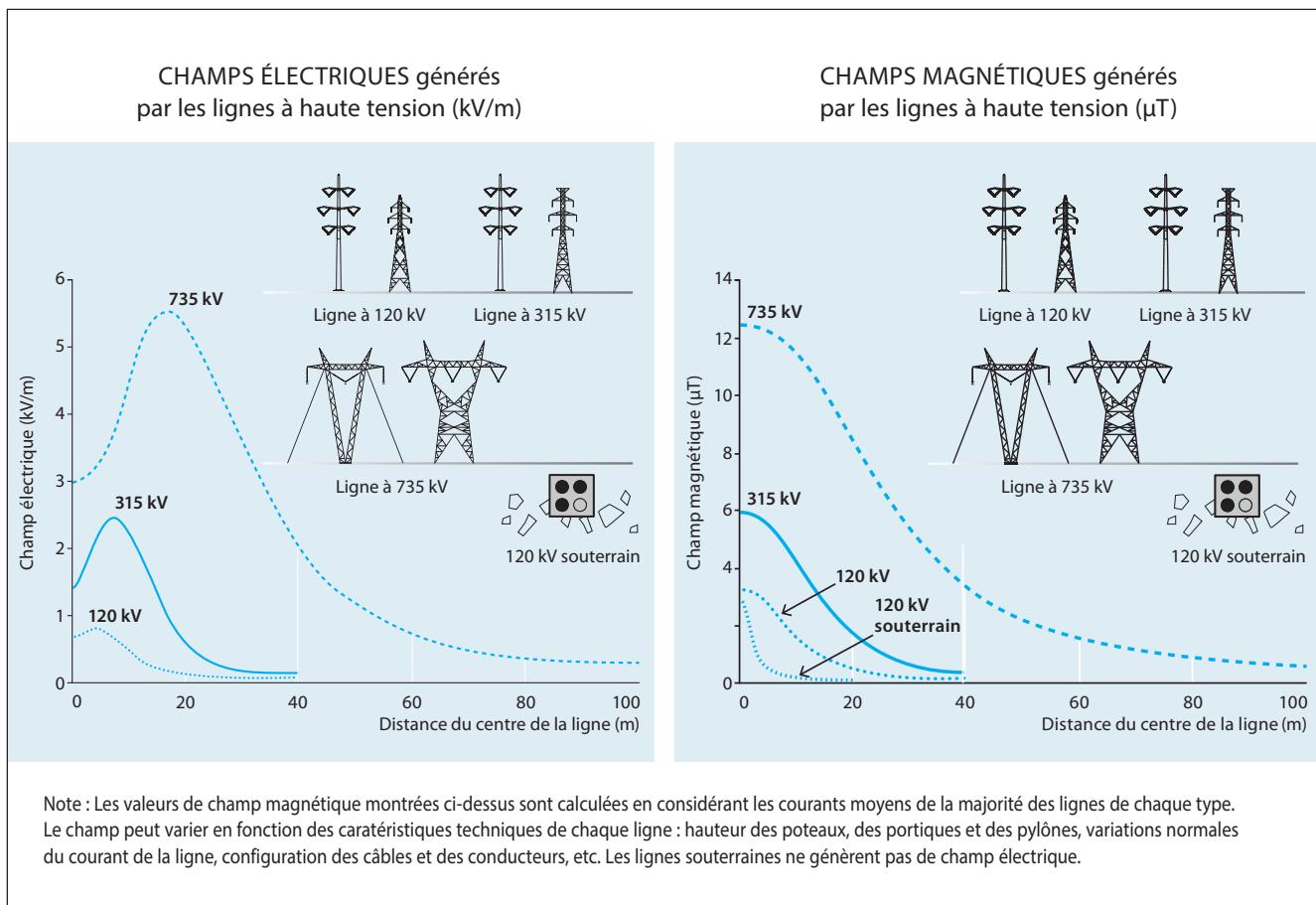
- Les unités d'Hydro-Québec doivent s'assurer que la gestion des CÉM respecte la position de gestion prudente en vigueur dans l'entreprise.
- Les unités concernées doivent tenir compte des niveaux d'exposition aux CÉM de la population et des travailleurs au moment de la planification et

de la conception de nouvelles installations ou de la réfection des installations existantes. Cela doit notamment comprendre :

- l'évaluation ou l'estimation des niveaux de CÉM produits par leurs installations ;
- l'examen des moyens techniques disponibles permettant de réduire les niveaux de CÉM ;
- l'application, sans coût supplémentaire, des moyens techniques qui réduisent l'exposition aux CÉM.
- Les unités concernées doivent être en mesure de communiquer à la population et aux travailleurs les niveaux de CÉM générés par leurs installations électriques.

Figure 1 :

Les champs électriques et les champs magnétiques générés par les lignes à haute tension



### ■ Projets de recherche et développement

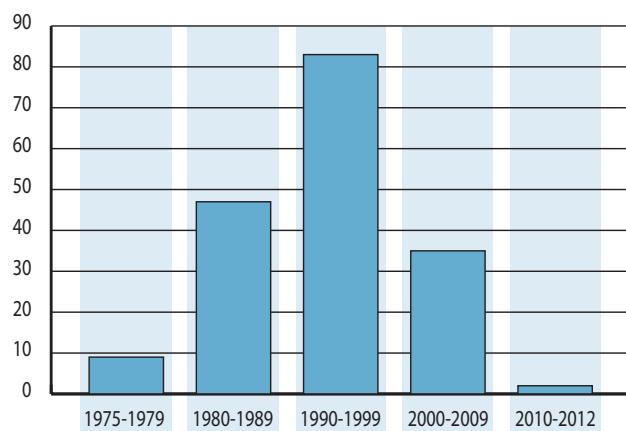
Les projets de recherche et développement mis de l'avant sont présentés ci-après. La plupart de ces études a fait l'objet d'articles scientifiques, de publications ou encore de brochures de vulgarisation.

### Ampleur et portée des études réalisées

Consciente de l'importance de la problématique des CÉM des LHT, Hydro-Québec entreprend plusieurs études à ce sujet notamment sur leurs effets écologiques et biologiques, sur la formation d'ozone par effet couronne, sur la pollution électrochimique ainsi que sur l'effet des courants corporels induits sur la fonction cardiaque (voir le récapitulatif des études thématiques au tableau 1). De 1975 à 1985, les études d'Hydro-Québec ont principalement porté sur les effets des champs électriques. En juillet 1982, elle a mis sur pied un comité de travail portant sur les effets biologiques de ses équipements électriques. Ce groupe de réflexion servira entre autres à cibler les avenues de recherche.

À la suite des objectifs fixés dans le plan d'action adopté en 1986 sur les effets biologiques des CÉM, plusieurs projets de recherche et de communication ont été menés à bien. Le nombre de publications portant sur les CÉM produites par Hydro-Québec et ses partenaires témoigne de l'ampleur et de la portée des études réalisées. En effet, quelque 178 publications scientifiques et rapports techniques ont vu le jour entre 1975 et 2009 (voir le tableau 1 et la figure 2). Durant les premières années, il s'agissait plutôt d'amorces d'études techniques et de documents d'information destinés aux publics touchés. C'est dans les années 1980 qu'on a véritablement lancé les études techniques, qu'on a amorcé les suivis de projet relatifs aux effets des CÉM et qu'on a entrepris les études des effets des CÉM sur la santé humaine, sur les animaux et sur les végétaux. Hydro-Québec s'est davantage investie dans les études portant sur les effets des CÉM au cours des années 1990. Durant les années 2000, grâce à l'analyse des résultats des études antérieures, on a pu définir certains créneaux de recherche et de développement pour l'avenir.

**Figure 2 :**  
Nombre de publications scientifiques et de rapports techniques par décennie



**Tableau 1 :**  
**Études thématiques portant sur les CÉM, par décennie**

Études		Années 1970				
		75	76	77	78	79
A	<b>CÉM et configuration des LHT et postes (8 documents)</b> De Vizio et Maruvada. (1976), Dallaire et coll. (1983,1987), Maruvada (1982), Maruvada et coll. (1976,1981,1982,1984)		2			
B	<b>Effets écologiques et biologiques des LHT (6 documents)</b> Hyltén-Cavallius et coll. (1975), Dallaire et coll. (1985), Dowdall et De Montigny. (1985), Geoffrion (1985), De Montigny (1987), Dallaire et Jutras. (1989)	1				
C	<b>Pollution électrochimique – ozone (3 documents)</b> Hydro-Québec (1978), Verdier-Briend et Varfalvy. (1979), Varfalvy et coll. (1985)				1	1
D	<b>Effet du courant induit sur la fonction cardiaque (1 document)</b> Billette et coll. (1981a et b)					
E	<b>Pathophysiologie des brûlures électriques (3 documents)</b> Zelt et coll. (1988), Héroux (1993), Héroux et Bourdages. (1994)					
F	<b>Études épidémiologiques (16 documents)</b> Thériault (1984a et b), Aubry et Thériault. (1986a et b), Cardinal et Plante. (1987), Héroux (1991), Armstrong et coll. (1990, 1994), Thériault et coll. (1994a et b), Baris et coll. (1996a et b), Deadman et coll. (1988, 1995, 1996, 1997)					
G	<b>Effets sur la cancérogénicité et l'immunité animale (8 documents)</b> Tremblay (1993), Tremblay et coll. (1996), Gagnon (1996), Ghostine (1998), Mandeville (1998), Mandeville et coll. (1997, 2000), Maruvada et coll. (2000)					
H	<b>Mécanismes d'interaction du CÉ sur les tissus biologiques (3 documents)</b> Méthot et coll. (2001), Méthot (2002), Dubé et coll. (2012)					
I	<b>Seuils de perception du CÉM chez l'humain (6 documents)</b> Blondin et coll. (1994, 1995, 1996a et b), Nguyen et coll. (1994), Chapman et coll. (2005)					
J	<b>Seuils neurophysiologiques du CM chez l'humain (5 documents)</b> Legros (2004), Legros et coll. (2005,2006a et b), Corbacio et coll. (2011)					
K	<b>Production, santé du bétail et LHT (28 documents)</b> Block (1988a et b), Cardinal (1988), Raleigh (1988), Angell et coll. (1990), Gamroth (1990), Ganskoop et coll. (1991), Oregon State University (1992, 1993), Lee et coll. (1993, 1995), Thomson et coll. (1995), Burchard (1996, 2008), Burchard et coll. (1995, 1996, 1998a, b et c, 1999, 2003, 2004, 2006), Nguyen et coll. (1991, 2005), Rodriguez (2003), Rodriguez et coll. (2002, 2003, 2004)					
L	<b>Caractérisation de l'exposition aux CÉM (15 documents)</b> Héroux (1985), Maruvada (1993), Maruvada et coll. (1987, 1991, 1993, 1995, 1996, 1998a et b, 2000), Nguyen et coll. (2004), Turgeon et coll. (1997a et b, 1998, 2004)					
M	<b>Suivi environnemental des projets (3 documents)</b> Renaud et coll. (1999), Hydro-Québec (2000a), Létourneau et coll., (2008)					

**Tableau 1 :**  
**Études thématiques portant sur les CÉM, par décennie (suite)**

Études	Années 1980										Années 1990										Années 2000									2010-12	
	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	
A		1	2	1	1			1																							
B						3		1		1																					
C						1																									
D	1																														
E						1					1	1																			
F				2		2	1	1		1	1				3	3	1	1													
G											1				2	1	2		2												
H																			1	1									1		
I														2	1	2						1									
J																					1	1	2							1	
K						3		3	2	1	1		3	2		3	1			1	3	2	1	1		1					
L				1		1			1	2		1	1	2	3		1				2										
M																1	1													1	

Les chiffres dans chaque case indique le nombre d'études parues dans l'année.

### Projets de recherche

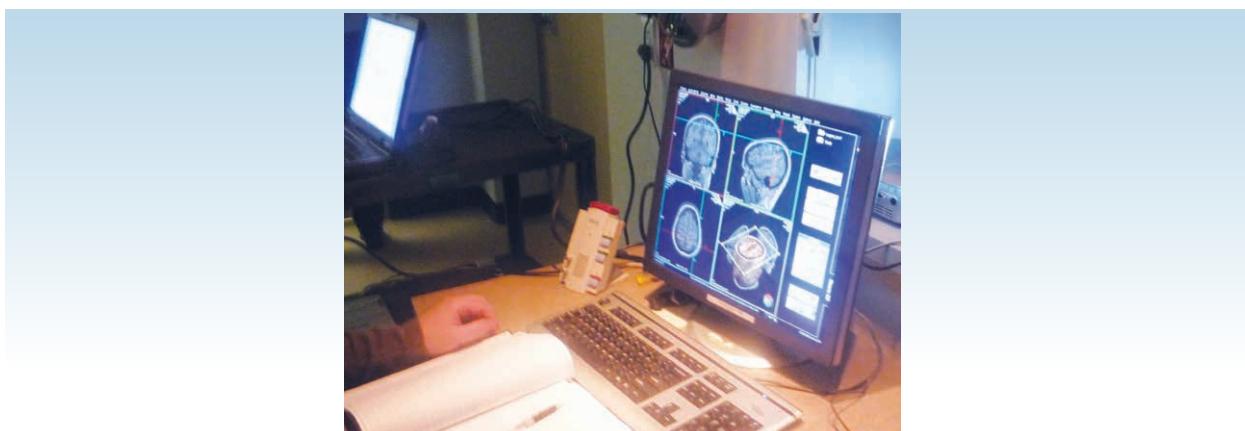
Hydro-Québec a contribué sur les plans financier et technique à la réalisation de nombreux projets de recherche (voir le tableau 2).

Tableau 2 :

Principaux projets de recherche ayant bénéficié d'une contribution d'Hydro-Québec

Thème	Projets de recherche
Effets sur la santé humaine	<ul style="list-style-type: none"><li>Études sectorielles portant sur les brûlures électriques</li><li>Étude épidémiologique conjointe EDF-HQ-OH, coordonnée par l'Université McGill, portant sur la santé des travailleurs d'Électricité de France, d'Hydro-Québec et d'Ontario Hydro exposés aux CÉM</li><li>Étude de cancérogénicité et d'immunité animale : étude du développement de tumeurs chez l'animal de laboratoire exposé aux CÉM, réalisée par Hydro-Québec, Santé Canada et Ontario Hydro à l'Institut Armand-Frappier</li><li>Étude sur les mécanismes d'interaction des champs électriques avec des tissus biologiques, réalisée au Laboratoire d'organogénèse expérimentale (LOEX), à Québec</li><li>Études des seuils neurophysiologiques des champs magnétiques chez l'humain, effectuées par l'Université de Montpellier et le Lawson Health Research Institute en collaboration avec Électricité de France et l'Institut de recherche en santé du Canada</li></ul>
Effets sur les animaux d'élevage	<ul style="list-style-type: none"><li>Étude sur la production et la santé de la vache laitière exposée aux CÉM, effectuée par l'Université McGill</li><li>Études sectorielles sur les effets des LHT sur la vache de boucherie et l'agnelle, effectuées par l'Université d'État de l'Oregon avec la participation d'Hydro-Québec et des partenaires de Bonneville Power Administration</li></ul>
Effets sur les végétaux	<ul style="list-style-type: none"><li>Étude sur les effets des LHT à courant continu sur les cultures de luzerne et de blé par l'Université d'État de l'Orégon</li></ul>
Études techniques	<ul style="list-style-type: none"><li>Logiciels pour calculer l'exposition aux CÉM : caractérisation et mesures d'exposition aux CÉM générés par les installations électriques en milieu résidentiel et industriel, en collaboration avec l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ)</li><li>Mesures des seuils de perception chez les humains des CÉ et des courants ioniques produits par les lignes à courant continu</li><li>Mesures du seuil de perception chez les humains du CÉ produit par une LHT, en collaboration avec l'Université de Montréal</li></ul>
Suivi de projets	<ul style="list-style-type: none"><li>Suivis environnementaux de l'environnement physique de LHT existantes</li></ul>

L'IREQ a participé à la plupart des projets de recherche sur les CÉM.



Imagerie médicale de l'exposition aux champs magnétiques

Ces recherches nécessitent un haut degré de collaboration nationale et internationale. Il est donc important pour Hydro-Québec de maintenir sa contribution pour soutenir son expertise à cet enjeu stratégique. Actuellement, Hydro-Québec collabore avec EDF et les Instituts de recherche en santé du Canada à une étude sur les seuils neurophysiologiques chez la population et les travailleurs exposés aux CM en courant alternatif. Réalisée par l'Université de Montpellier, en France, et le Lawson Health Research Institute, en Ontario, cette étude répond aux recommandations du Comité interministériel et vise une meilleure évaluation par imagerie médicale des interactions des CM avec le système nerveux, interactions qui sont à la base des limites d'exposition établies par la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI) et l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

#### *Projets de communication*

Pour informer la population, Hydro-Québec a ouvert en 1991 l'Électrium, un centre d'interprétation de l'électricité destiné au grand public. On y propose notamment de l'information factuelle sur les CÉM.

De plus, le site Internet d'Hydro-Québec présente des informations complètes sur les CÉM. On y trouve de nombreux renvois et références à des sites d'organisations spécialisées en santé publique. Un volet interactif permet également aux internautes d'en apprendre davantage sur les sources des CÉM et les niveaux d'exposition auxquels ils sont soumis dans la vie de tous les jours.

Par ailleurs, Hydro-Québec a publié plusieurs documents sur les CÉM, dont deux brochures d'information, l'une étant intitulée *Les effets des champs électriques et magnétiques sur la santé et la productivité du bétail* et l'autre, plus récente, *Le réseau électrique et la santé : les champs électriques et magnétiques*. L'entreprise met aussi à la disposition du public un répertoire des études et des recherches qu'elle a menées ou auxquelles elle a contribué.

Les études et les recherches d'Hydro-Québec ont donné lieu à de nombreuses communications scientifiques et ont fait l'objet d'une quarantaine d'articles dans des revues spécialisées. Aussi, Hydro-Québec a-t-elle mis en place des banques informatisées de données bibliographiques, techniques et juridiques sur les effets des CÉM pour faciliter la diffusion de l'information.



*Exposition à l'Électrium*

## Résultats

### Effets des CÉM sur les humains

Hydro-Québec a participé aux études épidémiologiques auprès des travailleurs du domaine de l'électricité ainsi qu'à plusieurs études en laboratoire traitant des effets des champs sur les cellules vivantes *in vitro*, chez l'humain et sur l'animal de laboratoire.

#### Études épidémiologiques

Les scientifiques qui tentent d'évaluer si un produit (ou un agent comme le CM) est cancérogène s'appuient sur deux types d'études : les études épidémiologiques et les études de laboratoire de longue durée sur l'animal de laboratoire. De nombreuses études épidémiologiques réalisées dans le monde, notamment aux États-Unis, au Canada et en Grande-Bretagne, se sont intéressées aux risques de cancer chez les personnes exposées aux CM. Parmi les études qui ont porté sur la leucémie, aucune n'a rapporté de risque plus élevé dans la population la plus exposée.



Travailleuse dans un pylône de LHT

L'une des plus importantes études épidémiologiques réalisées auprès des travailleurs exposés aux CÉM a été effectuée à l'Université McGill, à Montréal. Publiée en 1994 sous le titre *Étude épidémiologique conjointe Électricité de France – Hydro-Québec – Ontario Hydro. Effets à long terme de l'exposition aux champs électriques et magnétiques de 50-60 Hz* (Thériault et coll., 1994b), l'étude a porté sur un échantillon d'un peu plus de 223 000 employés et a permis l'analyse de 4 151 cas de cancer déclarés entre 1970 et 1989. On a pris des mesures exhaustives des CÉM chez 2 066 employés pendant une semaine à l'aide d'un dosimètre (Héroux, 1991) développé par l'Institut de recherche d'Hydro-Québec. De nombreux autres facteurs de risques connus de cancer ont également été examinés rigoureusement. Les résultats de l'étude n'ont apporté aucune preuve tangible de l'association entre l'exposition au champ magnétique et le cancer

en milieu professionnel, ce qui concorde avec les résultats d'autres études épidémiologiques.

Par ailleurs, ces études n'ont pas révélé d'augmentation du risque de cancer attribuable à l'exposition aux CÉM en milieu professionnel ni au fait d'habiter près des lignes à haute tension.

#### Études chez l'humain

On s'est interrogé sur l'effet de l'exposition aux CÉM à 50/60 Hz générés par les lignes électriques en rapport avec l'apparition possible de cancer. Selon cette supposition, les CÉM seraient susceptibles de perturber la sécrétion de la mélatonine, ce qui aurait des effets néfastes sur la santé. Une étude visant à évaluer la sécrétion de la mélatonine chez les personnes vivant à proximité d'une LHT de 735 kV a donc été réalisée conjointement par EDF, Hydro-Québec et le Centre hospitalier universitaire de Québec. Lancée en 1996, l'étude a été effectuée auprès de 221 femmes âgées de 20 à 74 ans résidant à moins de 200 m d'une LHT et auprès de 195 autres vivant à plus de 400 m. Aucune différence n'a été constatée entre les deux groupes de femmes (Levallois et coll., 2000 et 2001).

Les CÉM sont entre autres attribuables aux lignes à haute tension à courant alternatif à 50/60 Hz et aussi aux lignes à haute tension à courant continu. Pour être en mesure d'établir des critères environnementaux pour les largeurs d'emprise des LHT à courant continu, il convenait d'évaluer les seuils de perception humaine des CÉ générés par ces LHT. Hydro-Québec a donc parrainé des études, qui ont été réalisées à l'Université de Montréal avec la collaboration de l'IREQ, dans le but de décrire de façon normative les seuils de perception aux CÉ en présence ou en l'absence du courant ionique. Pour ce faire, on a eu recours à des méthodes psychophysiques. Les études ont fait l'objet de plusieurs rapports et publications (Blondin et coll., 1994, 1995, 1996a et b ; Nguyen et coll., 1994 ; Chapman et coll., 2005). Les principaux résultats fixent le seuil moyen de détectabilité du CÉ à 45 kV/m, mais ce seuil diminue en présence de courant ionique.

#### Études de longue durée sur l'animal de laboratoire

Étant donné que les grandes études épidémiologiques n'ont pu démontrer de lien entre l'exposition aux CM et le risque de cancer, les scientifiques ont eu recours aux études animales pour évaluer si, dans les conditions très strictes de laboratoire, les CM étaient cancérogènes. C'est ainsi qu'une étude de cancérogénicité animale, parrainée par Hydro-Québec, Ontario Hydro et Santé Canada et réalisée à l'Institut Armand-Frappier (IAF), a été publiée en 1997. Intitulée *Evaluation of the potential carcinogenicity of 60 Hz linear sinusoidal continuous-wave*

*magnetic fields in Fischer F344 rats* (Mandeville et coll., 1997, 1998), cette étude visait à vérifier si une exposition prolongée aux CM à 60 Hz joue un rôle dans l'apparition du cancer. Plus de 50 rats femelles F344/N ont été exposés pendant deux années à des CM de 2 à 2 000 µT, à la suite de quoi on a fait des examens histopathologiques de plusieurs de leurs organes. Ces études étaient supervisées par le National Institute of Environmental Health Sciences. Par la suite, une autre hypothèse a été émise : les CM n'augmenteraient pas en soi le risque de cancer, mais pourraient modifier l'action d'un autre produit cancérogène. On a donc réalisé plusieurs études sur l'animal de laboratoire à l'IAF pour tester cette hypothèse. Les animaux ont alors été soumis à un produit cancérogène connu, puis aux CM. Les résultats de ces études animales ont aussi été négatifs (Mandeville et coll., 2000).

#### *Analyse des données et résultats*

À la lumière des nombreuses études réalisées depuis près de 40 ans, il apparaît peu probable que les CÉM,

aux intensités présentes en milieu résidentiel et en milieu de travail, entraînent un quelconque problème de santé, même chez les personnes les plus exposées.

À ce jour, aucun signe ou symptôme attribuable à l'exposition aux CÉM n'a été mis en évidence. Toutes les études, y compris celles d'Hydro-Québec, ne fournissent pas d'indice laissant croire que les CÉM cause-raient le cancer. Les études *in vitro* n'ont pas révélé d'effets génétiques ni la présence de mécanismes au moyen desquels les CÉM pourraient transformer une cellule normale en une cellule cancéreuse. Les études animales de longue durée n'ont pas démontré non plus d'effets cancérogènes. Les résultats de près d'une centaine d'études épidémiologiques menées dans le monde demeurent toutefois équivoques. En effet, il existe un certain doute quant à la possibilité qu'un CM relativement faible (0,4 µT) (IARC, 2002) puisse accroître le risque de leucémie chez l'enfant, mais les données sur le sujet demeurent contradictoires.

### Opinion de quelques grandes organisations

#### Santé Canada (site Internet Votre santé et vous, 2012)

<http://www.hc-sc.gc.ca/hl-vs/iyh-vsv/environ/magnet-fra.php>

« Il y a eu de nombreuses études sur les effets de l'exposition aux champs électriques et magnétiques de fréquences extrêmement basses. »

« La recherche a démontré que les CÉM produits par les appareils et les lignes électriques peuvent causer de faibles courants électriques dans le corps humain. Cependant, ces courants sont beaucoup plus faibles que ceux produits naturellement par le cerveau, les nerfs et le cœur, et ne sont associés à aucun risque connu pour la santé. »

« En résumé, lorsque toutes les études sont évaluées ensemble, la preuve suggérant que les CÉM peuvent contribuer à un risque accru de cancer est très faible. »

« Il n'est pas nécessaire de chercher à se protéger de l'exposition quotidienne aux champs électriques et magnétiques de fréquences extrêmement basses. 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. »

#### Organisation mondiale de la santé (Nº 322, 2007)

« L'électricité fait désormais partie intégrante de la vie de tous les jours. Chaque fois que de l'électricité circule, il se crée des champs électriques et magnétiques à proximité des lignes qui la transportent et des appareils qui la reçoivent. Depuis la fin des années 1970, on s'est posé la question de savoir si l'exposition à ces Champs Électriques et Magnétiques (CEM) de fréquence extrêmement basse (ELF) avait des conséquences indésirables pour la santé. »

« L'association éventuelle d'un certain nombre d'autres effets indésirables pour la santé avec une exposition aux champs magnétiques ELF a été étudiée. »

« En outre, il n'existe aucun mécanisme biophysique accepté qui laisserait à penser que les expositions à faible intensité jouent un rôle dans le développement d'un cancer. Ainsi, s'il y avait des effets des expositions à ces champs de faible intensité, ce devrait être par le biais d'un mécanisme biologique jusqu'ici inconnu. En outre, les études chez l'animal ont été en grande partie négatives. Ainsi, 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. »

« À la suite d'un processus d'évaluation standard des risques sanitaires, le groupe... a conclu qu'il n'existe pas de problèmes de santé notables liés aux champs électriques ELF aux intensités généralement rencontrées par le grand public. »

## Effets biologiques des CÉM sur le bétail

Les premières études dans le monde ont débuté dans les années 1970. Des enquêtes, des analyses de banques de données et des études de cas extrêmes ont été réalisées sur des bovins, des porcs, des moutons et des chevaux. Les résultats de ces travaux semblaient indiquer qu'aucun désordre biologique ne pouvait être attribué à l'exposition du bétail aux CÉM produits par les LHT. Au cours des deux décennies qui ont suivi, on n'a observé aucun effet néfaste sur la santé, la productivité, la fertilité, la reproduction ni le comportement du bétail exposé aux CÉM.



### Premières études d'Hydro-Québec

Pour répondre au décret 729-84 du gouvernement du Québec et apporter sa contribution scientifique aux connaissances dans ce domaine, Hydro-Québec a inclus des études du bétail dans son programme de recherche sur les effets biologiques possibles des CÉM. Pour ce faire, elle a, d'une part, demandé au Département des sciences animales de l'Université McGill de soumettre des propositions d'études pouvant être effectuées sur la vache laitière au Québec. D'autre part, elle s'est jointe à un programme d'étude initié par l'entreprise d'électricité américaine Bonneville Power Administration (BPA), qui est rattachée au Département de l'énergie des États-Unis, pour étudier l'effet d'une ligne à courant continu sur le comportement et la santé des vaches de boucherie. Fort de son expérience avec la BPA, Hydro-Québec se joindra ultérieurement à un autre programme d'étude qui s'intéressera au cycle de reproduction de l'agnelle exposée à une LHT à courant alternatif.

### Étude sur la vache de boucherie

Ainsi, dès 1986, Hydro-Québec participe au financement d'une étude entreprise par l'Université d'État de l'Oregon sous la supervision de la BPA. Cette étude étant déjà

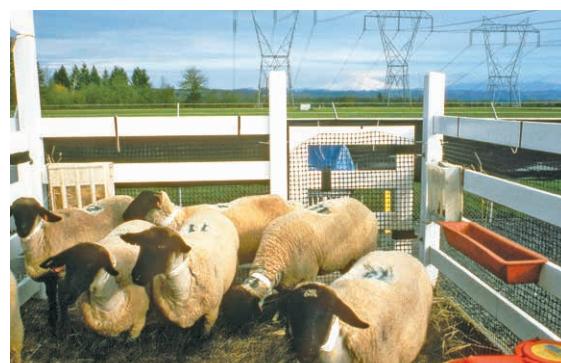
planifiée, il était plus avantageux, étant donné le coût et la difficulté d'un tel projet, de s'associer à huit autres entreprises américaines afin de partager les coûts et les connaissances et d'éviter toute duplication dans la recherche.

Menée de 1985 à 1988, cette étude d'envergure avait comme objectif de déterminer les effets d'une ligne de transport à 500 kV à courant continu sur la production et la reproduction des bovins de boucherie (Raleigh, 1988 ; Angell et coll., 1990). Des enclos accueillant des vaches de boucherie et leurs veaux ont été installés directement sous la LHT, tandis que d'autres se trouvaient à 550 m de la ligne. L'étude comparative, dont l'échantillon s'est élevé à 774 bovins de boucherie, n'a révélé aucun effet sur la santé, la fertilité, la production ou le comportement du bétail.

Par ailleurs, en 1990, les chercheurs de l'Université d'État de l'Oregon ont effectué une revue de la littérature pour comparer la physiologie des vaches de boucherie à celle des vaches laitières, et ce, en relation avec les effets des CÉM en courant continu (Gamroth, 1990). Ils ont conclu que dans des conditions similaires, la production de lait, la santé et la reproduction des vaches laitières ne seraient pas affectées par la présence de la ligne à 500 kV à courant continu.

### Étude sur l'agnelle

Des travaux amorcés en 1990 ont porté sur le cycle de reproduction de l'agneau femelle en relation avec l'exposition aux CÉM. Parrainée par la BPA, conjointement avec Hydro-Québec et quatre autres entreprises américaines, l'étude, réalisée par l'Université d'État de l'Oregon, visait à vérifier si les CÉM d'une ligne à 500 kV à courant alternatif pouvaient retarder la puberté de l'agnelle et agir sur la production de la mélatonine (Lee et coll., 1993 et 1995 ; Thomson et coll., 1995).



Des études portant sur le cycle de reproduction des agnelles ont été réalisées à l'Université d'État de l'Oregon.

Chez les moutons, la production de mélatonine est un indicateur de la saison d'accouplement. En effet, les moutons sont soumis à un rythme saisonnier de reproduction qui dépend essentiellement des variations de la durée du jour. Quand les jours raccourcissent, en été et en automne, l'activité sexuelle est maximale. Quand ils allongent, elle devient minimale. Les recherches effectuées jusqu'ici avaient révélé qu'un changement hormonal se produisait chez les animaux de laboratoire exposés à des champs simulant ceux d'une ligne de transport d'énergie. Afin de déterminer si les animaux subissaient les mêmes effets dans des conditions normales de vie, on a entrepris une étude de cohorte.

Lors de la première expérience, on a comparé un groupe de dix agnelles vivant sous la ligne de transport à un groupe de dix agnelles vivant à environ 230 m de cette ligne. On a analysé trois hormones — la mélatonine, la progestérone (qui détermine le début des périodes de chaleur) et l'hydrocortisone — pour déterminer si les animaux étaient soumis à un stress. Des données sur le comportement des animaux et sur la pousse de la laine ont été également recueillies. La période d'exposition s'est échelonnée d'avril 1990 à janvier 1991. Les résultats d'analyse, parus dans l'étude intitulée *Melatonin secretion and puberty in female lambs exposed to environmental electric and magnetic fields* (Lee et coll., 1995), n'ont révélé aucun effet lié à l'exposition aux CEM :

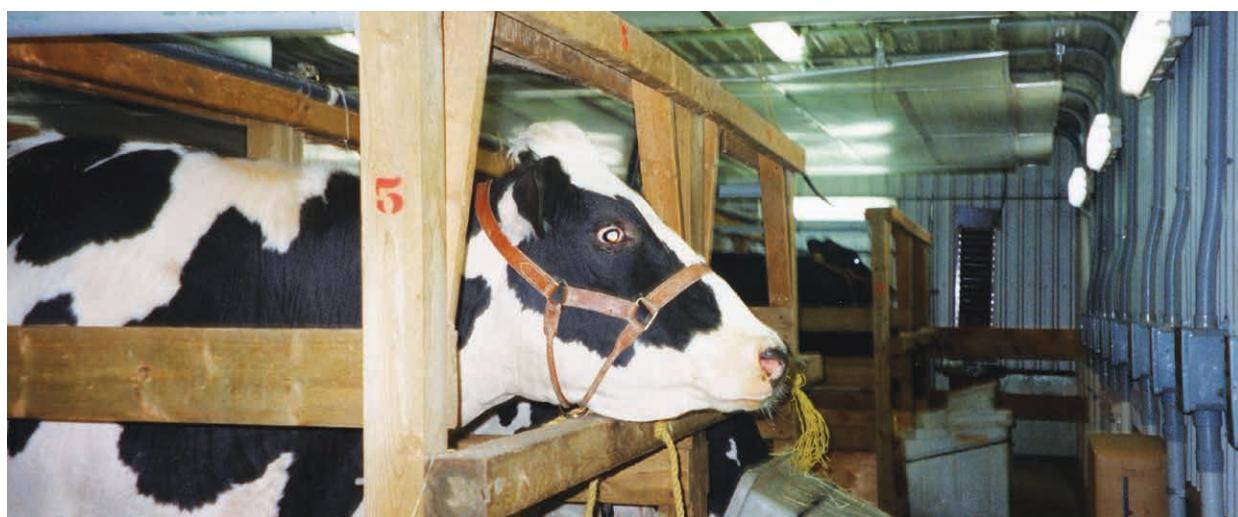
- On n'a observé aucun changement dans la production de la mélatonine chez les agnelles exposées aux CEM d'une LHT à 500 kV (CÉ : 4-8 kV/m, CM : 7 µT) à courant alternatif.
- Il n'y a eu aucun retard dans l'initiation du cycle de reproduction, donc aucun retard dans le stade de puberté des agnelles.

- La pousse de la laine et le comportement des animaux n'ont subi aucun effet dû à la présence de la ligne.

Lors de la deuxième expérience, on a augmenté l'échantillon de chaque groupe à quinze agnelles afin d'améliorer la puissance statistique des résultats. On a également modifié et agrandi les enclos de façon à augmenter l'exposition effective de chaque animal. On souhaitait ainsi pouvoir détecter une quelconque fluctuation de la mélatonine, si petite soit-elle. Les agnelles ont été exposées d'avril 1991 à février 1992. Les résultats, présentés en 1995 dans le rapport *Melatonin and puberty in female lambs exposed to EMF: A replicate study* (Lee et coll., 1995) indiquent qu'aucun effet n'a été détecté.

#### *Études québécoises sur la vache laitière*

Presque tout le réseau électrique d'Hydro-Québec étant exploité en courant alternatif et le lait étant la plus importante production agricole au Québec, Hydro-Québec a demandé au Département des sciences animales de l'Université McGill d'élaborer différents protocoles de recherche permettant d'étudier l'influence possible des champs produits par les LHT à courant alternatif sur la production laitière (Block, 1988a et b). En novembre 1989, les différentes propositions de recherche ont été présentées au Comité bovins laitiers du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec ainsi qu'au MAPAQ. Sur recommandation des experts, on a opté pour une étude en milieu contrôlé reproduisant les conditions d'exploitation agricole. Parmi les études envisagées, c'était la seule dont le dispositif expérimental pouvait mettre en évidence des relations de cause à effet et permettait d'exercer un contrôle sur tous les paramètres.



Salle d'exposition au campus Macdonald de l'Université McGill

En 1990, Hydro-Québec a amorcé l'étude dans une salle expérimentale située à l'intérieur du bâtiment principal de la ferme du campus Macdonald de l'Université McGill, à Sainte-Anne-de-Bellevue, sous la direction de chercheurs du Département des sciences animales. Le projet, réalisé de 1990 à 2005, a comporté une série d'expériences essentiellement réparties en trois phases.

Les chercheurs ont choisi d'exposer le bétail à des champs très élevés, soit un CÉ de 10 kV/m et un CM de 30 µT. Il s'agit des valeurs maximales présentes sous une ligne à 735 kV à courant alternatif dans les conditions extrêmes d'exploitation du réseau, soit en période hivernale, alors que le bétail est absent du pâturage. Après avoir exposé les vaches laitières à ces valeurs maximales, on a noté des réactions biologiques modifiant les pourcentages de gras dans le lait, de progestérone dans le plasma sanguin ainsi que d'éléments minéraux dans le liquide céphalo-rachidien et le plasma sanguin. La quantité de nourriture sèche absorbée et la longueur du cycle d'œstrus avaient également changé. Toutefois, ces réactions biologiques n'ont pas d'effet nocif sur la santé et la productivité de la vache laitière. De l'avis des chercheurs, ces changements se situent à l'intérieur des variations normales de la productivité de la vache laitière (Burchard et coll., 1996).

Afin de s'assurer que les résultats obtenus n'étaient pas attribuables à des facteurs confondants, on a repris les expériences. Hydro-Québec, l'Université McGill, le MAPAQ et le ministère de l'Agriculture et de l'Agro-alimentaire du Canada se sont unis dans cette deuxième phase de l'étude. La recherche a été subventionnée par Hydro-Québec et par le Conseil de recherches en pêche et en agroalimentaire du Québec. Les résultats ont confirmé ceux de la phase précédente.

Dans une troisième phase qui a débuté en février 2000, on a vérifié la contribution spécifique du CÉ et du CM aux effets biologiques déjà observés. Il est à noter que les niveaux de CÉM utilisés dans le cadre de l'étude québécoise étaient extrêmement élevés, puisqu'on voulait augmenter les possibilités de voir apparaître des effets. Dans les fermes du Québec, les conditions réelles d'exposition des vaches laitières aux CÉM sont toutefois différentes. En effet, les valeurs maximales relevées dans la zone de pacage directement sous les conducteurs des lignes à 735 kV étaient deux fois moins élevées pour le champ électrique (5,3 kV/m) et cinq fois moins élevées pour le champ magnétique (6,4 µT) que les niveaux utilisés au site d'essai aménagé sur le campus Macdonald (Maruvada et coll., 1996).

	PHASE 1	PHASE 2	PHASE 3
<b>Objectif</b>	Déterminer les variables associées à la productivité qui sont touchées par une exposition aux CÉM.	Analyser le mécanisme d'influence des CÉM sur les variables de la productivité touchées.	Déterminer dans quelle mesure le CÉ ou le CM peut à lui seul produire les mêmes effets que les deux champs combinés.
<b>Lieux d'essais</b>	Salle conçue par l'IREQ (Nguyen et coll., 1991 et 2005) ressemblant à une unité de ferme laitière commerciale dans laquelle on pouvait créer des CÉ ou des CM. Aux phases 1 et 2, cette salle servait de salle d'exposition ou de salle témoin (système en fonction ou non selon le moment de l'expérience). À la phase 3, elle servait uniquement de salle d'exposition.		Salle ressemblant à une unité de ferme laitière commerciale, destinée à servir de salle témoin.
<b>Méthode pour vérifier si les CÉM agissent de la même façon que la lumière relativement aux variables de productivité touchées</b>	Les bovins laitiers sont exposés de façon continue à des CÉ de 10 kV/m et à des CM de 30 µT. On reproduit ainsi le pire cas possible, soit lorsque des bovins au pâturage sont placés en permanence sous une ligne de transport à 735 kV ayant une charge maximale de courant de 2 000 ampères. L'exposition se fait en alternance, c'est-à-dire que les animaux sont exposés aux CÉM pendant une certaine période et qu'ils ne le sont pas pendant une autre période. Les vaches sont ainsi leurs propres témoins. On compare les données recueillies pour un même bovin quand elle est soumise aux CÉM et quand elle ne l'est pas. Les bovins sont exposés durant des périodes de clarté et d'obscurité de 12 h chacune.	Les bovins laitiers sont exposés de façon continue aux mêmes CÉM, mais les périodes de clarté et d'obscurité sont de 8 h et 16 h respectivement.	On expose les bovins laitiers soit à un CÉ, soit à un CM, en vue de vérifier si les effets observés dans les phases précédentes sont attribuables au CÉ ou au CM. Les animaux sont exposés à des périodes de clarté et d'obscurité de 12 h chacune.

L'analyse des données a démontré que plusieurs variables (liées aux systèmes hormonaux, à la production de lait, au système nerveux, au cycle œstral et à la nutrition) étaient touchées par l'exposition, en particulier par l'exposition simultanée à des CÉM. Les résultats de ce projet de recherche appuient également la théorie selon laquelle l'exposition aux CÉM cause des effets semblables à ceux de la lumière visible. Les effets signalés étaient mineurs et concordaient avec les variations normales observées dans les troupeaux laitiers du Québec. Par conséquent, on a conclu que l'exposition des bovins laitiers aux CÉM, telle qu'elle a été produite lors des diverses phases de l'étude, ne nuit pas à la productivité ni à la santé des bovins laitiers.

### Revues de la littérature – effets sur les animaux et les végétaux

#### *Effets sur les abeilles*

Hydro-Québec a procédé en 1994 (Pelletier et coll., 1994) à une revue des études à propos des effets biologiques des CÉM sur les abeilles. Le CÉ provenant des lignes à haute tension peut perturber sérieusement les abeilles par l'induction directe de faibles courants dans leur corps ainsi que par la production de petits chocs électriques intermittents ou continus qui se produisent lorsque l'abeille entre en contact avec des objets conducteurs tels que la ruche. Les organes sensoriels de

l'abeille, comme ses poils, peuvent également percevoir le CÉ. Ces effets biologiques ont des répercussions sur le comportement des insectes. Des expériences en laboratoire et sous des lignes à haute tension ont montré que les CÉM ainsi que les chocs électriques perçus à l'intérieur de la ruche influaient sur la physiologie, la longévité, le comportement social et la production de miel des abeilles. On peut atténuer ces effets en plaçant les ruches à une distance minimale de 50 m de la limite d'emprise de la LHT en courant alternatif ou en protégeant les ruches à l'aide de cages mises à la terre. Ces mesures ne sont pas nécessaires pour les LHT en courant continu.

#### *Effets sur les organismes végétaux*

En 1988, Hydro-Québec a participé avec BPA à une étude sur les effets des LHT sur les cultures de blé et de luzerne. On a constaté aucun effet (Raleigh, 1988). En 1991, elle a procédé à une revue de la littérature (Goulet et coll., 1991) des 30 années précédentes traitant des effets biologiques des CÉM et des ions atmosphériques sur les organismes végétaux. Les effets des CÉM sur les végétaux ont été évalués en laboratoire, en serre et sur le terrain, soit sous les LHT. Dans l'ensemble, les résultats montrent qu'à l'exception d'un assèchement et d'un brunissement de l'extrémité des feuilles et des aiguilles des arbres à proximité des conducteurs, les végétaux ne réagissent pas aux CÉM.



*Ruches sous un pylône d'angle de la ligne à 450 kV à courant continu*

### *Effets sur les organismes marins*

Dans le cadre de l'étude d'impact du projet d'alimentation des îles-de-la-Madeleine en courant continu par deux câbles sous-marins à 165 kV et deux mises à la terre, Hydro-Québec a réalisé, en 1995, une revue des études sur les effets biologiques des CÉM continus sur les organismes marins (Cardinal et Corfa, 1985). Les études révèlent que certaines espèces aquatiques s'orientent selon le champ magnétique terrestre. Les seuils de détection du champ électrique de la faune aquatique sont connus et sont également utilisés pour la pêche électrique. La perception des CÉM par les organismes marins est attribuable notamment à deux structures : l'ampoule de Lorenzini, organe sensoriel qui détecte le champ électrique, et la présence dans le système nerveux de cristaux de magnétite, minéral ferromagnétique qui réagit au champ magnétique. Comme le champ électrique peut perturber certaines espèces aquatiques, la mesure d'atténuation la plus souvent préconisée est la construction d'un mur de protection autour de l'installation électrique de sorte que le gradient du champ à proximité du mur ne dépasse pas, à son maximum, le seuil de sensibilité de ces espèces.

### **Études techniques**

Dans le cadre de tous les projets de construction et de réfection de lignes et postes, le rapport de l'étude d'impact contient un avis scientifique et technique sur l'état des connaissances et des profils des niveaux d'exposition générés par les équipements électriques. La majorité des études techniques visent à évaluer les effets des CÉM générés sous les LHT (à courant alternatif ou continu) et dans les environs. Ces études portent notamment sur l'évaluation de l'exposition aux CÉM, sur la formation d'ozone par effet couronne, sur la pollution électrochimique, sur la perception par les humains des CÉ et des courants ioniques ainsi que sur l'utilisation de méthodes en cartographie numérique pour illustrer l'exposition humaine au CM dans le voisinage des LHT.

### **Suivis de projets**

Pour répondre aux décrets gouvernementaux et respecter ses engagements, Hydro-Québec doit faire le suivi de ses projets de lignes et postes qui font l'objet d'audiences publiques. À cette fin, l'entreprise doit entreprendre des études techniques et des campagnes de mesures des CÉM pour confirmer les données obtenues par simulation numérique. Il s'avère donc essentiel de faire le suivi environnemental des LHT existantes pour vérifier les hypothèses de travail et de tenir compte des résultats des suivis dans la révision périodique des critères de conception et d'exploitation du réseau.

#### *Ligne à 450 kV à courant continu de Radisson-Nicolet-des Cantons*

Dans le cadre du suivi environnemental sur les effets électriques de la ligne à 450 kV à courant continu de Radisson-Nicolet-des Cantons, des données ont été recueillies sur la section de ligne des Cantons-Comerford ainsi qu'à une station expérimentale située sous la ligne dans la région d'Ascot. Les mesures ont porté sur les CÉM, les courants ioniques, la concentration des charges d'espace, les interférences radioélectriques, les bruits audibles et la concentration d'aérosols dans le milieu ambiant. Les résultats ont été comparés à ceux recueillis en 1982-1983 sur une ligne expérimentale exploitée par l'IREQ (Dallaire et Jutras, 1989 ; Dallaire et coll., 1985). On a observé que l'effet couronne de la LHT varie considérablement en fonction des conditions météorologiques. Les résultats ont également montré que les niveaux d'ions sont semblables en bordure de l'emprise. Sous la ligne à 450 kV, ces niveaux ressemblent à ceux qui proviennent de nombreuses sources de notre environnement quotidien.

#### *Ligne à 735 kV des Cantons-Hertel*

Le suivi environnemental sur l'exposition aux CÉM générés par la ligne à 735 kV des Cantons-Hertel a été constitué de deux études distinctes :

- l'évaluation de moyens techniques pouvant permettre une réduction de l'exposition de la population aux CÉM ;
- une étude des CÉM autour des résidences.

Dans le cadre de la première étude, on a ciblé trois moyens techniques pour réduire les CÉM : l'augmentation de la hauteur de dégagement des conducteurs par rapport au sol, l'agencement des conducteurs des différentes phases selon une configuration triangulaire et l'ajout de boucles d'induction de courant à certains endroits. Ces moyens permettent de réduire l'intensité des CÉM de 20 à 80 %, mais ils occasionnent des contraintes techniques et des impacts sur l'environnement (aspect visuel, entretien, bruit audible et interférence radio). Aucune solution n'étant optimale, chaque cas doit être évalué selon les exigences techniques de conception et d'exploitation des nouvelles lignes à 735 kV.

Dans la deuxième étude, on a effectué des mesures autour des résidences situées à moins de 100 m de l'emprise avant la mise en service de la ligne, soit à l'automne 2003, et un an après le début de l'exploitation, soit à l'automne 2004. Les CÉM mesurés ne dépassent aucunement les recommandations internationales de 1988 pour les limites d'exposition du CÉ (4,2 kV/m) et du CM (83 µT), ni la limite du CÉ en bordure d'emprise (2 kV/m) qu'Hydro-Québec a fixée pour éviter les nuisances tels les chocs électriques. Dans cette étude, le CÉ était de 0,67 kV/m, soit environ 60 fois moins élevé que les recommandations internationales, et 30 fois moins élevé que la limite fixée par Hydro-Québec. Le CM à la charge maximale sera de 0,22 µT, soit environ 400 fois moins élevé que les recommandations internationales.

### Mesures de gestion prudente

Comme les recherches n'ont pas révélé que les CÉM avaient des effets sur la santé, les seules mesures qu'il convient d'appliquer pour le moment relèvent de la gestion prudente. Aucun règlement visant à limiter l'exposition de la population aux CÉM de 60 Hz n'a été adopté en vertu de la LQE. Le gouvernement du Québec assure cependant un suivi de l'évolution des connaissances dans ce domaine. En effet, le Comité interministériel, qui relève de la Direction de la santé publique du MSSS, a pris position en 2000 sur la question des CÉM et la santé publique, mais n'a pas formulé de recommandations quant aux limites d'exposition ou aux distances minimales à respecter pour les installations électriques.

Comme l'indique Santé Canada dans son site Internet, il n'existe actuellement pas de normes canadiennes sur l'exposition du public et des travailleurs aux CÉM de 60 Hz. Depuis une dizaine d'années, ce ministère assure un suivi des connaissances sur le sujet en collaboration avec l'Organisation mondiale de la santé (OMS). À l'échelle internationale, deux organismes scientifiques influents recommandent des limites d'exposition de la population aux CÉM : la CIPRNI et l'IEEE (voir le tableau 3).

**Tableau 3 :**  
**Limites d'exposition aux CÉM**

	Limites d'exposition aux CÉ (kV/m)	Limites d'exposition aux CM (µT)
<b>Recommandations de la CIPRNI pour un CÉM de 60 Hz (en 2010)</b>		
Travailleurs	8,3	1000
Public	4,2	200
<b>Recommandations de l'IEEE pour un CÉM de 0 à 3 kHz (en 2002)</b>		
Travailleurs	20,0	2 710
Public	5,0	904

Sources : IEEE 2002

Les mesures de CÉM réalisées au Québec montrent qu'à l'extérieur des emprises de lignes à haute tension, la population est rarement exposée à des niveaux non recommandés par la CIPRNI ou l'IEEE. Cependant, les limites de CÉ peuvent parfois être dépassées à l'intérieur des emprises de certaines lignes. Cela peut se produire lorsqu'on se trouve sous les fils, à leur point le plus bas, à mi-chemin entre deux pylônes, mais ces situations sont sans conséquence sur la santé selon le Centre international de recherche sur le cancer, organisme affilié à l'OMS.

## LES ENSEIGNEMENTS

### À RETENIR

Bien qu'elles soient nombreuses et de qualité croissante, les recherches n'ont pas mis en évidence un effet sur la santé humaine tant en milieu de travail qu'en milieu résidentiel.

L'hypothèse selon laquelle il existerait un lien entre la leucémie de l'enfant et l'exposition aux CÉM n'a pu être vérifiée malgré la réalisation d'études de grande envergure. La probabilité que cette hypothèse se confirme à l'avenir semble de plus en plus faible.

Les résultats des travaux réalisés sur les animaux d'élevage semblent indiquer qu'aucun désordre biologique chez le bétail ne peut être attribuable à l'exposition aux CÉM produits par les LHT, puisqu'aucun effet néfaste sur la santé, la productivité, la fertilité, la reproduction ni le comportement du bétail exposé aux CÉM n'a été observé.

On a ciblé trois moyens techniques pour réduire l'intensité des CÉM :

- augmenter la hauteur de dégagement des conducteurs par rapport au sol ;
- agencer les conducteurs des différentes phases selon une configuration triangulaire ;
- ajouter une ligne de boucle d'induction de courant à certains endroits.

Les moyens techniques pour réduire l'intensité des CÉM peuvent occasionner des contraintes techniques et des impacts sur l'environnement (aspect visuel, entretien, bruit audible et interférences radioélectriques).

La position de l'équipe interunité du Plan d'action sur les effets biologiques des CÉM d'Hydro-Québec est la suivante : une exposition de courte durée, même à des champs de plus grande intensité que ceux produits par les LHT, ne présente pas de danger à court terme. Les recherches scientifiques sur les effets à long terme se poursuivent, mais plusieurs études d'envergure sont déjà rassurantes.

Hydro-Québec s'engage à maintenir une attitude de vigilance et de prudence dans le dossier des CÉM et de leurs effets sur la santé même s'il n'a toujours pas été établi que les CÉM avaient des effets sur la santé.

### À POURSUIVRE

Hydro-Québec devra continuer d'agir de façon éclairée et responsable :

- en assurant une vigie de la recherche et des orientations des institutions internationales en matière de réglementation ;
- en continuant, si nécessaire, de participer techniquement et financièrement aux efforts internationaux de recherche visant à préciser les impacts des CÉM ;
- en maintenant des moyens de communication appropriés (Électrium, brochures vulgarisées, Internet, etc.) même si les résultats des études menées jusqu'à présent sont rassurants.

## Vocabulaire

**Champ électrique :** Le champ électrique (CÉ) est généré par la présence de charges électriques (électrons). Lié à la tension (mesurée en volt), il se mesure en volts par mètre (V/m). Près des lignes à haute tension, le CÉ se mesure généralement en kilovolts par mètre (kV/m). Plus la tension d'alimentation d'un appareil est grande, plus le CÉ qui en résulte est intense. Le fil d'un appareil branché sur une prise de courant génère un CÉ, même si l'appareil n'est pas en marche. L'intensité du CÉ peut être considérablement réduite par la présence d'objets faisant écran : arbres, clôtures, bâtiments, etc.

**Champ magnétique :** Le champ magnétique (CM) est généré par le courant électrique (mesuré en ampères), c'est-à-dire par le mouvement des électrons. Ainsi, lorsqu'un appareil électrique est en marche, il est source de CM. Lorsque l'appareil n'est pas en marche, le CM est absent. Contrairement au CÉ, aucun écran efficace et peu coûteux ne peut agir comme blindage contre le CM. En effet, ce dernier traverse facilement la matière. L'intensité du CM s'exprime en teslas (T) et il se mesure généralement, à proximité des installations électriques de l'entreprise, en microteslas ( $\mu$ T).

**Courant ionique :** Courant électrique avec ions (au lieu d'électrons) comme charge électrique.

**Lignes à haute tension et champs électriques :** L'intensité maximale du CÉ, à un mètre du sol, est de 10 kV/m à la mi-portée sous une LHT à 735 kV et de 2 kV/m en bordure d'emprise.

**Lignes électriques et champs magnétiques :** Les CM ambients dans les habitations du Québec sont généralement de l'ordre de 1  $\mu$ T, mais peuvent varier de 0,05 à 1  $\mu$ T. En dehors du domicile, les installations électriques de l'entreprise constituent une source de CM. L'intensité moyenne mesurée directement sous une ligne de distribution aérienne est d'environ 1,4  $\mu$ T. À une dizaine de mètres de la ligne, elle est de 0,9  $\mu$ T. On observe un CM même à proximité des lignes de distribution souterraines, car celui-ci traverse la matière et n'est pas atténué par la terre, la roche ou le béton. L'intensité maximale du CM, à un mètre du sol pour 1 000 ampères, est de 12,5  $\mu$ T à la mi-portée sous une LHT à 735 kV et de 3,0  $\mu$ T en bordure d'emprise. Au-delà d'une centaine de mètres de la bordure de l'emprise, le CM se confond généralement avec celui produit par les autres sources de cet environnement.

## Bibliographie

### Études, documents et publications scientifiques d'Hydro-Québec

ANGELL, R.F., M.R. SCHOTT, R.J. RALEIGH et T.D. BRACKEN. 1990. « Effects of a high-voltage direct-current transmission line on beef cattle production ». *Bioelectromagnetics*, vol. 11, n° 4, p. 273-282.

ARMSTRONG, B.G., J.E. DEADMAN et G. THÉRIAULT. 1990. « Comparison of indices of ambient exposure to 60 Hertz electric and magnetic fields ». *Bioelectromagnetics*, vol. 11, n° 4, p. 337-348.

ARMSTRONG, B.G., G. THÉRIAULT, P. GUÉNEL, J.E. DEADMAN, M. GOLDBERG et P. HÉROUX. 1994. « Association between exposure to pulsed electromagnetic fields and cancer in electric utility workers in Québec-Canada and France ». *American Journal of Epidemiology*, vol. 140, n° 9, p. 805-820.

AUBRY, F. et G. THÉRIAULT. 1986a. *Étude de faisabilité d'une recherche épidémiologique portant sur l'exposition aux champs électriques et magnétiques de 60 cycles et l'incidence du cancer*. Préparé par l'Université McGill pour Hydro-Québec. 47 p. et ann.

AUBRY, F. et G. THÉRIAULT. 1986b. *Feasibility Study of Epidemiological Research on Exposure to 60-Cycle Electrical and Magnetic Fields and the Incidence of Cancer*. Préparé par l'Université McGill pour Hydro-Québec. 44 p.

AWAD, R., F. RENAUD, N. MAJOR et A. TURGEON. 1998. *Comparaison des lignes aériennes et souterraines pour le transport d'énergie électrique en courant alternatif en milieu agricole*. Montréal. Hydro-Québec. 11 p.

BABO, S., D. GOULET, D.-H. NGUYEN et M. PLANTE. 2000. *Impacts des nouvelles recommandations de l'ICNIRP sur les activités et les équipements d'Hydro-Québec*. Montréal. Hydro-Québec. 30 p.

BARIS, D., B.G. ARMSTRONG, J.E. DEADMAN et G. THÉRIAULT. 1996a. « A case cohort study of suicide in relation to exposure to electric and magnetic fields among electrical utility workers ». *Occupational and Environmental Medicine*, n° 53, p. 17-24.

BARIS, D., B.G. ARMSTRONG, J.E. DEADMAN et G. THÉRIAULT. 1996b. « A mortality study of electrical utility workers in Québec ». *Occupational and Environmental Medicine*, n° 53, p. 25-31.

BEAUREGARD, N. 1991. *Suivi de l'entente Hydro-Québec–Union des producteurs agricoles (UPA) – Enquêtes internes, lignes de répartition*. Préparé par Beauregard Conseil Enr. pour Hydro-Québec. 41 p. et ann.

BILLETTE, J., R. CARTIER, M.G. BOURASSA et A. ARSENAULT. 1981a. *High voltage field-induced body currents and heart function*. Préparé par l'Institut de cardiologie de Montréal pour l'Association canadienne de l'électricité et Hydro-Québec. Montréal. 94 p.

BILLETTE, J., R. CARTIER, M.G. BOURASSA et A. ARSENAULT. 1981b. *Les courants corporels induits par les lignes à haute tension et la fonction cardiaque*. Préparé par l'Institut de cardiologie de Montréal, pour l'Association canadienne de l'électricité et Hydro-Québec. Montréal. 103 p.

BLOCK, E. 1988a. *Proposed research protocols to study the effects of electrical high tension AC power lines on the health and production of dairy cows*. Préparé par le campus Macdonald de l'Université McGill pour Hydro-Québec. Montréal. 25 p.

BLOCK, E. 1988b. *Propositions de recherche pour étudier les effets des lignes haute tension à courant alternatif sur la santé des vaches laitières et sur leur production de lait*. Préparé par le campus Macdonald de l'Université McGill pour Hydro-Québec. Montréal. 36 p.

BLONDIN, J.P., D.H. NGUYEN, D. GOULET et P.S. MARUVADA. 1996a. *Perception des champs électriques et des ions caractérisant l'environnement électrique de la juxtaposition des lignes à haute tension en courant alternatif et continu*. Préparé par l'Université de Montréal et Hydro-Québec. Montréal. 139 p. et ann.

BLONDIN, J.P., D.H. NGUYEN, P.S. MARUVADA et D. GOULET. 1995. *Effets de l'humidité relative sur la perception chez les humains des champs électriques et des courants ioniques produits par les lignes à haute tension en courant continu*. Préparé par l'Université de Montréal et Hydro-Québec. Montréal. 62 p. et ann.

Blondin, J.P., D.H. Nguyen, J. Sbeghen, D. Goulet, C. Cardinal, P.S. Maruvada, M. Plante et W.H. Bailey. 1996b. « Human perception of electric fields and ion currents associated with high voltage DC transmission lines ». *Bioelectromagnetics*, vol. 17, n° 3, p. 230-241.

BLONDIN, J.P., D.H. NGUYEN, J. SBEGHEN, D. GOULET, C. CARDINAL, P.S. MARUVADA, M. PLANTE et W.H. BAILEY. 1994. *Perception chez les humains des champs électriques et des courants ioniques produits par les lignes à haute tension en courant continu*. Préparé par l'Université de Montréal et Hydro-Québec. Montréal. 150 p. et ann.

BOURDAGES, M., et D.H. NGUYEN. 1998. *In vivo and in vitro dosimetry of current densities induced by 50 Hz magnetic fields*. Préparé pour l'Association canadienne de l'électricité. Montréal. Hydro-Québec. 65 p.

BROUARD, D., et C. HARVEY. 1993. *Évaluation des effets des tensions électriques parasites en courant alternatif sur la truite arc-en-ciel d'élevage : Bioessais d'exposition subchronique*. Préparé par le Groupe Environnement Shooner inc. pour Hydro-Québec. 31 p. et ann.

BROUARD, D., C. HARVEY, D. GOULET, T. NGUYEN, R. CHAMPAGNE et P. DUBÉ. 1996. « Evaluation of potential effects of stray voltage generated by alternating current on hatchery-raised rainbow trout ». *The Progressive Fish-Culturist*, vol. 58, n° 1, p. 47-51.

BURCHARD, J.F. 2008. *Effets de l'exposition à des champs électriques et magnétiques (60 Hz) sur les bovins laitiers*. Préparé pour Hydro-Québec. 30 p. et ann.

BURCHARD, J.F. 1996. *Effects of 60 Hz electric and magnetic fields on productivity, reproductive hormones and cerebrospinal fluid in dairy cattle*. Thèse de doctorat. Université McGill. Montréal. 295 p.

BURCHARD, J.F., E. BLOCK et D.H. NGUYEN. 1995. *Biological effects at 60 Hz electric and magnetic fields (EMF) on productivity and health of dairy cattle – final report*. Préparé par l'Université McGill et Hydro-Québec. Montréal. 107 p. et ann.

BURCHARD, J.F., H. MONARDES et D.H. NGUYEN. 2003. « Effect of 10 kV/m, 30 µT, 60 Hz electric and magnetic fields on milk production and feed intake in nonpregnant dairy cattle ». *Bioelectromagnetics*, vol. 24, n° 8, p. 557-563.

BURCHARD, J.F., D.H. NGUYEN et E. BLOCK. 1999. « Macro and trace element concentrations in blood plasma and cerebrospinal fluid of dairy cows exposed to electric and magnetic fields ». *Bioelectromagnetics*, vol. 20, n° 6, p. 358-364.

BURCHARD, J.F., D.H. NGUYEN et E. BLOCK. 1998a. « Effects of electric and magnetic fields on nocturnal melatonin concentrations in dairy Cows ». *Journal of Dairy Science*, vol. 81, n° 3, p. 722-727.

BURCHARD, J.F., D.H. NGUYEN et E. BLOCK. 1998b. « Progesterone concentrations during oestrous cycle of dairy cows exposed to electric and magnetic fields ». *Bioelectromagnetics*, vol. 19, n° 7, p. 438-443.

BURCHARD, J.F., D.H. NGUYEN, H. MONARDES et D. PETITCLERC. 2004. « Lack of effect of 10 kV/m 60 Hz electric field exposure on pregnant dairy Heifer hormones ». *Bioelectromagnetics*, vol. 25, n° 4, p. 308-312.

BURCHARD, J.F., D.H. NGUYEN, L. RICHARD et E. BLOCK. 1996. « Biological effects of electric and magnetic fields on productivity of dairy cows ». *Journal of Dairy Science*, n° 79, p. 1549-1554.

BURCHARD, J.F., D.H. NGUYEN, L. RICHARD, S.N. YOUNG, M.P. HEYES et E. BLOCK. 1998c. « Effects of electromagnetic fields on the levels of biogenic amine metabolite, quinolinic acid, and b-endorphin in the cerebrospinal fluid of dairy cows ». *Neurochemical Research*, vol. 23, n° 12, p. 1527-1531.

BURCHARD, J.F., D.H. NGUYEN et M. RODRIGUEZ. 2006. « Plasma concentrations of thyroxin in dairy cows exposed to 60 Hz electric and magnetic fields ». *Bioelectromagnetics*, vol. 27, n° 7, p. 553-559.

QUÉBEC. BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 2011. *Projet d'évolution du réseau de transport du nord-est de la région métropolitaine de Montréal par Hydro-Québec TransÉnergie*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 283. 123 p.

CARDINAL, C. 1996. *Electric and magnetic field effects : Reflections on how to manage the issue. A utility's point of view*. Présentation lors d'un panel du CIGRÉ le 30 août 1996, à Paris. 7 p.

CARDINAL, C. 1992. *Effects of Electric and Magnetic Fields on Health and the Environment: Complementary Information to Impact Studies*. Montréal. Hydro-Québec. 40 p.

CARDINAL, C. 1988. *Revue des études sur le bétail*. Montréal. Hydro-Québec. Pag. multiple.

CARDINAL, C. 1984. *Les effets électriques et biologiques des lignes à haute-tension*. Montréal. Hydro-Québec. 37 p.

CARDINAL, C. 1983. *Effets électriques des lignes à courant continu. Interconnexion des Cantons-Nouvelle-Angleterre. Étude générique d'impact*. Synthèse. Montréal. Hydro-Québec. 56 p.

CARDINAL, C., Y. CLICHE, J. FONTAINE, D. GOULET, P.S. MARUVADA, J. PAQUETTE, M. PLANTE, P. HILAIRE, G. RAYMOND et S. ROBIN. 1996a. *Gestion des champs électriques et magnétiques : Rapport d'entreprise*. Montréal. Hydro-Québec. 4 volumes.

CARDINAL, C., Y. CLICHE, J. FONTAINE, D. GOULET, P.S. MARUVADA, J. PAQUETTE, M. PLANTE, P. HILAIRE, G. RAYMOND et S. ROBIN. 1996b. *Management of Electric and Magnetic Fields: Corporate Report*. Montréal. Hydro-Québec. 2 volumes.

CARDINAL, C., et G. CORFA. 1985. *Les effets biologiques des champs magnétiques et électriques continus sur les organismes marins*. Montréal. Hydro-Québec. 65 p.

CARDINAL, C., et P.S. MARUVADA. 1991. *Overview and update of current EMF issues and research activities*. Présentation à l'Association canadienne de l'électricité le 13 mai 1991, à Toronto. Montréal. Hydro-Québec. 31 p.

CARDINAL, C., et M. PLANTE. 1988a. *Effets biologiques des champs électriques et magnétiques. Gestion des problèmes d'environnement dans l'industrie de la production d'électricité*. Conférence donnée dans le cadre des travaux du Comité de coordination en matière d'environnement lors des Réunions de la division Génie et Exploitation de l'Association canadienne de l'électricité, mars 1988. Montréal. Hydro-Québec. 13 p.

CARDINAL, C., et M. PLANTE. 1988b. *Biological effects of electric and magnetic fields. Managing environmental issues in the electrical utility industry*. Conférence donnée dans le cadre des travaux du Comité de coordination en matière d'environnement lors des Réunions de la division Génie et Exploitation de l'Association canadienne de l'électricité, mars 1988. Montréal. Hydro-Québec. 15 p.

CARDINAL, C., et M. PLANTE. 1987. *Résumé des études techniques relatives à une étude épidémiologique portant sur les effets à long terme des champs électriques et magnétiques sur la santé, 1983-1987*. Montréal. Hydro-Québec. 15 p.

CARDINAL, C., M. PLANTE, P.S. MARUVADA, D. GOULET et F. RENAUD. 1992. *Effets des champs électriques et magnétiques sur la santé et l'environnement : Renseignements complémentaires aux études d'impact – Rapport final*. Montréal. Hydro-Québec. 45 p.

CARPENTIER, J.M. Sans date. (Lettre de transmission datée de 1993) *Grands enseignements du suivi environnemental de la ligne à courant continu à 450 kV Radisson-Nicolet-des Cantons*. Préparé pour Hydro-Québec. Montréal. Hydro-Québec. 31 p.

CHAPMAN, C.E., J.P. BLONDIN, A.M. LAPIERRE, D.H. NGUYEN, R. FORGET, M. PLANTE et D. GOULET. 2005. « Perception of local DC and AC electric fields in humans ». *Bioelectromagnetics*, vol. 26, n° 5, p. 357-366.

CORBACIO, M., S. BROWN, S. DUBOIS, D. GOULET, F. PRATO, A.W. THOMAS et A. LEGROS. 2011. « Human Cognitive Performance in a 3 mT Power-Line Frequency Magnetic Field ». *Bioelectromagnetics*, vol. 27, n° 8, p. 620-633.

CYR, B., A. DUTIL, D. GOULET, P.S. MARUVADA, M. PLANTE, J. ROBICHAUD et S. ROBIN. 1995. *Champs électrique et magnétique : Pratiques de conception et d'exploitation des installations électriques à courant alternatif*. Montréal. Hydro-Québec. 11 p. et ann.

DALLAIRE, R.D., et P. JUTRAS. 1989. *Suivi environnemental de la ligne c.c. des Cantons-Comerford à ± 450 kV (Ascot)*. Montréal. Hydro-Québec. 69 p.

DALLAIRE, R.D., et P.S. MARUVADA. 1987. « Corona performance of a ± 450 kV bipolar DC transmission line configuration ». *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 2, n° 2, p. 477-485.

DALLAIRE, R.D., P.S. MARUVADA et J. GEOFFRION. 1985. *Étude de l'effet sur l'environnement d'une ligne à courant continu de ± 450 kV : Mesures à long terme*. Montréal. Hydro-Québec. 182 p. et ann.

DALLAIRE, R.D., P.S. MARUVADA et N. RIVEST. 1983. *HVDC monopolar and bipolar cage studies and the corona performance of conductor bundles*. Communication d'Hydro-Québec présentée à la conférence d'été de l'IEEE/PES. 7 p.

DE MONTIGNY, C. 1987. *Effets de l'exposition à des ions atmosphériques sur la sensibilité des neurones pyramidaux à la sérotonine, à la norépinéphrine et à l'acétylcholine : une étude microiontophorétique chez le rat*. Préparé par le Centre de recherche en sciences neurologiques de l'Université de Montréal pour Hydro-Québec. 18 p. et ann.

DE VIZIO, M., et P.S. MARUVADA. 1976. *Analyse des mesures de champ électrostatique à trois pieds et à six pieds du sol dans les postes et sous les lignes de transport haute tension*. Montréal. Hydro-Québec. Pag. multiple.

DEADMAN, J.E., B.G. ARMSTRONG et G. THÉRIAULT. 1996. « Exposure to 60 Hz magnetic and electric fields at a Canadian electric utility ». *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, n° 22, p. 415-424.

DEADMAN, J.E., M. CAMUS, B.G. ARMSTRONG, P. HÉROUX, D. CYR, M. PLANTE et G. THÉRIAULT. 1988. « Occupational and residential 60 Hz electromagnetic fields and high frequency electric transients: Exposure assessment using a new dosimeter. » *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 49, n° 8, p. 409-419.

DEADMAN, J.E., G. CHURCH, C. BRADLEY, B.G. ARMSTRONG et G. THÉRIAULT. 1997. « Task-based estimation of past exposures to 60-hertz magnetic and electric fields at an electrical utility ». *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, vol. 23, n° 5, p. 440-449.

DEADMAN, J.E., G. CHURCH, C. BRADLEY, B.G. ARMSTRONG et G. THÉRIAULT. 1995. « Retrospective estimation of exposures to confirmed or suspected carcinogens in electrical utility ». *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 10, n° 10, p. 856-871.

DEADMAN, J.E., et M. PLANTE. 2002. « Expositions aux champs magnétiques résidentiels au Québec ». *Bulletin d'information en santé environnementale (BISE)*, vol. 13, n° 4, p. 1-5.

DOWDALL, M., et C. DE MONTIGNY. 1985. « Effect of atmospheric ions on the hippocampal pyramidal neuron responsiveness to serotonin ». *Brain Research*, n° 342, p. 103-109.

DUBÉ, J., O. ROCHETTE-DROUIN, P. LÉVESQUE, R. GAUVIN, C.J. ROBERGE, F.A. AUGER, D. GOULET, M. BOURDAGES, M. PLANTE, V.J. MOULIN, et L. GERMAIN. 2012. « Human keratinocytes respond to direct current stimulation by increasing intracellular calcium : preferential response of poorly differentiated cells ». *J. Cell. Physiol.*, n° 227, p. 1660-2667

DUBEAU, D., C. CARDINAL, N. CHARTRAND et W.R. SHEA. 1992. *Électricité et santé : Le processus de décision en cas d'incertitude. Question d'éthique et de droit (Electricity and health: Decision-making in conditions of uncertainty. Questions of ethics and law)*. Présentation au 15<sup>e</sup> congrès mondial de l'énergie, tenu du 20 au 25 septembre 1992 à Madrid par le Conseil mondial de l'énergie, dans le cadre de la session technique 1.4.08 de la division 1 : Énergie et Environnement. 25 p.

ÉLIE, G., et F. RENAUD. 1996. *Bilan des dix années d'existence de l'Entente Hydro-Québec/Union des producteurs agricoles : (1986-1996)*. Montréal. Hydro-Québec. 37 p. et ann.

ÉLIE, G., F. RENAUD et N. TANGUAY. 1995. *Les effets potentiels de la juxtaposition et de la multiplication des lignes de transport et de répartition sur l'aménagement du territoire. Guide d'analyse*. Montréal. Hydro-Québec. 48 p. et ann.

ENVIRONMENTAL RESEARCH INFORMATION, INC.. 1990. *Étude et évaluation des recherches sur les effets biologiques des lignes de transport d'énergie à courant continu (Review and Assessment of Biological Research Relating to High Voltage DC Power Transmission)*. Préparé par W. Bailey en collaboration avec Hydro-Québec. 52 p.

GAGNON, J. 1996. *Exposition prolongée à différentes intensités de champs magnétiques de 60 Hz : Effets sur le système immunitaire du rat F344/N*. Mémoire de maîtrise. Institut Armand-Frappier. Université du Québec. Laval. 112 p.

GAMROTH, M.J. 1990. *A review of high voltage, direct current transmission line effects on dairy cattle health and performance*. Préparé par l' Oregon State University pour Hydro-Québec et autres compagnies d'électricité américaines. Portland (Oregon). 8 p.

GANSKOPP, D., R.J. RALEIGH, M.R. SCHOTT et T.D. BRACKEN. 1991. « Behavior of cattle in pens exposed to  $\pm 500$  kV DC transmission lines ». *Applied Animal Behaviour Science*, n° 30, p. 1-16.

GEOFFRION, J. 1985. *Mesure de l'exposition ionique des rats*. Montréal. Hydro-Québec. 10 p.

GHOSTINE, R. 1998. *Effets des champs magnétiques de 60 Hz sur la résistance de l'hôte à l'infection et au développement des cancers*. Mémoire de maîtrise. Université de Montréal. 81 p.

GIRARD, A. 1984. *La concertation d'Hydro-Québec avec l'UPA sur les pratiques d'Hydro-Québec en milieu agricole. Faits saillants au 31 août 1984*. Montréal. Hydro-Québec. 12 p.

GOULET, D. 2000. « L'exposition aux champs électriques et magnétiques (CÉM) et la santé urbaine ». *Urbanité*, vol. 4, n° 3-4, p. 17-18.

GOULET, D., et coll. 2011. « Multi-modalities investigation of 60 Hz magnetic field effects on the human central nervous system ». *Electra*, n° 256. Paris, CIGRÉ. p. 4-18.

GOULET, D., et coll. 2007. *Characterisation of ELF magnetic fields*. Groupe de travail C4.205. Paris, CIGRÉ. 46 p.

GOULET, D., F. RENAUD et G. GALIANO-LAVALLÉE. 1991. *Revue des études sur les effets biologiques des champs électriques et magnétiques ainsi que des ions atmosphériques sur les organismes végétaux*. Montréal. Hydro-Québec. 88 p.

HÉROUX, P. 1993. *Studies on the pathophysiology of electrical burns and the assessment of tissue vitality and viability by means of electrical impedance*. Préparé par le département de santé au travail de l'Université McGill pour l'Association canadienne de l'électricité et Hydro-Québec. 164 p.

HÉROUX, P. 1991. « A dosimeter for assessment of exposures to ELF fields ». *Bioelectromagnetics*, vol. 12, n° 4, p. 241-257.

HÉROUX, P. 1987. « 60 Hz electric and magnetic fields generated by a distribution network ». *Bioelectromagnetics*, vol. 8, n° 2, p. 135-148.

HÉROUX, P. 1985. *Mesure des champs électriques et magnétiques de 60 Hz dans le réseau de distribution*. Préparé pour Hydro-Québec. 17 p.

HÉROUX, P. et M. BOURDAGES. 1994. « Monitoring living tissues by electrical impedance spectroscopy ». *Annals of Biomedical Engineering*, n° 22, p. 328-337.

HYDRO-QUÉBEC. 2011. *Les champs électriques et magnétiques – Le réseau électrique et la santé. 6<sup>e</sup> édition*. Montréal. 20 p.

HYDRO-QUÉBEC. 2005a. *Les champs électriques et magnétiques et la santé. 5<sup>e</sup> édition*. Montréal. 28 p.

HYDRO-QUÉBEC. 2005b. *Les tensions parasites à la ferme – guide pratique*. Préparé par la direction principale Communications pour la direction Efficacité énergétique et services. Montréal. 32 p.

HYDRO-QUÉBEC. 2001. *Certification biologique des producteurs agricoles*. Document accompagné d'une note interne de F. Arnaud (Hydro-Québec TransÉnergie) à R. Jasmin (Installations – Transport – Mirabel). Montréal. 9 p.

HYDRO-QUÉBEC. 2000a. *Enseignements du suivi environnemental – Ligne à 735 kV des Cantons-Lévis et poste des Appalaches à 735-230 kV*. Montréal. Hydro-Québec. 36 p.

HYDRO-QUÉBEC. 2000b. *Les champs électriques et magnétiques et la santé*. Montréal. Hydro-Québec. 28 p.

HYDRO-QUÉBEC. 1999. *Les effets des champs électriques et magnétiques sur la santé et la productivité du bétail*. Préparé par la vice-présidence Affaires corporatives et secrétariat général pour Hydro-Québec TransÉnergie. Montréal. Hydro-Québec. 16 p.

HYDRO-QUÉBEC. 1998. *Le transport d'électricité à haute tension en milieu agricole. Les lignes souterraines sont-elles faisables ?* Montréal. Hydro-Québec. 12 p.

HYDRO-QUÉBEC et UNIVERSITÉ MCGILL. 1992. *Étude de la vache laitière*. Préparé par la vice-présidence Communications et Relations publiques pour la vice-présidence Environnement d'Hydro-Québec. Montréal. Hydro-Québec. 17 p.

HYDRO-QUÉBEC. 1987. *Mandat sur les effets environnementaux cumulatifs du programme d'équipement*. Montréal. Hydro-Québec. 42 p.

HYDRO-QUÉBEC. 1985. *Bilan de dix années d'études à la direction Environnement d'Hydro-Québec*. Montréal. 294 p.

HYDRO-QUÉBEC. 1978. *Formation d'ozone par effet de couronne des lignes de transport à haute tension*. Montréal. 20 p.

HYLTÉN-CAVALLIUS, N., P.S. MARUVADA, N.G. TRINH, N. CÔTÉ et L. KELLEY-REGNIER. 1975a. *Étude de certains effets écologiques des lignes de transport à haute tension*. Montréal. Hydro-Québec. 43 p. et ann.

HYLTÉN-CAVALLIUS, N., P.S. MARUVADA, N.G. TRINH, N. CÔTÉ et L. KELLEY-REGNIER. 1975b. *Certain ecological effects of high-voltage power lines*. Montréal. Hydro-Québec. 32 p. et ann.

KHEIFETS, L.I., E.S. GILBERT, S.S. SUSSMAN, P. GUÉNEL, J.D. SAHL, D.A. SAVITZ et G. THÉRIAULT. 1999. « Comparative analysis of the studies of magnetic fields and cancer in electric utility workers: studies from France, Canada and the United States ». *Occupational and Environmental Medicine*, n° 56, p. 567-574.

LEE, J.M., F. STORMSHAK, J.M. THOMPSON, D.L. HESS et D.L. FOSTER. 1995. « Melatonin and puberty in female lambs exposed to EMF: A replicate study ». *Bioelectromagnetics*, vol. 16, n° 2, p. 119-123.

LEE, J.M., F. STORMSHAK, J.M. THOMPSON et P. THINESSEN. 1993. « Melatonin secretion and puberty in female lambs exposed to environmental electric and magnetic fields ». *Biology of Reproduction*, n° 49, p. 857-864.

LEGROS, A. 2004. *Effets d'un champ magnétique d'extrêmement basse fréquence sur les micro-mouvements segmentaires humains*. Thèse de doctorat. Université de Montpellier. Montpellier (France). 253 p.

LEGROS, A., et A. BEUTER. 2006. « Individual subject sensitivity to extremely low frequency magnetic field ». *NeuroToxicology*, n° 27, p. 534-546.

LEGROS, A., et A. BEUTER. 2005. « Effect of a low intensity magnetic field on human motor behaviour ». *Bioelectromagnetics*, vol. 26, n° 8, p. 657-669.

LEGROS, A., P. GAILLOT et A. BEUTER. 2006. « Transient effect of low-intensity magnetic field on human motor control ». *Medical Engineering & Physics*, n° 28, p. 827-836.

LEGROS, A.J. MILLER, J. MODOLO, M. CORBACIO, J. ROBERTSON, D. GOULET, J. LAMBROZO, M. PLANTE, M. SOUQUES, F.S. PRATO et A.W. THOMAS. 2011. « Multi-modalities investigation of 60 Hz magnetic field effects on the human central nervous system ». *Electra*, n° 256, Paris, CIGRÉ, p. 4-18.

LESAGE, L., et F. RENAUD. 2007. *Distances électriques pour les lignes aériennes de transport vs machinerie agricole*. Montréal. Hydro-Québec. 2 p. et ann.

LÉTOURNEAU, H., et coll. 2008. *Ligne à 735 kV des Cantons-Hertel et poste de la Montérégie à 735-120 kV. Boucle montérégienne. Enseignements du suivi environnemental*. Montréal. Hydro-Québec. 41 p.

LEVALLOIS, P., M. DUMONT, Y. TOUITOU, D. GAUVIN, S. GINGRAS, E. KRÖGER, P. DOUVILLE, M. BOURDAGES, A. TURGEON et B. MÂSSE. 2000. *Évaluation de l'excrétion urinaire de sulfatoxy mélatonine chez une population résidant à proximité d'une ligne à 735 kV*. Préparé par l'Unité de recherche en santé publique, Beauport, CHUQ, en collaboration avec Hydro-Québec. 100 p.

LEVALLOIS, P., M. DUMONT, Y. TOUITOU, S. GINGRAS, B. MÂSSE, D. GAUVIN, E. KRÖGER, M. BOURDAGES et P. DOUVILLE. 2001. « Effects of electric and magnetic fields from high-power lines on female urinary excretion of 6-sulfatoxymelatonin ». *American Journal of Epidemiology*, vol. 154, n° 7, p. 601-609.

MANDEVILLE, R. 1998. *Evaluation of the potential carcinogenicity of 60 Hz linear, sinusoidal, continuous-wave magnetic fields in F344/rats*. Préparé par l'Institut Armand-Frappier, pour Hydro-Québec, Santé Canada et Ontario Hydro. Laval. 40 p. et ann.

MANDEVILLE, R., E. FRANCO, S. SIDRAC-GHALI, L. PARIS-NADON, N. ROCHELEAU, G. MERCIER, M. DÉSY, C. DEVAUX et L. GABOURY. 2000. « Evaluation of the potential promoting effect of 60 Hz magnetic fields on N-ethyl-N-nitrosurea induced neurogenic tumors in female F344 rats ». *Bioelectromagnetics*, vol. 21, n° 2. p. 84-93.

MANDEVILLE, R., E. FRANCO, S. SIDRAC-GHALI, L. PARIS-NADON, N. ROCHELEAU, G. MERCIER, M. DÉSY, C. DEVAUX et L. GABOURY. 1997. « Evaluation of the potential carcinogenicity of 60 Hz linear sinusoidal continuous-wave magnetic fields in Fischer F344 rats ». *The FASEB Journal*, n° 11, p. 1127-1136.

MARUVADA, P.S. 1993. « Characterization of power frequency magnetic fields in different environments ». *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 8, n° 2, p. 598-606.

MARUVADA, P.S. 1991. « Les effets biologiques des champs électriques et magnétiques ». *Revue de l'Énergie*, vol. 42, n° 428, p. 158-163.

MARUVADA, P.S. 1982. « Corona-generated space charge environment in the vicinity of HVDC transmission lines ». *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, vol. 17, n° 2, p. 125-130.

MARUVADA, P.S., C. CARDINAL et M. PLANTE. 1983. *Rapport du Comité de travail sur les effets biologiques des équipements électriques d'Hydro-Québec*. Montréal. Hydro-Québec. 29 p. et ann.

MARUVADA, P.S., R.D. DALLAIRE et J. GEOFFRION. 1985. *Étude de l'effet sur l'environnement d'une ligne à courant continu de 450 kV. Rapport final : Mesures à long terme*. Montréal. Hydro-Québec. 182 p.

MARUVADA, P.S., R.D. DALLAIRE, P. HÉROUX et N. RIVEST. 1984. « Long-term statistical study of the corona electric field and ion-current performance of a ± 900 kV bipolar HVDC transmission line configuration ». *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 103, n° 1, 7 p.

MARUVADA, P.S., R.D. DALLAIRE, N.G. TRINH et N. RIVEST. 1981. « Corona studies for bipolar HVDC transmission at voltages between ± 600 kV and ± 1200 kV. Part 1: Long term bipolar line studies. Part 2: Special bipolar line, bipolar cage and bus studies ». *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 100, n° 3, p. 1453-1471.

MARUVADA, P.S., et S. DROGI. 1988. « Field and ion interactions of hybrid AC/DC transmission lines. » *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 3, n° 3, p. 1165-1172.

MARUVADA, P.S., S.M. HARVEY, P. JUTRAS, D. GOULET et R. MANDEVILLE. 2000. « A magnetic field exposure facility for evaluation of animal carcinogenicity ». *Bioelectromagnetics*, vol. 21, n° 6, p. 432-438.

MARUVADA, P.S., N. HYLTEN-CAVALLIUS, N.G. TRINH et M. DE VIZIO. 1976. *Effets du champ électrostatique dans le voisinage de lignes de transport d'énergie et dans les postes HT (Electrostatic Field Effects from High-Voltage Power Lines and in Substations)*. CIGRÉ. Session de 1976. Papier n° 36-04. 12 p.

MARUVADA, P.S., et P. JUTRAS. 1996. *Caractérisation de l'exposition aux champs électriques et magnétiques des vaches et du personnel dans les fermes laitières typiques*. Montréal. Hydro-Québec. 26 p. et ann.

MARUVADA, P.S., et P. JUTRAS. 1993. *Étude des sites susceptibles d'entraîner des expositions élevées des travailleurs d'Hydro-Québec aux champs électrique et magnétique*. Montréal. Hydro-Québec, 34 p.

MARUVADA, P.S., et P. JUTRAS. 1991. *Caractérisation des champs électrique et magnétique dans différents milieux*. Montréal. Hydro-Québec. 76 p.

MARUVADA, P.S., P. JUTRAS et M. PLANTE. 2000. « An investigation to identify possible sources of electromagnetic field transients responsible for exposures reported in recent epidemiological studies ». *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 15, n° 1, p. 266-271.

MARUVADA, P.S., P. JUTRAS et A. TURGEON. 1996. *Caractérisation de l'exposition aux champs électriques et magnétiques des vaches et du personnel dans les fermes laitières typiques*. Montréal. Hydro-Québec. 26 p. et ann.

MARUVADA, P.S., R. MALEWSKI, R.D. DALLAIRE et P.S. WONG. 1987. *Environnement électromagnétique d'un poste de conversion CCHT*. Préparé pour l'Association canadienne de l'électricité. Montréal. Hydro-Québec. 100 p.

MARUVADA, P.S., N.G. TRINH, R.D. DALLAIRE et N. RIVEST. 1977. « Corona performance of a conductor bundle for bipolar HVDC transmission at  $\pm 750$  kV ». *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 96, n° 6, p. 1872-1881.

MARUVADA, P.S., N.G. TRINH, R.D. DALLAIRE, N. RIVEST et P. HÉROUX. 1982. *Bipolar HVDC transmission system study between  $\pm 600$  kV and  $\pm 1200$  kV: Corona studies (EPRI), Phase 1 (Sept. 1979), Phase 2 (Dec. 1982)*. Préparé par l'IREQ pour l'Electric Power Research Institute. Montréal. Hydro-Québec. Pag. multiple.

MARUVADA, P.S., A. TURGEON et D. GOULET. 1995. « Study of population exposure to magnetic fields due to secondary utilization of transmission line corridors ». *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 10, n° 3, p. 1541-1548.

MARUVADA, P.S., A. TURGEON, D. GOULET et C. CARDINAL. 1998a. « A statistical model to evaluate the influence of proximity to transmission lines on residential magnetic fields ». *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 13, n° 4, p. 1322-1327.

MARUVADA, P.S., A. TURGEON, D. GOULET et C. CARDINAL. 1998b. « An experimental study of residential magnetic fields in the vicinity of transmission lines ». *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 13, n° 4, p. 1328-1334.

MARUVADA, P.S., A. TURGEON et P. JUTRAS. 1996. *Exposition résidentielle aux champs magnétiques produits par les lignes de transport et de répartition*. Montréal. Hydro-Québec. 57 p. et ann.

MARUVADA, P.S., A. TURGEON et P. JUTRAS. 1993. *Étude de l'exposition aux champs magnétiques de la population lors de l'utilisation polyvalente des emprises*. Montréal. Hydro-Québec. 34 p.

MÉTHOT, S. 2002. *Effets d'une exposition électrique sur les paramètres de la guérison des plaies cutanées : Analyse à l'aide de modèles humains in vitro*. Thèse de doctorat. Université Laval. Québec. 256 p.

MÉTHOT, S., V. MOULIN, D. RANCOURT, M. BOURDAGES, D. GOULET, M. PLANTE, F.A. AUGER et L. GERMAIN. 2001. « Morphological changes of human skin cells exposed to a DC electric field in vitro using a new exposure system ». *Canadian Journal of Chemical Engineering*, n° 79, p. 668-677.

NGUYEN, D.H., et P.S. MARUVADA. 1994. « An exposure chamber for studies on human perception of DC electric fields and ions ». *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 9, n° 4, p. 2037-2045.

NGUYEN, D.H., et J. PAINCHAUD. 2004. *Impact du poste Hériot sur la production des Serres Hydro Tourville à Saint-Nicéphore*. Préparé pour Hydro-Québec. Montréal. Hydro-Québec. 34 p. et ann.

NGUYEN, D-H., L. RICHARD et J.F. BURCHARD. 2005. « Exposure chamber for determining the biological effects of electric and magnetic fields on dairy cows ». *Bioelectromagnetic*, vol. 26, n° 2, p. 138-144.

NGUYEN, D.H., L. RICHARD et G. TURMEL. 1991. *Salle d'exposition aux champs électriques et magnétiques en courant alternatif pour le bétail : description et spécifications*. Préparé par l'Institut de recherche d'Hydro-Québec pour Hydro-Québec. Montréal. 65 p. et ann.

OREGON STATE UNIVERSITY. 1993. *Joint HVAC transmission EMF environmental study: final report on experiment 2*. Bonneville Power Administration (BPA). Portland (Oregon), BPA. Préparé pour Hydro-Québec et autres compagnies d'électricité américaines. 61 p.

OREGON STATE UNIVERSITY. 1992. *Joint HVAC transmission EMF environmental study: final report on experiment 1*. Bonneville Power Administration (BPA). Portland (Oregon), BPA. Préparé pour Hydro-Québec et autres compagnies d'électricité américaines. 169 p.

PELLETIER, C., I. CLOUTIER, D. GOULET et F. RENAUD. 1994. *Revue des études sur les effets biologiques des champs électriques et magnétiques sur les abeilles*. Préparé par le Groupe S.M. inc. (Aménatech inc.) pour Hydro-Québec. 37 p. et ann.

QUÉVILLON, J.G., et Y. BERNIER. 1987. *Programme de suivi des impacts sur le milieu agricole, tronçon Nicolet-des Cantons (Phases III) – Rapport synthèse*. Préparé par Hamel, Beaulieu et associés pour Hydro-Québec. 94 p. et ann.

RALEIGH, R.J. 1988. *Joint HVDC agricultural study: final report*. Oregon State University et Bonneville Power Administration (BPA). Portland (Oregon), BPA. Préparé pour Hydro-Québec et autres compagnies d'électricité américaines. 2 volumes.

RENAUD, F. 1987. *Recherche des projets de ligne présentant les caractéristiques agricoles les plus compatibles à une étude des effets des lignes à haute tension sur la vache laitière du Québec*. Montréal. Hydro-Québec. 17 p. et ann.

RENAUD, F., A. GIRARD et Y. LEFEBVRE. 1999. *Suivi environnemental du milieu agricole de la ligne des Cantons-Lévis-des Appalaches : les effets des tensions parasites sur la production porcine*. Montréal. Hydro-Québec. 13 p.

RENAUD, F., D. GOULET et R. BOUSQUET. 1999. *Les effets des champs électriques et magnétiques sur la santé et la productivité du bétail (Effects of Electric and Magnetic Fields on Livestock Health and Productivity)*. Montréal. Hydro-Québec. 16 p.

RENAUD, F., L. LESAGE, D.H. NGUYEN et C. SAVOIE. 2001. *Lignes à haute tension et récepteurs DGPS en agriculture (suivi environnemental)*. Montréal. Hydro-Québec. 30 p. et ann.

RICHARD, C., et D. ROBERGE. 1985. *Perception des dangers pour la santé associés aux équipements électriques*. Préparé par Entre Les Lignes Inc. pour Hydro-Québec. 162 p.

ROBERGE, P. 1976a. *Étude de l'état de santé des électriens préposés à l'entretien des postes à 735 kV d'Hydro-Québec*. Montréal. Hydro-Québec. 29 p.

ROBERGE, P. 1976b. *Study on the State of Health of Electrical Maintenance Workers on Hydro-Québec's 735 kV Power Transmission System: Final report*. Montréal. Hydro-Québec. 29 p.

RODRIGUEZ, M. 2003. *Physiological responses to 60 Hz electric and magnetic fields in dairy cows under short term photoperiod conditions*. Thèse de doctorat. Université McGill. Montréal. 223 p.

RODRIGUEZ, M., D. PETITCLERC, J.F. BURCHARD, D.H. NGUYEN et E. BLOCK. 2004. « Blood melatonin and prolactin concentrations in dairy cows exposed to 60 Hz electric and magnetic fields during 8 h photoperiods ». *Bioelectromagnetics*, vol. 25, n° 7, p. 508-515.

RODRIGUEZ, M., D. PETITCLERC, J.F. BURCHARD, D.H. NGUYEN, E. BLOCK et B.R. DOWNEY. 2003. « Responses of the estrous cycle in dairy cows exposed to electric and magnetic fields (60 Hz) during 8-h photoperiods ». *Animal Reproduction Science*, vol. 77, n° 1-2, p. 11-20.

RODRIGUEZ, M., D. PETITCLERC, D.H. NGUYEN, E. BLOCK et J.F. BURCHARD. 2002. « Effect of Electric and Magnetic Fields (60 Hz) on production, and Levels of Growth Hormone and Insulin-Like Growth Factor 1, in Lactating, Pregnant Cows Subjected to Short Days ». *Journal of Dairy Science*, n° 85, p. 2843-2849.

SAVITZ, D.A., V. DUFORT, B.G. ARMSTRONG et G. THÉRIAULT. 1997. « Lung cancer in relation to employment in the electrical utility industry and exposure to magnetic fields ». *Occupational and Environmental Medicine*, n° 54, p. 396-402.

THÉRIAULT, G. 1984a. *Critical review of epidemiological studies on the relationship between various electromagnetic parameters and the incidence of cancer*. Préparé pour Hydro-Québec. 27 p.

THÉRIAULT, G. 1984a. *Revue critique d'études épidémiologiques portant sur la relation de divers paramètres électromagnétiques et l'incidence du cancer*. Préparé pour Hydro-Québec. 27 p.

THÉRIAULT, G., M. GOLDBERG, A.B. MILLER et B.G. ARMSTRONG. 1994a. *Étude épidémiologique conjointe Électricité de France – Hydro-Québec – Ontario Hydro. Effets à long terme de l'exposition aux champs électriques et magnétiques de 50-60 Hz. (Joint Électricité de France – Hydro-Québec – Ontario Hydro epidemiological study on the long term effects of exposure to 50 and 60 Hertz electric and magnetic fields)*. Préparé par l'Université McGill pour Hydro-Québec. 8 vol.

THÉRIAULT, G., M. GOLDBERG, A.B. MILLER, B.G. ARMSTRONG, P. GUÉNEL, J.E. DEADMAN, T. IMBERNON, A. CHEVALIER, D. CYR et C. WALL. 1994b. « Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Québec, and France: 1970-1989 ». *American Journal of Epidemiology*, vol. 139, n° 6, p. 550-572.

THOMSON, J.M., F. STORMSHAK, J.M. LEE, D.L. HESS et L. PAINTER. 1995. « Cortisol secretion and growth in ewe lambs chronically exposed to electric and magnetic fields of a 60 Hz 500 kilovolt AC transmission line ». *Journal of Animal Science*, n° 73, p. 3274-3280.

TREMBLAY, L. 1993. *Modulation des paramètres de l'immunité cellulaire et naturelle chez des jeunes rats exposés à des champs magnétiques (60 Hz) de différentes intensités*. Mémoire de maîtrise. Institut Armand-Frappier. Université du Québec. Laval. 119 p.

TREMBLAY, L., M. HOUDE, G. MERCIER, J. GAGNON et R. MANDEVILLE. 1996. « Differential modulation of natural and adaptive immunity in Fischer rats exposed for 6 weeks to 60 Hz linear sinusoidal continuous-wave magnetic fields ». *Bioelectromagnetics*, vol. 17, n° 5, p. 373-383.

TURGEON, A., M. BOURDAGES, P. LEVALLOIS, D. GAUVIN, S. GINGRAS, J.E. DEADMAN, D. GOULET et M. PLANTE. 2004. « Experimental validation of a statistical model for evaluating the past or future magnetic field exposures of a population living near power lines ». *Bioelectromagnetics*, vol. 25, n° 5, p. 374-379.

TURGEON, A., P.S. MARUVADA et D. GOULET. 1998. « Application of GIS for the evaluation of human exposure to magnetic field in the vicinity of power lines ». *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, volume 1, p. 189-192.

TURGEON, A., P.S. MARUVADA et P. JUTRAS. 1997a. *Application des méthodes en cartographie numérique pour l'évaluation de l'exposition humaine au champ magnétique dans le voisinage des lignes à haute tension*. Montréal. Hydro-Québec. 28 p. et ann.

TURGEON, A., P.S. MARUVADA et P. JUTRAS. 1997b. *Blindage du champ magnétique à très basse fréquence à l'aide de plaques métalliques*. Montréal. Hydro-Québec. 21 p.

UNION DES PRODUCTEURS AGRICOLES (UPA), QUÉBEC, MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION (MAPAQ) et HYDRO-QUÉBEC. 2005. *Les tensions parasites à la ferme – guide pratique*. Produit avec la participation de l'Institut de technologie agroalimentaire de La Pocatière. Hydro-Québec. 31 p.

UNION DES PRODUCTEURS AGRICOLES (UPA), Hydro-Québec, Québec, Ministère de l'Agriculture, des pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) et Corporation des maîtres électriciens du Québec (CMEQ). 1994. *Attention tension – L'ABC de ce qu'il faut savoir sur les tensions parasites – une approche globale*. Montréal. Hydro-Québec. 19 p.

VARFALVY, L., R.D. DALLAIRE, P.S. MARUVADA et N. RIVEST. 1985. « Measurement and statistical analysis of ozone from HVDC and HVAC transmission lines ». *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 104, n° 10, p. 2789-2797.

VERDIER-BRIEND, G., et L. VARFALVY. 1979. *Impacts sur l'environnement des lignes de transport d'électricité à haute tension : pollution électrochimique*. Montréal. Hydro-Québec. 148 p.

VÉZINA, D., et D. BROUARD. 1991. *Effets des champs électriques chez les poissons. Revue de la documentation scientifique et résultats de l'enquête menée auprès des pisciculteurs*. Préparé par le Groupe Environnement Shooner inc. pour Hydro-Québec. 34 p. et ann.

ZELT, R.G., R.K. DANIEL, P.A. BALLARD, Y. BRISSETTE et P. HÉROUX. 1988. « High-voltage electrical injury: Chronic wound evolution ». *Plastic and Reconstructive Surgery*, n° 82, p. 1027-1039.

### Autres références essentielles

CANADA, OFFICE NATIONAL DE L'ÉNERGIE DU CANADA (ONÉ). 1976. *Rapport au gouverneur en conseil relatif à la demande conformément à la Loi sur l'Office national de l'énergie de la Commission hydroélectrique de Québec*. ONÉ. 85 p. et ann.

IARC WORKING GROUP ON THE EVALUATION OF CARCINOGENIC RISKS TO HUMANS. 2002. *Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields*. Coll. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, monographie n° 80. [En ligne.] Lyon (France), IARC Press. [<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol80/index.php>] 429 p., (novembre 2012).

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE). 2002. *IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0-3 kHz*. Norme C95.6-2002. New York, IEEE. 64 p.

INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION (ICNIRP) 2010. « Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz) ». *Health Physics*, vol. 99, n° 6, p. 818-836.

INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION (ICNIRP). 1998. « Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz) ». *Health Physics*, vol. 74, n° 4, p. 494-522.

INTERNATIONAL ELECTRICITY RESEARCH EXCHANGE ET CANADIAN ELECTRICAL ASSOCIATION. 1988. *Epidemiological studies relating human health to electric and magnetic fields: Criteria for evaluation. Final report*. Montréal. Association canadienne de l'électricité. 103 p.

NATIONAL RADIOPHYSICAL PROTECTION BOARD (NRPB) ADVISORY GROUP ON NON-IONISING RADIATION. 2001. *ELF Electromagnetic fields and the risk of cancer*, vol. 12, n° 1. Chilton (Royaume-Uni), NRPB. 179 p.

NATIONAL RADIOPHYSICAL PROTECTION BOARD (NRPB) ADVISORY GROUP ON NON-IONISING RADIATION. 1992. *Electromagnetic fields and the risk of cancer*, vol. 3, n° 1. Chilton (Royaume-Uni), NRPB. 138 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL COMMITTEE ON THE POSSIBLE EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC FIELDS ON BIOLOGIC SYSTEMS. 1996. *Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields*. Washington (D.C.), National Academy Press. 356 p.

OAK RIDGE ASSOCIATED UNIVERSITIES, INC. (ORAU). 1992. *Health Effects of Low Frequency Electric and Magnetic Fields*. Alexandria (Virginie), National Technical Information Service. 394 p.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ (OMS). 2007a. *Champs électromagnétiques et santé publique : Exposition aux champs de fréquence extrêmement basse. Aide-mémoire n° 322*. [En ligne]. Genève, OMS. [<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs322/fr/index.html>], (novembre 2012).

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ (OMS). 2007b. *Extremely low frequency fields*. Coll. Environmental Health Criteria, monographie n° 238. Genève (Suisse), WHO Press. 519 p.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ (OMS). 1987. *Magnetic fields*. Coll. Environmental Health Criteria, monographie, n° 69. Genève (Suisse), WHO Press. 197 p.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ (OMS). 1984. *Extremely low frequency (ELF) fields*. Coll. Environmental Health Criteria, monographie n° 35. Genève (Suisse), WHO Press. 131 p.

PORTIER, C.J., et M.S. WOLFE (réd.). 1998. *Assessment of Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields : Working Group Report*. Rapport du National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS) Working Group. Research Triangle Park (Caroline du Nord), NIEHS. 508 p.

QUÉBEC. BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 2008. *Projet de construction d'une ligne à 315 kV – ligne Chénier-Outaouais*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 253. 81 p.

QUÉBEC. BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 2001. *Projet de ligne à 315 kV du Grand-Brûlé-Vignan*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 148. 174 p.

QUÉBEC. BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 2000a. *Projet de ligne à 735 kV Saint-Césaire-Hertel et poste de la Montérégie*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 144. 120 p.

QUÉBEC. BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 2000b. *Projet d'implantation du poste Outaouais à 31-230 kV par Hydro-Québec*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 143. 110 p.

QUÉBEC. BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 1996. *Projet de ligne Duvernay-Anjou à 315 kV*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 107. 208 p.

QUÉBEC. BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 1994. *Construction du poste de distribution Roussillon à 315 kV-25 kV et d'une ligne de dérivation à La Prairie*. Rapport d'enquête et de médiation n° 78. 33 p. et ann.

QUÉBEC. BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 1993. *Ligne à 735 kV des Cantons-Lévis et poste des Appalaches*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 68. 434p.

QUÉBEC. BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 1992. *Projet de la 12<sup>e</sup> ligne à 735 kV. Réseau d'Hydro-Québec*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 47. 210 p.

QUÉBEC. BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 1987. *Projet de ligne à courant continu à 450 kV, Radisson-Nicolet-des Cantons*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 22. 384 p.

QUÉBEC. BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 1984. *Poste des Cantons et lignes Nicolet-des Cantons et des Cantons-Nouvelle-Angleterre*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 14. 246 p.





[www.hydroquebec.com](http://www.hydroquebec.com)

2013E0789-11

**Q** *Hydro*  
*Québec*