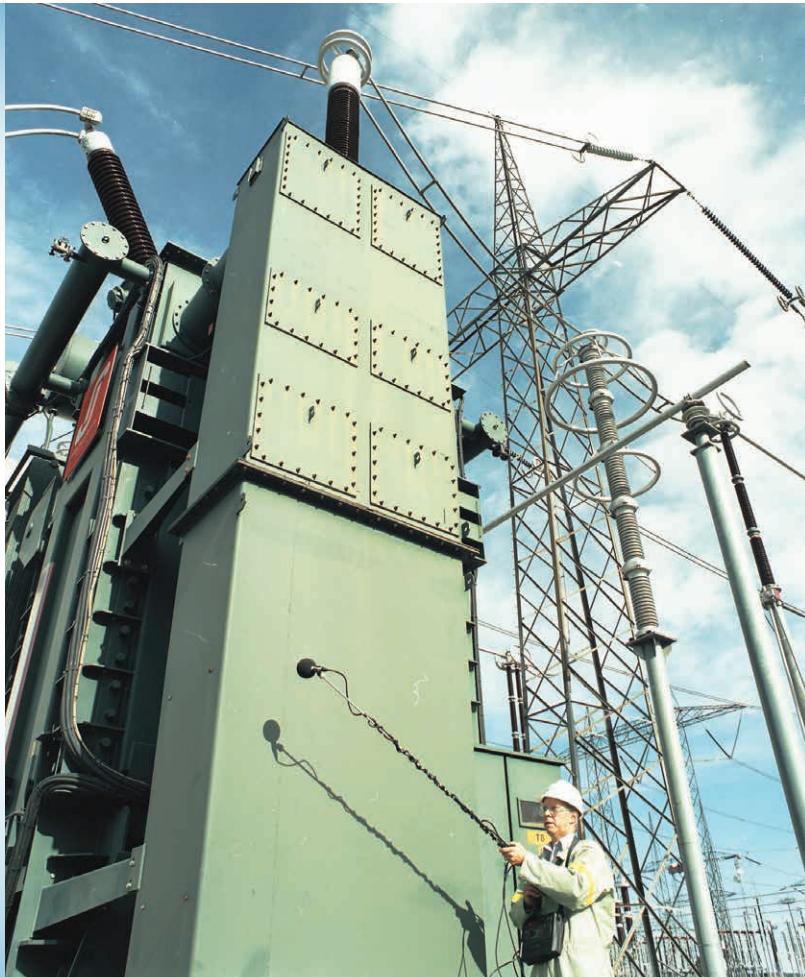


Qualité du cadre de vie

Ambiance sonore



Sommaire

Mise en contexte	1
Bilan historique	2
Cadre réglementaire et encadrements internes.....	2
Ampleur et portée des études réalisées	7
Tableau synthèse	11
Résultats	14
Enjeu du bruit en regard de la qualité de vie	14
Démarche de qualification de l'impact acoustique	16
Sources de bruit et techniques de mesure et de calcul.....	17
Application de mesures d'atténuation	25
Suivi et vérification de la conformité	29
Résumé	30
Les enseignements	
À retenir	33
À éviter.....	34
À poursuivre	35
Vocabulaire.....	36
Bibliographie	39



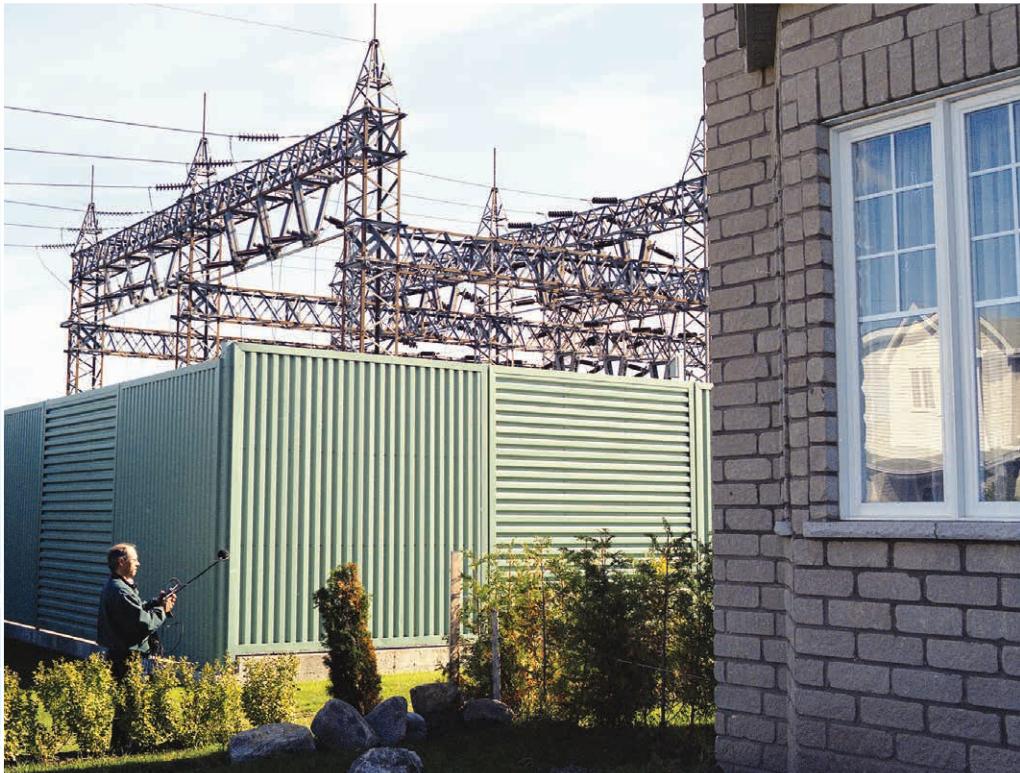
Pour des raisons historiques, les appellations (noms de lignes et de postes ainsi que vocabulaire méthodologique) et les règles d'écriture utilisées dans cette synthèse sont celles qui figurent dans les sources ayant servi à sa réalisation. Pour plus de précisions, lire l'avant-propos.

Photos de la couverture

En haut : Poste de Boucherville à Sainte-Julie – Mesure du bruit d'un transformateur de puissance à 735 KV
En bas : Poste Guy à Montréal – Niches de transformateur à 315-25 KV avec silencieux sur leurs prises d'air

Photo de l'endos

Poste de Lévis – Mur coupe-son d'une inductance shunt



*Mesure du bruit au poste Pierre-Boucher,
dans un quartier résidentiel de Boucherville*

Mise en contexte

Hydro-Québec TransÉnergie (HQT) exploite un vaste réseau de transport d'électricité qui comprend plus de 30 000 km de lignes et au-delà de 500 postes. Ces installations sont susceptibles d'avoir des impacts sur les populations vivant à proximité. Plusieurs types d'impacts liés au fonctionnement des lignes et des postes soulèvent une problématique récurrente : l'ambiance sonore. À ce chapitre, le bruit généré par des conducteurs de lignes mouillés ou par des équipements de postes sont notamment en cause. L'ambiance sonore est aujourd'hui devenue un des enjeux de l'acceptabilité sociale des projets.

Dans le cadre de l'expansion de son réseau, Hydro-Québec doit procéder périodiquement à l'ajout d'équipements majeurs pour assurer à ses abonnés un service fiable. Qu'il s'agisse de lignes ou de postes électriques, ces équipements sont potentiellement des sources importantes de bruit audible pouvant gêner les communautés avoisinantes. De même, l'expansion urbaine peut faire en sorte que les populations se

rapprochent des installations. Il est donc important qu'Hydro-Québec gère adéquatement cet enjeu.

L'ambiance sonore, également appelée climat sonore ou environnement sonore, est un son ou une combinaison de sons perçus dans un milieu à un moment donné. Elle inclut l'environnement acoustique naturel, composé de sons associés aux animaux, aux conditions météorologiques et autres éléments présents dans la nature, ainsi que les sons créés par les activités humaines comme la conversation, le travail ou l'activité industrielle.

Le son résulte de vibrations qui se propagent dans l'air en créant des variations de la pression atmosphérique détectables par l'oreille humaine. Il est caractérisé par sa fréquence (son grave ou aigu) exprimée en hertz (Hz), par son niveau ou son intensité (son fort ou faible) exprimée en décibels et par sa durée (son bref ou continu) exprimé en heures, minutes ou secondes. L'oreille humaine peut percevoir les sons dont les fréquences sont comprises entre 20 et 20 000 Hz. Le tableau 1 donne des exemples de niveaux de bruit émis par différentes sources.

Tableau 1 : Exemples de niveaux de bruit audible

Niveau de bruit (dBA)	Source de bruit
140	(Seuil de la douleur)
120	Marteau pneumatique
110	Klaxon d'automobile, à 1 m
90	Camion lourd sur l'autoroute, à 10 m, à 80 km/h
80	Deux voitures sur l'autoroute, à 10 m, à 80 km/h
60	Conversation normale
50	Crépitements d'une ligne à 735 kV, en bordure d'emprise, sous la pluie
40	Rue peu passante, la nuit
30	Bibliothèque
20	Studio d'enregistrement
10	Respiration
0	(Seuil de l'audition)

Sources : André et Gagné (2002) et Ministère des Transports du Québec (2000)

Le bruit est un son provoquant une sensation auditive désagréable ou gênante. Il est considéré comme un contaminant au sens de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE). C'est pourquoi HQT doit se préoccuper constamment de préserver la qualité du cadre de vie autour de ses installations en regard de l'ambiance sonore.

Bilan historique

Afin de préserver les populations des nuisances sonores, plusieurs lois, règlements, normes et directives ont été édictés au cours des années, établissant des critères de bruit à respecter. Ces critères visent à contrer l'impact du bruit sur la qualité de vie. Une démarche de qualification de l'impact acoustique devait donc être mise au point, ce qui a mené Hydro-Québec à développer et à améliorer les techniques de mesure permettant de déterminer les niveaux sonores produits et d'en vérifier la conformité, ainsi que les techniques d'évaluation des sources de bruit, de calcul de la propagation sonore et de réduction des niveaux de bruit. Le suivi acoustique est une activité servant à valider la conformité et à vérifier l'efficacité des mesures d'atténuation sonore, tant à la conception d'une installation qu'au moment de son exploitation.

Cadre réglementaire et encadrements internes

Lois et règlements

Les premières prescriptions concernant la maîtrise du bruit sont édictées durant les années 1970. En 1972, le gouvernement du Québec adopte la LQE (L.R.Q., c. Q-2), dans laquelle le bruit est défini comme étant un contaminant. Au sens de la Loi, le bruit émis par les postes électriques est donc un contaminant (L.Q.R., c. Q-2 – Section I – Définitions) ; il peut occasionner des nuisances aux personnes et aux collectivités avoisinantes des postes. L'article 20 de la Loi régit l'émission de contaminants dans l'environnement et permettra de l'encadrer par des critères.

Au cours des années 1970, le *Code municipal du Québec*, la *Loi sur les cités et villes* et la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme* confèrent aux entités le droit de réglementer les nuisances, dont le bruit. À la suite des modifications apportées à la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme* en 1993, les municipalités régionales de comté (MRC) responsables de l'aménagement du territoire doivent prendre en compte les risques d'origine naturelle et anthropique. Elles doivent aussi prendre toutes les mesures nécessaires afin de prévenir, dans la mesure du possible, les sinistres provoqués par des catastrophes naturelles ou des accidents technologiques, d'en atténuer les impacts et d'assurer ainsi la santé et la sécurité des personnes et des biens ainsi que la protection de l'environnement. Les contraintes anthropiques identifiées par les MRC sont dorénavant incluses dans leur schéma d'aménagement.

C'est au milieu des années 1980 que le ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ) émet les critères de bruit et les méthodes d'évaluation des niveaux sonores qui devront s'appliquer dans le cadre des interventions découlant de la LQE. En 1998, ces critères et méthodes sont révisés dans la note d'instructions 98-01 du ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF).

Au Québec, la LQE encadre l'évaluation environnementale des projets. L'article 31.1 précise que certains projets prévus par règlement ne peuvent être réalisés sans que la procédure d'évaluation environnementale et d'examen des impacts sur l'environnement ne soit suivie et qu'un certificat d'autorisation ne soit obtenu. Une étude de bruit est requise pour les projets de postes soumis à l'article 31.1 lorsqu'elle est demandée dans la directive. Toutefois, une telle étude n'est pas exigée pour les projets de lignes. Même si un projet ne nécessite pas la réalisation d'une étude d'impact, il peut être subordonné à une autorisation du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) en vertu de l'article 22 de la LQE (voir la synthèse *Évaluation environnementale*) ; dans ce contexte, le MDDEP peut exiger une étude de bruit.

Tableau 2 : Lois et règlements

Date		Particularités
1972	<i>Loi sur la qualité de l'environnement</i> L.R.Q., c. Q-2	En 1972, le gouvernement du Québec adopte la LQE dans laquelle le bruit (un son) est défini comme étant un contaminant. L'article 20 de la Loi régit l'émission de contaminants dans l'environnement.
Décence 1970	Règlements municipaux	Adoption par la Ville de Montréal en 1977 du règlement n° 4996 sur le bruit. Au fil des ans, adoption de règlements municipaux sur les nuisances, y compris le bruit, par de nombreuses municipalités et villes.
	<i>Code municipal du Québec</i> L.R.Q., c. C-27.1, Article 437.7	Confère aux municipalités le droit de réglementer en matière de nuisances, dont le bruit.
	<i>Loi sur les cités et villes</i> L.R.Q., c. C-19, Article 348.5	Confère aux cités et villes le droit de réglementer en matière de nuisances, dont le bruit.
	<i>Loi sur l'aménagement et l'urbanisme</i> L.R.Q., c. A-19.1	Schémas d'aménagement pouvant inclure des contraintes anthropiques à cause du bruit.
1985	Interventions découlant de la <i>Loi sur la qualité de l'environnement</i>	Émission de critères de bruit de la part du MENVIQ.
1993	Modifications de la <i>Loi sur l'aménagement et l'urbanisme</i>	Les MRC doivent dorénavant prendre en compte les risques d'origine naturelle et anthropique et prendre les mesures pour prévenir les sinistres provoqués par des accidents technologiques.
1998	Note d'instructions 98-01	Note d'instructions du MEF révisant les critères de bruit et les méthodes d'évaluation des niveaux sonores présentés dans le document émis en 1985.
2000	Documents du MENVIQ	Documents utilisés pour les projets soumis à la procédure d'évaluation d'examen des impacts sur l'environnement visant à encadrer le bruit des chantiers de construction.
2006	<i>Loi sur les compétences municipales</i> L.R.Q., c. C-47.1	Confère aux municipalités le droit de réglementer et de prohiber les nuisances, dont le bruit.
2006	Révision de la note d'instructions 98-01	L'ajout de termes correctifs pour le bruit à caractère tonal et pour les bruits impulsifs a des conséquences directes sur l'évaluation des niveaux sonores produits par les postes électriques.
2008	Jugement de la Cour suprême du Canada	Existence d'un régime de responsabilité sans faute en droit civil québécois en matière de troubles de voisinage.

Dès 1998, Hydro-Québec tient compte du bruit dans ses nouveaux projets de lignes à 315 kV et à 735 kV même lorsque cela n'était pas exigé par la loi, comme en témoignent les études de bruit effectuées pour le projet Hertel-des Cantons. Depuis, cette initiative est devenue chose courante dans l'entreprise.

En 2006, la *Loi sur les compétences municipales* conforte les municipalités dans leur droit de réglementer et de prohiber les nuisances, dont le bruit. Celles-ci peuvent établir des normes en matière de protection contre les troubles de voisinage.

Aussi en 2006, le MEF procède à une révision de la note d'instructions 98-01 sur le bruit. L'ajout de termes

correctifs pour le bruit à caractère tonal et pour les bruits impulsifs a des conséquences directes sur l'évaluation des niveaux sonores produits par les postes électriques.

En droit civil, le bruit peut constituer une nuisance pour les voisins situés à proximité. Dans l'arrêt *Ciment du St-Laurent Inc. c. Barette, 2008 CSC 64*, la Cour suprême du Canada a reconnu que l'exploitant d'une usine peut être tenu responsable des dommages causés pour troubles de voisinage même si aucune faute n'a été commise et que toute la réglementation a été respectée. Il suffit que des inconvénients « anormaux » soient causés à ses voisins, au sens de l'article 976 du Code civil du Québec.

Encadrements internes

C'est au cours des années 1980 que les premiers encadrements méthodologiques ont vu le jour (voir la synthèse *Évaluation environnementale*). En 1983, Hydro-Québec amorce l'élaboration d'une première

méthode d'étude d'impact pour les lignes et postes afin d'encadrer les diverses étapes de la démarche. Présentée par la direction Environnement d'Hydro-Québec, la *Méthodologie d'études d'impact Lignes et Postes* entre officiellement en vigueur en 1985.

Tableau 3 : Encadrements internes relatifs au bruit généré par les postes électriques¹

Date		Encadrement
1983	Directive d'environnement n° CEN-83-18-00 Révisée en 1992	Nouveaux postes électriques – Bruit audible — Révisée en 1992 (directive CEN-91-18-01) Encadrement donnant les critères de bruit applicables aux nouveaux postes électriques.
1985	Méthodologie d'études d'impact	Entrée en vigueur de la Méthodologie d'études d'impact Lignes et Postes Comprend le <i>Guide d'étude de bruit des projets d'équipement de poste électrique</i> (Hydro-Québec, 1985).
1988	Politique environnementale	Entrée en vigueur de la politique Notre environnement le 1 ^{er} octobre 1988, laquelle remplace la Politique d'environnement d'Hydro-Québec adoptée en 1987. Cette nouvelle politique présente les engagements de l'entreprise pour améliorer sa performance environnementale et pour assurer la santé et la sécurité du public.
1992	Directive corporative CEN-91-18-01 Remplacée en 2001	Le bruit audible généré par les postes électriques — Remplace la version de 1983 (CEN-83-18-00) Encadrement remplaçant celui de 1983 et donnant les critères de bruit applicables à la construction de nouveaux postes électriques ainsi qu'à l'ajout, au remplacement ou à la modification d'équipements dans un poste existant et indiquant également comment gérer les plaintes relatives au bruit.
1992	Guide technique GT-V-19	Choix et conception des moyens de réduction du bruit audible des transformateurs de puissance et inductances Guide traitant des diverses solutions d'atténuation sonore applicables aux postes de transformation. Il décrit les critères de choix des matériaux d'isolation acoustique tels que les blocs acoustiques et les caissons absorbants en acier. Il établit les critères acoustiques, électriques et civils ainsi que les méthodes de conception des différents moyens d'atténuation traditionnels et en cours de développement, comme les murs coupe-son, les enceintes partielles ou totales et les silencieux actifs.
1992	Guide technique GT-V-15	Calcul du bruit audible dans les postes dû aux transformateurs de puissance et aux inductances Guide traitant des principes de calcul de bruit généré par des sources sonores. Plus spécifiquement, il définit les méthodes de calcul de bruit dans les postes dû aux transformateurs de puissance ainsi qu'aux inductances shunt et de MALT, ou même d'autres sources sonores, en tenant compte de l'interaction de divers types d'obstacles comme les murs coupe-son et les bâtiments de commande.
1993	Méthode CEN-93-31-01 Remplacée en 2001	Mesure du bruit audible émis par les installations d'Hydro-Québec — Remplacée en 2001 par l'encadrement TET-ENV-P-CONT002 Méthode indiquant comment évaluer le bruit des installations de HQT dans l'environnement. Elle spécifie l'instrumentation, les conditions de mesure et les différents types de mesures possibles.
1993	Guide corporatif CEN-93-42-00 Révisé en 1996	Guide relatif à la gestion du bruit émis par les chantiers de construction d'Hydro-Québec — Révisé en 1996 Guide qui découle du <i>Code de l'environnement d'Hydro-Québec</i> et qui vise à assister les responsables des études de bruit en précisant les critères applicables aux chantiers, en détaillant la procédure de mesure du bruit pour de telles activités et en établissant la procédure à privilégier pour réaliser les évaluations environnementales ou les études d'impact acoustique.

1. Il n'existe pas de norme à Hydro-Québec sur le bruit audible généré par les lignes électriques. Le bruit est cependant pris en compte dans les critères de conception des lignes, lesquels sont définis dans le *Document explicatif relatif aux caractéristiques électriques généralisées des lignes électriques* (Hydro-Québec, 2008).

Tableau 3 : Encadrements internes relatifs au bruit généré par les postes électriques (suite)

Date		Encadrement
1995	Méthode corporative CEN-94-46-00 Remplacée en 2002	<p>Méthode d'évaluation de la puissance acoustique des transformateurs et des inductances en exploitation — Remplacée en 2002 par l'encadrement TET-ENV-P-CONT003</p> <p>Méthode permettant d'évaluer les caractéristiques acoustiques des transformateurs de puissance et des inductances shunt. Ces caractéristiques sont un intrant essentiel à la réalisation des simulations sonores requises au moment des évaluations environnementales faites dans le cas de projets de modification, de remplacement, de relocation ou d'ajout d'équipements dans les postes, ou à l'occasion du traitement des plaintes relatives au bruit. Elles sont également requises pour la conception des mesures d'atténuation sonores.</p>
1996	Guide corporatif CEN-93-42-01	Guide relatif à la gestion du bruit émis par les chantiers de construction d'Hydro-Québec — Remplace le guide CEN-93-42-00
1999	Directive corporative DIR-22 Révisée en 2005 (cette révision n'a pas d'impact sur le domaine du bruit)	<p>Exigences de prévention et de contrôle des pollutions et nuisances</p> <p>Datee du 5 mai 1999, directive qui vise toutes les activités utilisant ou générant des pollutions et des nuisances dans l'environnement. Concernant le bruit, les mesures suivantes s'appliquent :</p> <ul style="list-style-type: none"> La gestion du bruit doit être prise en compte de façon à assurer que les niveaux sonores émis sont conformes aux normes de l'entreprise décrites dans les encadrements internes appropriés selon le type d'installation ou d'activité visée. Dans le cas où les niveaux sonores ne respectent pas les normes établies par l'entreprise, la réduction à la source doit être le moyen privilégié pour contrer les effets du bruit.
2001	Norme d'Hydro-Québec TransÉnergie TET-ENV-N-CONT001	<p>Bruit audible généré par les postes électriques — Remplace la directive CEN-91-18-01</p> <p>Entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2001, cette norme découle de la directive 22 sur la prévention et le contrôle des pollutions et nuisances. Elle indique les critères de bruit audible applicables aux postes électriques de HQT, à l'extérieur des limites de propriété d'Hydro-Québec, et précise leurs modalités d'application.</p>
2001	Procédure d'Hydro-Québec TransÉnergie TET-ENV-P-CONT001	<p>Gestion du bruit des disjoncteurs pneumatiques</p> <p>Procédure ayant pour objectif de définir comment gérer et maîtriser le bruit audible émis par les disjoncteurs pneumatiques de HQT.</p>
2001	Procédure d'Hydro-Québec TransÉnergie TET-ENV-P-CONT002 Mise à jour en 2002	<p>Mesure du bruit audible émis par les installations de TransÉnergie — Mise à jour en 2002</p> <p>Procédure indiquant comment évaluer le bruit des installations de HQT dans l'environnement. Elle spécifie l'instrumentation, les conditions de mesure et les différents types de mesures possibles.</p>
2002	Procédure d'Hydro-Québec TransÉnergie TET-ENV-P-CONT003	<p>Évaluation de la puissance acoustique des transformateurs et des inductances en exploitation — Remplace la méthode CEN-94-46-00</p> <p>Méthode permettant d'évaluer les caractéristiques acoustiques des transformateurs de puissance et des inductances shunt. Ces caractéristiques sont un intrant essentiel à la réalisation des simulations sonores requises au moment des évaluations environnementales faites dans le cas de projets de modification, de remplacement, de relocation ou d'ajout d'équipements dans les postes, ou à l'occasion du traitement des plaintes de bruit. Elles sont également requises pour la conception des mesures d'atténuation sonores.</p>
2002	Procédure d'Hydro-Québec TransÉnergie TET-ENV-P-CONT002	<p>Mesure du bruit audible émis par les installations de TransÉnergie — Mise à jour de la version de 2001</p> <p>Procédure indiquant comment évaluer le bruit des installations de HQT dans l'environnement. Elle spécifie l'instrumentation, les conditions de mesure et les différents types de mesures possibles.</p>

■ Directive d'entreprise

Les préoccupations émises lors des consultations publiques, des séances de médiation, des audiences publiques ou autres interventions ont mené Hydro-Québec à prescrire la directive d'entreprise Exigences de prévention et de contrôle des pollutions et nuisances (DIR-22). Adoptée en 1999 puis révisée en 2005, elle vise toutes les activités utilisant ou générant des pollutions et des nuisances dans l'environnement. Concernant le bruit, la directive stipule les dispositions particulières suivantes :

- La gestion du bruit doit être prise en compte de façon à assurer que les niveaux sonores émis sont conformes aux normes de l'entreprise décrites dans les encadrements internes appropriés selon le type d'installation ou d'activité visée.
- Dans le cas où les niveaux sonores ne respectent pas les normes établies par l'entreprise, la réduction à la source doit être le moyen privilégié pour contrer les effets du bruit.

■ Norme d'Hydro-Québec TransÉnergie

La norme de HQT intitulée Bruit audible généré par les postes électriques, entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2001, découle de la directive 22 sur la prévention et le contrôle des pollutions et nuisances. Cette norme indique les critères de bruit audible applicables aux postes électriques de HQT, à l'extérieur des limites de propriété d'Hydro-Québec, et précise leurs modalités d'application.

Critères de bruit découlant de la norme

Les critères de bruit applicables aux postes électriques correspondent aux pratiques applicables au Québec en matière de bruit environnemental et s'inscrivent en continuité avec les critères utilisés par Hydro-Québec depuis 1983. Ces critères sont fonction du type de zone dans laquelle le bruit est perçu. Les critères de bruit applicables aux nouveaux postes et aux postes récents selon le type de zone figurent dans le tableau 4. Les exigences qui y sont mentionnées peuvent être modifiées en fonction de l'environnement sonore du poste. Ainsi, si le bruit mesuré en l'absence du poste à la période la plus calme de la journée est supérieur aux critères de la norme établie, c'est le bruit en l'absence du poste qui devient la limite acceptable.

Tableau 4 : Critères de bruit pour les nouveaux postes et les postes récents

Type de zone	Particularités	Critère de bruit (dBA)	
		Nuit	Jour
Zone habitée	À l'intérieur des limites du zonage résidentiel établi en vertu d'un règlement municipal.	40	45
	À l'intérieur des limites de propriété des résidences situées en zone agricole ou non soumise à un règlement municipal. Toutefois, dans ce dernier cas, si le zonage du territoire n'est pas résidentiel et si la limite de propriété est située à plus de 30 m de la résidence, les critères s'appliquent à 30 m de la résidence.	40	45
Zone de camping	À l'intérieur des limites du zonage « camping » établi en vertu d'un règlement municipal.	45	50
	À l'intérieur des limites de propriété des campings exploités. Toutefois, dans ce cas, si le zonage du territoire n'est pas de type camping et si l'aire de camping exploitée prévisible est située à plus de 30 m de la limite de propriété, les critères s'appliquent à 30 m de l'aire exploitée prévisible.	45	50
Zone commerciale	À l'intérieur des limites du zonage commercial.	55	55
	Si un terrain commercial est utilisé à des fins résidentielles.	50	55
Zone industrielle	À l'intérieur des limites du zonage industriel.	70	70
	Sur le terrain d'une résidence existante en zone industrielle établie conformément aux règlements municipaux en vigueur au moment de la construction.	50	55
Zone inhabitée		Aucun	Aucun

Source : Norme de HQT TET-ENV-N-CONT001 Bruit audible généré par les postes électriques

Certaines municipalités ont adopté des règlements concernant le bruit ou les nuisances dans lesquelles on retrouve des niveaux sonores à respecter. Lorsque le bruit du poste est perçu sur le territoire d'une municipalité qui possède un tel règlement, les critères de bruit applicables correspondent aux exigences les plus sévères entre celles données dans le règlement municipal et celles énoncées dans la norme d'Hydro-Québec.

Il est à noter que les niveaux sonores produits par un poste varient selon que les conditions météorologiques sont plus ou moins favorables à la propagation sonore. L'importance de ce phénomène augmente à mesure que l'on s'éloigne des sources de bruit. C'est pourquoi il est possible qu'à l'occasion et pour de courtes périodes, les niveaux sonores perçus soient supérieurs aux valeurs maximales préconisées. Une telle situation est jugée acceptable par Hydro-Québec seulement si elle ne se produit pas fréquemment.

De même, le bruit associé à l'effet couronne (bruit des lignes présentes dans un poste) est variable selon que les conducteurs sont secs ou humides. Lorsque les conducteurs de courant alternatif sous tension sont mouillés, le bruit généré est supérieur. En cas de pluie, il pourrait donc par exemple arriver pour certains postes à 735 kV que le bruit perçu soit supérieur aux normes à cause de l'effet couronne. Dans ce cas, il faut procéder à une analyse particulière pour déterminer l'amplitude du bruit ainsi que la durée et la fréquence d'un tel événement.

Contrairement aux postes, il n'existe pas de norme à Hydro-Québec sur le bruit audible généré par les lignes de transport. Le bruit est cependant pris en compte dans les critères de conception des lignes. Le *Document explicatif relatif aux caractéristiques électriques généralisées normalisées des lignes électriques*, publié par Hydro-Québec en 1993 et révisé en 2008, établi que le bruit audible par beau temps ne doit pas dépasser 55 dBA en bordure de l'emprise quand les conducteurs sont mouillés après une pluie. Une ligne à 735 kV dont l'emprise est de 80 m permet généralement de respecter le critère de bruit. Pour les tensions de 230 kV et moins, l'application de ce critère n'est pas déterminant et n'influe pas sur les largeurs de l'emprise.

Ampleur et portée des études réalisées

Hydro-Québec a effectué quelques études sur le bruit des lignes et des postes au cours des années 1970, mais c'est durant les années 1980 et 1990 qu'elles ont pris de l'ampleur. Les années 2000 ont été caractérisées par les suivis de projets et par les interventions des

populations, dont certaines ont été relevées dans les rapports du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE).

Années 1970

Après que différentes plaintes liées au bruit des transformateurs ont été formulées vers 1975, un groupe de travail est formé à la direction Environnement pour étudier le problème. Dans le rapport qui en résulte, on recommande que chaque nouvelle installation fasse l'objet d'une étude de bruit particulière. En l'absence de normes provinciales précises dans le domaine, on amorce la rédaction d'une norme d'entreprise pour limiter à des niveaux raisonnables le bruit émanant des nouveaux postes de transformation en s'appuyant sur des pratiques déjà établies en Amérique du Nord et en Europe. Bien qu'utilisée officieusement à la fin des années 1970, cette norme n'est devenue officielle qu'au cours de la décennie suivante.

De plus, l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) réalise des études visant à mesurer et à calculer le bruit des lignes électriques à 735 kV. Cela permet de démontrer clairement l'effet des conditions météorologiques sur le bruit des lignes à courant alternatif et d'établir une méthode semi-empirique pour calculer les niveaux sonores produits par les lignes.

Au cours de la même période, l'IREQ s'intéresse également à la problématique du bruit produit par les postes électriques. Grâce à ces études, on peut se familiariser avec les sources de bruit dans les postes, les caractériser et commencer à établir les paramètres permettant d'en calculer les impacts.

Années 1980

Durant les années 1980, les études du bruit se multiplient. Techniques de mesure et de réduction du bruit, méthodologie d'évaluation des impacts du bruit sur les populations et évaluation de l'effet du bruit sur les élevages sont quelques-uns des aspects qui sont explorés.

■ Méthodologie d'étude d'impact du bruit des postes

En 1983, Hydro-Québec amorce l'élaboration d'une première méthode d'étude d'impact pour les lignes et les postes afin d'encadrer les diverses étapes de la démarche. La *Méthodologie d'études d'impact Lignes et Postes* entre en vigueur officiellement en 1985. Elle comprend la démarche préconisée dans les différentes études sectorielles concernées par les projets, dont l'étude de bruit. Le *Guide d'étude de bruit des projets d'équipement de poste électrique* (Hydro-Québec, 1985) explique quant à lui la démarche d'inventaire et d'analyse spécifique au facteur bruit en tant que nuisance pour la population.

■ Bruit des lignes électriques à courant continu

Au cours de cette décennie, et plus particulièrement en 1983 et en 1984, l'IREQ poursuit ses études de bruit des lignes en s'attachant plus particulièrement au bruit des lignes électriques à courant continu. L'étude exhaustive qui est alors réalisée répond entre autres à l'entente prévue entre Hydro-Québec et la Nouvelle-Angleterre, et permet une meilleure connaissance du comportement général d'une ligne à courant continu.

■ Techniques de mesure et de réduction du bruit des postes et de leurs équipements

Durant cette période, Hydro-Québec étudie diverses mesures d'atténuation de l'impact sonore des postes électriques. À partir de certaines études, on développe un éventail de mesures de type écran ou enceinte acoustique pour minimiser l'impact sonore des postes. On procède à une analyse en détail des formes et des matériaux des écrans et des enceintes acoustiques en mettant en lumière les avantages et les inconvénients de chacun.

Le bruit des disjoncteurs pneumatiques suscite aussi de l'intérêt puisqu'il constitue une importante source de bruit impulsif. On le documente à l'aide de diverses mesures. D'autres études portent sur l'utilisation des lots entourant un poste. Elles font ressortir l'importance d'effectuer un inventaire détaillé de l'occupation du sol adjacente aux postes. Elles permettent aussi qu'on cible diverses mesures d'atténuation non techniques de l'impact sonore.



*Disjoncteurs au SF₆ au poste de la Montérégie.
Les disjoncteurs sont une source de bruit impulsif
au moment de leur ouverture et de leur fermeture.*

Durant cette décennie, les techniques de mesure du bruit se sont développées. Jusque-là, l'évaluation de l'impact sonore des postes de transformation était souvent difficile, voire impossible, au moyen des outils de mesure usuels, soit les sonomètres. En effet, d'une part, le bruit de fond du site influençait les mesures et pouvait même dominer le bruit du poste, empêchant l'évaluation du bruit produit par le poste lui-même. D'autre part, les caractéristiques de rayonnement des transformateurs de puissance créaient d'importantes fluctuations spatiales sur les niveaux de bruit mesurés près des postes. À la fin des années 1980, Hydro-Québec développe une nouvelle approche permettant de séparer le bruit d'un poste du bruit ambiant et de tenir compte des particularités des bruits produits par les transformateurs de puissance.

L'entreprise examine alors la méthode normalisée qu'elle utilise pour l'évaluation du bruit des transformateurs de puissance afin d'en connaître les limites et de l'améliorer. Il ressort que pour les intrants des simulations sonores, il est souhaitable d'utiliser la mesure de l'intensité acoustique plutôt que l'évaluation de la pression acoustique traditionnelle. Il faudra toutefois plusieurs années avant que cela ne devienne une pratique courante.



*Enceinte acoustique du transformateur de puissance
du déglaçeur du poste de Lévis*

■ Techniques de mesure et de réduction du bruit des chantiers de construction

Le bruit des chantiers de construction est également une préoccupation d'Hydro-Québec et fait l'objet d'une étude spécifique dans laquelle on identifie et quantifie les sources de bruit, on décrit les méthodes de mesure et on précise les mesures d'atténuation.

Les effets des chantiers de construction sur les élevages d'animaux sensibles au bruit sont aussi documentés par une revue détaillée de la littérature. Ces travaux étaient justifiés par la présence de la clause « Bruit » dans l'Entente Hydro-Québec–UPA, qui obligeait l'entreprise à prendre des précautions à l'occasion des activités de construction en milieu rural (voir la synthèse *Milieu agricole*).

Années 1990

Les années 1990 se caractérisent par la réalisation d'un grand nombre d'études de bruit des postes. Pour évaluer l'impact sonore d'un poste de transformation, il faut connaître les caractéristiques acoustiques des équipements. Hydro-Québec se concentre particulièrement sur ces aspects durant cette décennie. On assiste donc à un développement de techniques de mesure du bruit émis par chacun des équipements de poste ainsi que de techniques de mesure du bruit ambiant.

Dans une étude exhaustive commandée par Hydro-Québec et réalisée par les chercheurs de l'Université de Sherbrooke, on analyse l'influence des effets atmosphériques, des écrans absorbants et des sols mixtes sur la propagation du son émis par les postes électriques. De plus, les ingénieurs d'Hydro-Québec se penchent sur l'analyse des logiciels de propagation sonore (MBruit2, ENM, ISOdB et SoundPLAN®) afin d'en connaître les propriétés et les limites.

Durant cette période, la mesure du bruit est encore au cœur des développements en acoustique. Ainsi, la mise en application de la nouvelle approche de mesure permettant de séparer le bruit d'un poste du bruit ambiant, approche conceptualisée à la fin des années 1980, permet la création du système automatisé de mesure du bruit des postes.

Comme le bruit produit par les lignes électriques s'avère un élément de questionnement dans les projets, on réalise un état de la situation. Par ailleurs, le bruit des chantiers de construction demeurant une source de préoccupation, on l'analyse de façon détaillée pour produire un guide et documenter les différentes sources de bruit sur les chantiers. L'objectif est également de permettre la réalisation des calculs de propagation sonore à partir des données de base répertoriées.

C'est au cours des années 1990 que sont émises de nouvelles normes internationales relatives à l'évaluation des niveaux sonores. Hydro-Québec en évalue l'applicabilité à ses équipements, entre autres pour l'évaluation de la puissance acoustique. Les études visent également à développer une approche adaptée aux équipements présents dans les postes de transformation.

En 1994, on réalise une étude pour connaître les variations des niveaux sonores produits par les transformateurs de puissance en fonction de la charge. Il est important de bien cerner ce facteur pour que les études d'impact acoustique en tiennent compte adéquatement. De plus, on entreprend de développer une méthode permettant d'établir l'efficacité des mesures d'atténuation de type écran ou enceinte acoustique. Toutefois, ce projet sera mis de côté faute de moyens.

On réalise la première étude interne recensée traitant du bruit impulsif, l'objectif étant de mieux comprendre la problématique, d'évaluer les méthodes de mesure et de faire le point sur les connaissances d'Hydro-Québec à cet égard.

La réduction du bruit des postes est au cœur des activités de la décennie 1990. En effet, on mène plusieurs études pour trouver de nouvelles avenues d'atténuation des niveaux sonores. Le contrôle actif du bruit — qui consiste à émettre des ondes sonores en opposition à celles présentent autour des équipements — fait l'objet de plusieurs études. Quelques autres techniques de réduction du bruit sont étudiées, comme les écrans acoustiques combinant une partie active et une partie passive (AGRI-SX inc.), les écrans acoustiques ajourés déphasateurs (Université de Montréal) et la technologie VacDamp visant à réduire l'émission de bruit des cuves des transformateurs.

L'efficacité de certaines mesures de réduction du bruit est vérifiée lors du suivi acoustique du nouveau poste Appalaches à 735-230 kV mis en service à l'automne 1996 (Lemire, 1997). Les résultats escomptés sont atteints.



Murs coupe-son des transformateurs de puissance au poste des Appalaches

En 1990, une révision de la *Méthode d'évaluation environnementale Lignes et Postes* (Hydro-Québec, 1990a), effectuée pour permettre l'évaluation environnementale de la planification à l'exploitation, n'a cependant pas intégré le *Guide d'étude de bruit des projets d'équipement de poste électrique* de la méthodologie de 1985. Par contre, alors que cette démarche s'applique aux nouveaux postes, on préconise une nouvelle démarche de réalisation des évaluations environnementales pour les travaux dans les postes existants et en périphérie dans la méthode du 1^{er} octobre 1993 (CEN-93-44-00).

Années 2000

Dans le cadre du programme d'études d'impact 2000-2008, initié à la suite de la crise du verglas (voir la synthèse *Évaluation environnementale*), HQT mandate les chercheurs de l'Université de Montréal pour réaliser une analyse documentaire et une qualification des impacts du bruit émis par les lignes et les postes électriques en regard de la qualité de vie des riverains (André et Gagné, 2002).

Plusieurs suivis acoustiques sont réalisés durant cette décennie. Il s'agit entre autres du suivi du bruit de la ligne des Cantons-Hertel, du poste de la Montérégie et de ses disjoncteurs et du poste de l'Outaouais, ainsi que de l'efficacité acoustique des enceintes des compensateurs synchrones du poste de Lévis.



Mesure de l'intensité acoustique d'un compensateur synchrone au poste de Lévis



Mesure de l'efficacité acoustique des enceintes acoustiques des compensateurs synchrones du poste de Lévis

Par ailleurs, on s'intéresse encore à l'amélioration des méthodes d'évaluation de la puissance acoustique des équipements. En outre, en 2011, on réalise une première analyse pour développer un système de mesure de l'absorption acoustique *in situ* (Regnard, 2011). La même année, on mène une étude dans le but de déterminer la meilleure méthode à utiliser pour réaliser les simulations sonores (Daigle et Stinson, 2011). Compte tenu des développements récents dans ce domaine, il est de rigueur de remettre en question les méthodes actuellement utilisées.

Finallement, comme le bruit des lignes électriques doit faire l'objet d'évaluations dans le cadre des études d'impact, on procède à l'examen du logiciel utilisé pour évaluer les niveaux sonores produits.

Après une série d'échanges avec le MDDEP, Hydro-Québec développe en 2011 une approche pour la réalisation des évaluations environnementales du bruit des nouvelles lignes électriques.

Tableau synthèse

C'est ainsi que 88 études et suivis en lien avec l'ambiance sonore ont été réalisés par Hydro-Québec depuis le milieu des années 1970 (ce nombre n'inclut pas les études usuelles faites pour chacun des projets). Ceux-ci sont présentés de façon chronologique dans le tableau 5.

Les documents relatifs aux lignes y sont regroupés selon les thèmes suivants :

- mesures et calculs : 12 documents publiés entre 1972 et 2011 ;
- impact acoustique : 15 documents publiés entre 1983 et 2011 ;
- suivi environnemental : 4 documents publiés entre 2005 et 2008.

Les documents relatifs aux postes y sont regroupés selon les thèmes suivants :

- mesures et calculs : 29 documents publiés entre 1976 et 2011 ;
- disjoncteurs : 2 documents publiés en 1988 et en 1996 ;

- sources de bruit : 13 documents publiés entre 1976 et 2010 ;
- impact acoustique : 10 documents publiés entre 1976 et 2010 ;
- réglementation et exigences : 3 documents publiés entre 1983 et 2002 ;
- mesures d'atténuation : 21 documents publiés entre 1980 et 2011 ;
- suivi environnemental : 9 documents publiés entre 1997 et 2010.

Entre 1985 et 1994, Hydro-Québec a également publié six documents relatifs au bruit émis durant les activités de construction.

Certains documents traitent de plusieurs thèmes et sont donc inscrits au tableau dans chacun de ces thèmes. C'est pourquoi le nombre de documents publiés ne correspond pas au nombre cumulé des documents par thème. La figure 1 donne un aperçu de la répartition des documents édités par décennie pour les lignes, pour les postes et pour les activités de construction.

Figure 1 : Nombre d'études sur le bruit effectuées par décennie (excluant les études spécifiques aux projets)

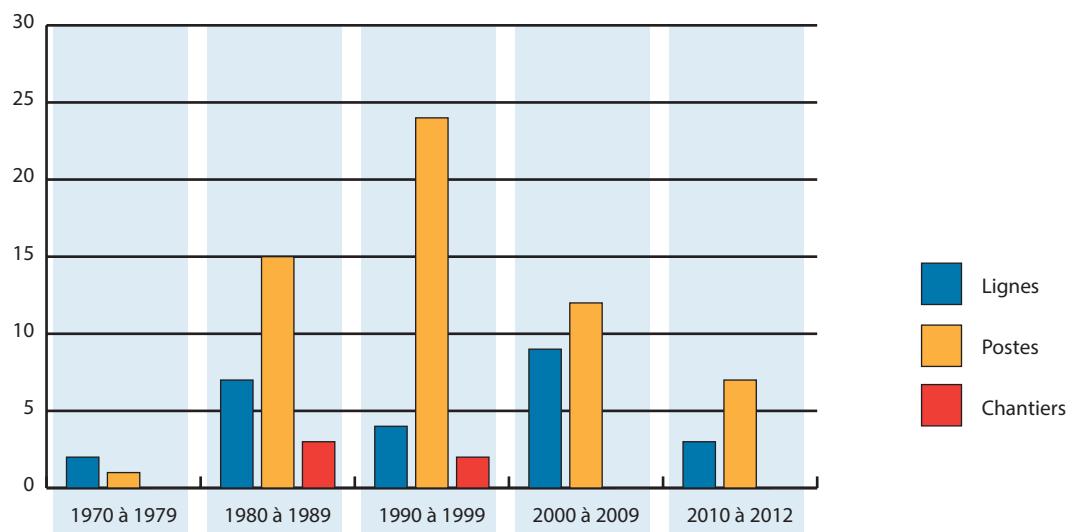


Tableau 5 :
Études et suivis sur l'ambiance sonore

Études et suivis		Années 1970								
Lignes	A	Mesures et calculs (12 documents)	72	73	74	75	76	77	78	79
		Hydro-Québec et IREQ (1972), Hydro-Québec et IREQ (1973), Cardinal (1983), Dallaire et coll. (1983a), Dallaire et coll. (1983b), Hydro-Québec (1983b), Maruvada et coll. (1984), Maruvada et coll. (1985), Gosselin (1992a), Duchassin et Chamberland (2007), Gosselin (2011), Daigle et Stinson (2011)	1	1						
		Impact acoustique (15 documents)								
	B	Cardinal (1983), Dallaire et coll. (1983b), Hydro-Québec (1983b), Archambault (1985), Hydro-Québec (1990a), Gosselin (1992a), Hydro-Québec TransÉnergie (1998), Hydro-Québec (1998), André et Gagné (2002), André et coll. (2002a), Roy (2007), Duchassin et coll. (2007), Hydro-Québec (2008), Hydro-Québec TransÉnergie (2010), Hydro-Québec TransÉnergie (2011)								
	C	Suivi environnemental (4 documents)								
		Gosselin (2005), Duchassin et Chamberland (2007), Duchassin et coll. (2007), Létourneau et coll. (2008)								
	D	Mesures et calculs (29 documents)							1	
		Trinh et Ménard (1976), Hydro-Québec (1980), Hydro-Québec (1981), Camarata (1983), Gosselin (1984), CRAD (1985), Gosselin et coll. (1985), L'Espérance et Champoux (1988), L'Espérance et coll. (1990), Université de Sherbrooke (1990), Gosselin (1991), Gosselin et coll. (1992), Laroche et coll. (1992), L'Espérance (1992), Amram (1993), Centre d'expertise acoustique BGL (1993a), Centre d'expertise acoustique BGL (1993b), Centre d'expertise acoustique BGL (1993c), Gosselin et coll. (1993), Gosselin (1994a), Gosselin (1996), Couture et Chamberland (2004), Duchassin (2008), Duchassin et Chamberland (2008a), Duchassin et Chamberland (2008b), Duchassin et coll. (2009), Gosselin et coll. (2009), Duchassin et Chamberland (2010), Daigle et Stinson (2011)								
	E	Disjoncteurs (2 documents)								
		Yockell (1988), Lemire (1996)								
Postes	F	Sources de bruit (13 documents)						1		
		Trinh et Ménard (1976), Hydro-Québec (1980), Hydro-Québec (1981), Gosselin (1984), Gosselin et coll. (1985), Champoux et coll. (1988), Centre d'expertise acoustique BGL (1993a), Centre d'expertise acoustique BGL (1993b), Gosselin (1994b), Gosselin (1994b), Duchassin, F (2008), Duchassin, Chamberland (2008b), Gosselin, B. et SNC-Lavalin (2010)								
	G	Impact acoustique (10 documents)						1		
		Trinh et Ménard (1976), Camarata (1983), Archambault (1985), Hydro-Québec (1985), Gagné (1988a), Hydro-Québec (1990a), André et Gagné (2002), André et coll. (2002b), Roy (2007), Hydro-Québec TransÉnergie (2010)								
	H	Réglementation et exigences (3 documents)								
		Camarata (1983), Gagné (1988a), André et coll. (2002b)								
	I	Mesures d'atténuation (21 documents)								
		Hydro-Québec (1980), Hydro-Québec et Groupe SNC (1982b), Levert (1986), Amram (1989), L'Espérance et coll. (1990), Amram (1993), CRIC (1993a), CRIC (1993b), CRIC (1994), Fortin (1994), Lemire (1995), Berry et coll. (1996a), Berry et coll. (1996b), CRIC (1996), L'Espérance et coll. (1997), L'Espérance et coll. (1998), L'Espérance et coll. (1999), Gosselin (2002), Duchassin et Chamberland (2008a), Gosselin et SNC-Lavalin Environnement (2010), Regnard (2011)								
J	K	Suivi environnemental (9 documents)								
		Lemire (1997), Gosselin (2001), Meunier et Chamberland (2003), Couture et Chamberland (2004), Gosselin (2005), Duchassin et Chamberland (2007), Létourneau et coll. (2008), Duchassin et Chamberland (2009), Duchassin et Chamberland (2010)								
	K	Chantiers de construction (6 documents)								
		FMK Technology (1985), Gagné (1988b), Gagné (1989), Gosselin (1992b), Gosselin et Fortin (1993), Gosselin et Consultants B.V.L. (1994)								

Tableau 5 :
Études et suivis sur l'ambiance sonore (suite)

Études et suivis		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	10	11	12	
A					4	1	1							1														1					2		
Lignes	B					3		1					1		1												2		2	1		1	1		
C																											1		2	1					
D		1	1		1	1	2			1		2	1	3	5	1		1								1				3	2	1	1		
E								1													1														
F		1	1			1	1			1					2	2												2		1					
G						1		2		1		1														2			1		1				
H						1				1																1									
I		1		1			1			1	1				3	2	1	3	1	1	1				1			1	1	1	1				
J																				1					1		1	1	1	1	1				
K							1		1	1				1	1	1																			

Résultats

Enjeu du bruit en regard de la qualité de vie

Le bruit généré par les lignes et les postes électriques a un impact sur la qualité de vie des riverains. Comme l'ambiance sonore est devenue l'un des principaux enjeux pour l'acceptabilité sociale des projets, il devenait important de qualifier cet impact. L'analyse documentaire réalisée par des chercheurs de l'Université de Montréal pour HQT a permis une certaine qualification de ces impacts (André et Gagné, 2002). Les rapports d'enquête et d'audience publique du BAPE ont aussi permis de dresser un portrait des préoccupations des populations quant au bruit et de l'impact de celui-ci sur leur qualité de vie.

Constats tirés de l'analyse documentaire

■ Préoccupations relatives au bruit des postes

La question de la sensibilité des populations au bruit des postes a été très peu abordée dans la documentation. Certains postes sont implantés dans des parcs industriels et des aires commerciales où les activités génèrent un bruit ambiant plus élevé. De même, la présence d'une autoroute à proximité peut aussi contribuer à masquer les bruits audibles du poste. Par contre, lorsque les postes sont implantés en milieu résidentiel, ils peuvent créer une nuisance, puisque le bruit perçu par les résidents dépend du différentiel entre le bruit des équipements et le bruit ambiant.

■ Impacts potentiels du bruit des postes sur la qualité de vie

Les impacts potentiels peuvent se faire sentir sur la santé ainsi que sur les activités et comportements individuels. Au vu de la documentation consultée, on peut tirer les conclusions suivantes :

- Les niveaux sonores générés par les postes ne peuvent pas occasionner de troubles cliniques ni d'audition, ces derniers n'étant possibles qu'après des périodes d'exposition répétées d'au moins huit heures à 80 dBA ou plus sur plusieurs années.
- Les plaintes enregistrées par Hydro-Québec indiquent que le bruit des postes peut néanmoins créer une certaine gêne, en particulier sur le plan du sommeil.
- Le bruit des postes peut aussi devenir une source de stress chez certains individus, lequel s'ajoute au stress déjà vécu, ce qui nuit à leur bien-être.

■ Préoccupations relatives au bruit des lignes

Après avoir revu les études qui ont abordé la question, on peut dresser les constats suivants :

- Il est ardu d'isoler l'effet du bruit des autres effets des lignes de transport, comme l'effet visuel ou celui des champs électriques et magnétiques ; c'est surtout la présence de la ligne avec l'ensemble de ses effets qui est ressentie.
- Le bruit n'est pas un facteur qui est spontanément associé aux lignes et n'est pas souvent identifié comme source de nuisance.
- Les résultats obtenus dépendent du contexte (historique d'implantation, attitude en regard du promoteur, sentiments et attitudes relativement aux lignes).
- Les sensations négatives en regard du bruit des lignes semblent liées autant à la résistance sociale par rapport aux lignes qu'à la nature du bruit lui-même.
- Les personnes ne résidant pas à proximité des emprises perçoivent plus négativement les lignes que les riverains.
- Le dérangement occasionné par les lignes doit être mis en perspective avec le bruit ambiant.
- Les bruits audibles de hautes fréquences dérangent davantage que les bruits de basses fréquences ; ainsi, le bruit des lignes peut être plus gênant que d'autres bruits de même intensité parce qu'il présente plus de composantes de hautes fréquences que la plupart des autres bruits environnementaux.

■ Impacts potentiels du bruit des lignes sur la qualité de vie

Au vu de la documentation consultée, on peut tirer les conclusions suivantes :

- Les effets sur la santé étant généralement étudiés à des niveaux sonores supérieurs à ceux générés par les lignes de transport, aucune étude répertoriée n'a abordé l'impact sur la santé physique ou psychologique.
- Les niveaux sonores auxquels sont exposés les résidents à proximité des lignes n'occasionnent pas de troubles cliniques ni d'audition ; ces derniers ne sont possibles qu'après des périodes d'exposition répétées de 8 heures à 80 dBA ou plus, alors que l'intensité sonore des lignes se situe rarement au-dessus de 52 dBA à la limite des emprises.
- Au cours des enquêtes, certains résidents ont affirmé que le bruit des lignes nuit à l'écoute de la radio, de la télévision ou de la musique, qu'il nuit à leur sommeil, qu'il leur inspire de la crainte ou qu'il les dérange. Étant donné qu'il y a une grande part de hautes fréquences dans le bruit des lignes, celui-ci peut être plus dérangeant durant le sommeil qu'un autre type de bruit de même intensité.

- Les niveaux maximaux de bruit sont générés par temps de précipitations ; cependant, comme les fenêtres sont généralement fermées, l'exposition au bruit à l'intérieur des résidences est alors réduite.
- En raison du bruit audible qu'elle émet, une ligne de transport peut s'avérer une barrière psychologique pour les déplacements, les gens craignant de passer en dessous des installations.
- Le bruit des lignes peut devenir une source de stress chez certains individus, lequel s'ajoute au stress déjà vécu, ce qui nuit à leur bien-être.

En résumé, à la lumière de la documentation actuelle, on ne peut pas conclure à un effet significatif du bruit des lignes de transport sur la santé, les activités et les comportements des résidents riverains, bien que celui-ci puisse occasionner une gêne chez certains individus.

■ Préoccupations relatives au bruit relevées par le BAPE

Dans le cadre des audiences du BAPE, la première allusion à la nuisance par le bruit d'une ligne a été recensée en 1983 relativement aux lignes Nicolet-Des Cantons et Des Cantons-Nouvelle-Angleterre. La commission a conclu que l'effet apparaissait à la limite du perceptible, mais que cette question méritait un examen plus approfondi. Jusqu'en 1993, dans les rapports d'enquête du BAPE, on ne recense pas de préoccupations liées à la nuisance sonore. Par la suite, le bruit est relevé dans toutes les commissions du BAPE relatives aux lignes et aux postes (voir le tableau 6).

Lors des audiences du projet de ligne à 735 kV Des Cantons-Lévis et poste Appalaches, des intervenants ont souligné le bruit « incessant et exaspérant » que produit une ligne surtout quand la température est mauvaise. Quant aux manœuvres de disjoncteurs, elles sont souvent comparées à un coup de fusil ou encore à un coup de canon. La construction du poste de Roussillon à La Prairie a aussi soulevé des préoccupations auprès du public. Dans son rapport de 1994, la commission en est arrivée au constat que, compte tenu des bonifications prévues par le promoteur, la qualité du milieu de vie des citoyens concernés par le projet, dans la limite des connaissances d'alors, était malgré tout préservée.

Tableau 6 : Rapports du BAPE faisant état du bruit généré par les équipements et les activités d'Hydro-Québec

Nº de rapport	Année	Projet
14	1983	Poste Des Cantons : Lignes Nicolet-Des Cantons et Des Cantons-Nouvelle-Angleterre
68	1993	Ligne à 735 kV des Cantons-Lévis et poste Appalaches
78	1994	Construction du poste de distribution de Roussillon à 315-25 kV et d'une ligne de dérivation biterne à 315 kV à La Prairie
107	1996	Projet de ligne Duvernay-Anjou à 315 kV
143	2000	Projet d'implantation du poste de l'Outaouais à 315-230 kV par Hydro-Québec
144	2000	Projet de ligne à 735 kV Saint-Césaire-Hertel et poste de la Montérégie
148	2001	Projet de ligne à 315 kV Grand-Brûlé-Vignan
253	2008	Projet de construction de la ligne à 315 kV Chénier-Outaouais
259	2009	Projet de construction du poste Anne-Hébert à 315-25 kV et de la ligne d'alimentation à 315 kV à Saint-Augustin-de-Desmaures
283	2011	Projet d'évolution du réseau de transport du nord-est de la région métropolitaine de Montréal

En 1998, au Comité d'information et de consultations publiques sur le projet Hertel-des Cantons, les participants ont soulevé plus particulièrement les préoccupations suivantes :

- Les travaux de construction et l'augmentation de la circulation génèrent du bruit.
- Les lignes à haute tension forcent le déplacement de la trajectoire des avions, ce qui entraîne du bruit à proximité des habitations.
- Les lignes à haute tension et les postes de transformation émettent un fond sonore permanent tandis que les manœuvres de disjoncteurs génèrent un bruit soudain et fort.
- Le déboisement de l'emprise occasionne l'ouverture du territoire et le rend plus accessible aux véhicules tout-terrain et aux motoneiges. Les participants craignent une perte de tranquillité et de quiétude.
- La coupe des arbres dans l'emprise supprime le mur végétal qui atténue le bruit venant des routes.

Ces mêmes préoccupations ont été répétées lors des audiences publiques relatives au projet. Dans son rapport de 2000, la commission a reconnu l'intérêt d'assurer un suivi du climat sonore à proximité du poste de la Montérégie. Elle a cependant estimé que ce suivi devrait se poursuivre après la mise en service du poste pour qu'on puisse tenir compte des modifications qui pourraient y avoir été effectuées. La commission a constaté que les résidents des propriétés situées à l'intérieur d'une distance de 100 m de part et d'autre de la limite de l'emprise de la ligne à 735 kV subiraient un impact sonore, particulièrement la nuit, alors que les autres sources y contribueraient faiblement. À cet effet, la commission a rappelé que l'utilisation de pylônes de la famille monopoteau n° 5 permettrait notamment d'atténuer l'impact sonore.

Aussi en 2000, en ce qui a trait aux préoccupations du public concernant l'emplacement du poste de l'Outaouais, la commission a jugé primordial qu'Hydro-Québec respecte ses engagements relatifs à la réduction du bruit à la source et à la réalisation d'un suivi du bruit autour du poste. Consignées dans le rapport du BAPE de 2001 sur le projet de ligne Grand-Brûlé-Vignan, les préoccupations concernent l'impact sonore des travaux et celui du poste sur les résidences avoisinantes.

D'autres préoccupations ont été relevées par le BAPE en 2008 dans le cadre du projet de construction de la ligne à 315 kV Chénier-Outaouais : la MRC et le député de Mirabel craignaient que les modifications au poste Chénier découlant de ce projet n'accentuent les nuisances sonores que les résidents subissaient. Le bruit des transformateurs y a été décrit comme un « bruit de fond [...]. Tel un acouphène, ce bruit obsédant vous suit partout, jour et nuit », alors que celui émis par les disjoncteurs est comparable « à un coup de tonnerre ou à un coup de fusil dans votre cour arrière ». Par ailleurs, des améliorations aux installations existantes et des mesures particulières visant à atténuer le bruit des nouveaux appareils advenant la réalisation du projet étaient souhaitées. À cet égard, il a été suggéré de remplacer les anciens disjoncteurs par d'autres plus silencieux et d'isoler les transformateurs dans des enceintes propres à en réduire le bruit.

En 2009, la commission d'enquête sur le projet de construction du poste Anne-Hébert a constaté que, selon les mesures et simulations effectuées par Hydro-Québec, le bruit attendu du poste serait en deçà des normes municipales et conforme à celles établies dans la réglementation du gouvernement. La commission était d'avis qu'Hydro-Québec devait entreprendre un programme de suivi du climat sonore au cours du

premier été après la mise en service du poste et, par la suite, tous les cinq ans jusqu'à ce que tout l'équipement prévu soit en fonction.

Face à l'évolution du réseau de transport du nord-est de la région métropolitaine de Montréal, des participants à l'audience du BAPE se sont dits préoccupés par les effets sur leur santé et sur leur qualité de vie qui pourrait résulter d'une modification du climat sonore lié au projet (ajout d'une nouvelle source de bruit à un climat sonore déjà perturbé la nuit et effets de grésillement d'une nouvelle ligne). Encore là, les recommandations de la commission, consignées dans son rapport de 2011, visaient surtout les programmes de suivi autant pour le climat sonore provenant des travaux de construction que pour le bruit émis par les équipements. Elle recommandait aussi de rendre publics les résultats des suivis du bruit des postes. De plus, certains citoyens ont proposé l'installation d'une enceinte de confinement acoustique au poste de Lanaudière existant, même si aucun ajout d'équipement de poste n'y était envisagé. À cet effet, la commission d'enquête était d'avis que le niveau de bruit émis par le poste de Lanaudière devrait être évalué par le promoteur conformément aux consignes de la note d'instructions 98-01 du MDDEP. Advenant le dépassement de critères de ladite note, des mesures d'atténuation, déterminées en collaboration avec le ministère, devraient être mises en place par le promoteur. Les résultats issus de cette démarche devraient être rendus publics.

En résumé, malgré les appréhensions des populations, le BAPE a conclu, dans la majorité de ses rapports, que le bruit attendu selon les mesures et les simulations effectuées par Hydro-Québec serait en deçà des normes municipales et également conforme à celles établies par le gouvernement du Québec. Les commissions d'enquête préconisaient toutefois un programme de suivi du climat sonore adapté à chacun des projets, et ce, pour la majorité de ceux-ci.

Démarche de qualification de l'impact acoustique

La *Méthodologie d'études d'impact Lignes et Postes* est officiellement entrée en vigueur en 1985. Elle comprenait la démarche préconisée dans les différentes études sectorielles concernées par les projets, dont l'étude de bruit. Le *Guide d'étude de bruit des projets d'équipement de poste électrique* expliquait quant à lui la démarche d'inventaire et d'analyse spécifique au facteur bruit en tant que nuisance pour la population. Cette démarche sectorielle visait à répondre aux besoins de l'étude d'impact. Le guide comprenait deux sections.

La première section définissait la démarche à suivre pour que les résultats d'analyse deviennent des intrants à l'étude d'impact, dont voici les étapes :

- examen du projet et identification des principales sources de bruit (inductance shunt, réactance, transformateur, compensateur synchrone, ventilateur, disjoncteur pneumatique et compresseur) ;
- inventaire et analyse du milieu : inventaire du milieu récepteur et évaluation du climat sonore actuel ;
- évaluation de la conformité du projet selon les normes et lois en vigueur ;
- évaluation de l'impact acoustique du projet ;
- conclusions et recommandations.

La deuxième section du guide définissait et structurait le cheminement des différentes étapes d'inventaire et d'analyse, soit l'évaluation du climat sonore, l'étude et la prévision du bruit ainsi que l'évaluation des impacts acoustiques. Le guide fixait les échelles de pondération, les unités à utiliser, les relevés à effectuer ainsi qu'un certain nombre de précautions à observer au moment du mesurage de bruit de référence. Les informations à consigner comprenaient :

- emplacement exact de mesurage accompagné d'un croquis explicatif ;
- date et heure du début de la période de mesurage ;
- conditions météorologiques ;
- localisation et identification des principales sources de bruit ;
- débit horaire et vitesse moyenne des véhicules sur la plus proche voie de circulation.

L'étude réalisée en 2002 par des chercheurs de l'Université de Montréal en regard de la qualité de vie des riverains présente une réflexion méthodologique pour qualifier l'impact du bruit émis par les lignes et les postes. Le modèle préconisé suit dans ses principes la démarche de l'évaluation environnementale d'Hydro-Québec (impact appréhendé, valeur et résistance) tout en intégrant la notion de perturbation, pour laquelle les conditions suivantes sont considérées :

Pour les postes électriques

- Le niveau sonore à la source, combiné à la localisation ou à la distance du récepteur et aux caractéristiques du lieu, se traduit par un niveau de bruit correspondant aux critères de bruit applicables aux nouveaux postes.
- Le bruit ambiant est faible (inférieur à 40 dBA).
- L'emplacement touché par le bruit se situe relativement près du poste, de telle sorte que les conditions météorologiques n'ont pas d'effet significatif sur les niveaux sonores.

Pour les lignes électriques

- Le niveau sonore à la source est tel qu'il se traduit par un niveau de bruit correspondant au critère de conception à la limite de l'emprise.
- Le bruit ambiant est faible (inférieur à 40 dBA).
- L'emplacement touché par le bruit se situe à la limite de l'emprise.
- Les caractéristiques du lieu n'ont pas d'effet sur les niveaux sonores.

Cette approche mène à une qualification de l'impact sonore des équipements. À la limite du périmètre des postes, lorsque les normes de bruit sont respectées et que le niveau de bruit ambiant est très bas, l'impact du bruit des postes est :

- mineur dans les espaces résidentiels, les espaces communautaires, les espaces agricoles, les espaces de villégiature ainsi que dans les parcs naturels et les zones protégées ;
- de mineur à nul dans les espaces commerciaux et les espaces industriels.

À la limite des emprises et lorsque le niveau de bruit ambiant est très bas, l'impact du bruit des lignes est :

- mineur par temps sec ainsi que moyen par temps humide dans les espaces communautaires et les espaces de villégiature ;
- de mineur à nul dans les espaces résidentiels et les espaces agricoles, ainsi que dans les parcs naturels et les zones protégées ;
- de mineur à nul dans les espaces commerciaux et les espaces industriels.

Une revue des rapports d'avant-projet démontre que la démarche méthodologique prescrite en 1985 dans le *Guide d'étude de bruit des projets d'équipement de poste électrique* est toujours utilisée, mais elle incorpore désormais les nouvelles techniques de mesure et de calcul. À titre d'exemple, la démarche méthodologie utilisée en 2010 pour l'étude de bruit relative au poste Henri-Bourassa peut être consultée à l'annexe G du rapport d'avant-projet (Hydro-Québec TransÉnergie, 2010).

Sources de bruit et techniques de mesure et de calcul

Bruit émis par les lignes

Les études de l'IREQ réalisées au cours des années 1970 ont permis de démontrer clairement l'effet des conditions météorologiques sur le bruit des lignes à courant alternatif et d'établir une méthode semi-empirique pour le calcul des niveaux sonores produits par les lignes.

À partir de ces études, on a pu tirer les conclusions suivantes :

- Le niveau de bruit par beau temps est de 15 à 20 dBA plus bas que le niveau maximal en conditions de pluie forte.
- La période après-pluie peut donner des niveaux de bruit appréciables sur une période de temps variant entre quelques minutes et quelques heures tout dépendant de l'humidité relative de l'air ambiant.

Les études ont également permis :

- de classifier la performance acoustique de différents faisceaux de conducteurs étudiés ;
- de valider la formule semi-empirique permettant de calculer les niveaux sonores des lignes électriques, l'écart entre les mesures et les calculs ayant été évalué à moins de 3 dBA ;
- d'utiliser la formule préconisée pour les études préliminaires lorsqu'une grande précision n'est pas requise ;
- de recommander la poursuite de l'étude pour évaluer les performances à long terme des conducteurs et l'effet de différentes conditions météorologiques.



Ligne à 735 kV Hertel-des Cantons par temps de pluie



Ligne à 735 kV Hertel-des Cantons par temps de neige

En ce qui a trait aux lignes à courant continu, les études de l'IREQ effectuées en 1983 et en 1984 ont fait notamment ressortir que le bruit de ces lignes est produit essentiellement par le pôle positif et qu'il varie très peu lorsque les conditions climatiques sont mauvaises, contrairement au bruit produit par une ligne à courant alternatif. Les niveaux sonores produits sont relativement faibles.

À titre d'exemple, pour une ligne à courant continu de ±450 kV, le niveau maximal de bruit audible en bordure de l'emprise est de 34 dBA. De plus, le bruit audible produit par une ligne à courant continu comporte essentiellement des fréquences supérieures à 500 Hz.

Les études relatives au bruit produit par les lignes électriques à courant alternatif menées par la suite ont révélé que le spectre typique du bruit audible émis dans des conditions de pluie était constitué d'une composante à 120 Hz, d'une autre composante moins importante à 240 Hz et d'un bruit à large bande de fréquence allant d'environ 500 Hz à 10 kHz. Elles indiquent également que le bruit audible a tendance à diminuer avec le temps sur une période variant de six mois à trois ans en raison du vieillissement des conducteurs, qui serait imputable à la diminution marquée de la rétention de l'eau à la surface des conducteurs. On a également constaté que les critères de bruit appliqués par les autres compagnies d'électricité étaient similaires à ceux utilisés par Hydro-Québec.

Par un suivi récent réalisé sur une ligne à 735 kV, on a pu réaffirmer les constats mentionnés précédemment et ajouter quelques éléments nouveaux. Le rapport (Duchassin et Chamberland, 2007) indique que le bruit produit par une nouvelle ligne à haute tension à 735 kV ne semble pas avoir d'influence sur le bruit ambiant par temps sec ainsi qu'avant et après des averses de pluie ou de neige, et ce, même lorsque le bruit ambiant résiduel est inférieur à 40 dBA. Par contre, l'influence du bruit de la ligne est significative pendant les averses de pluie ou de neige, à condition, bien sûr, que le bruit ambiant résiduel soit faible.

Après le début des précipitations, le niveau de bruit augmente sur une durée moyenne de 15 minutes pour atteindre un niveau se situant autour de 53 dBA à la limite de l'emprise dans le cas de la pluie et de 48 dBA dans le cas de la neige. Après l'arrêt des précipitations, le niveau de bruit diminue sur une durée moyenne de 40 minutes pour atteindre un seuil inférieur à 40 dBA.

Le bruit émis par une ligne est caractérisé par un bourdonnement et un crépitement. Toutefois, même si le bourdonnement se produit à des fréquences singulières, aucun spectre ne présente un caractère tonal selon la définition qu'en fait le MDDEP dans sa note d'instructions 98-01.

Enfin, le critère de conception de 55 dBA à la limite de l'emprise lorsque les conducteurs sont mouillés est respecté. En effet, lorsque ces conditions ont pu être obtenues, les mesures de bruit ambiant indiquent que le critère de conception est respecté pour tous les sites de mesure et pour toutes les périodes de la journée.

Figure 2 : Spectres moyens du bruit mesurés pendant une averse de pluie (traits pleins) et niveaux de bruit résiduels (traits pointillés)

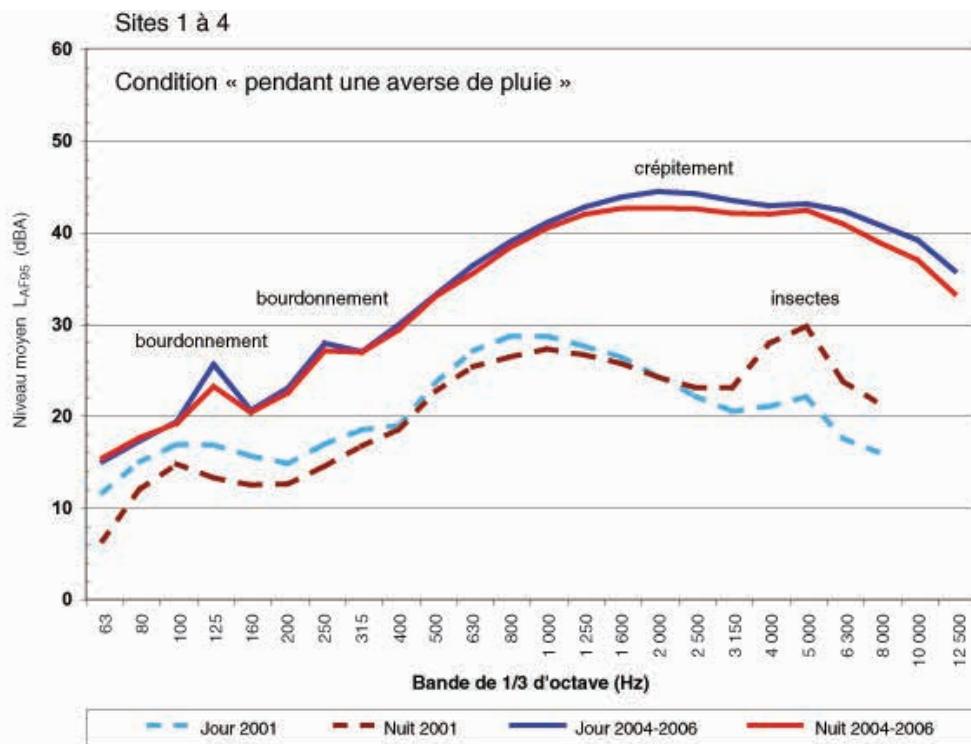
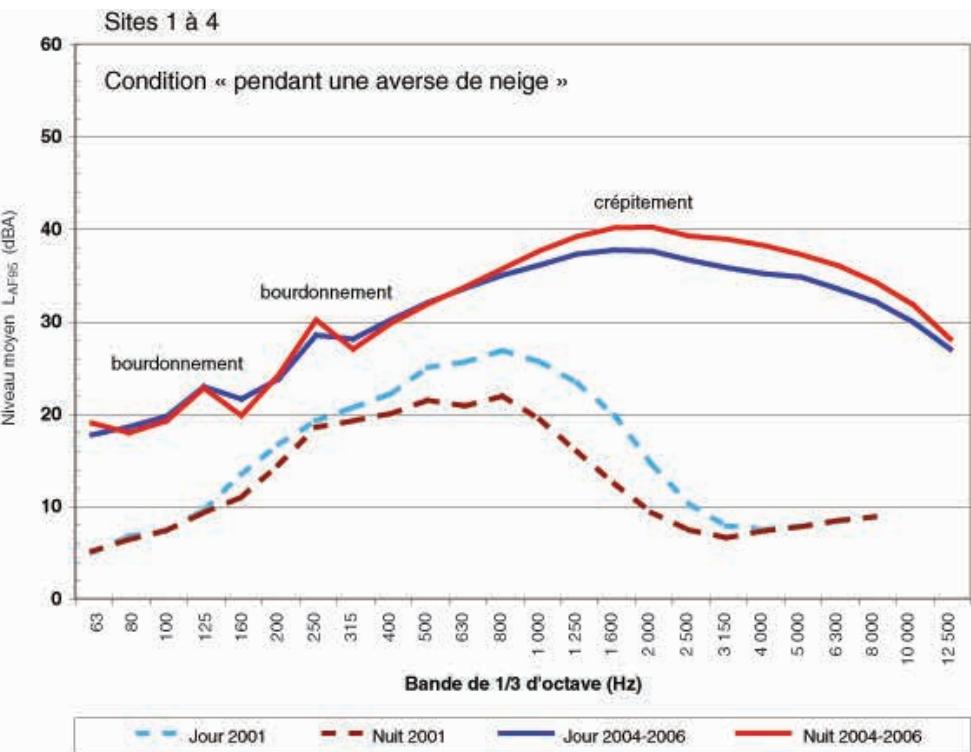


Figure 3 : Spectres moyens du bruit mesurés pendant une averse de neige (traits pleins) et niveau de bruit résiduels (traits pointillés)



■ Calcul du bruit émis par les lignes

Comme il était devenu nécessaire de calculer le bruit audible produit par les lignes électriques dans le cadre des projets, on a réalisé une étude pour établir les niveaux sonores typiques produits. Du même coup, le logiciel vbCEMEC utilisé pour les calculs a été évalué. On a également analysé l'effet associé à la présence de plusieurs lignes en parallèle, de même tension ou de tensions différentes, pour savoir si ces lignes pouvaient avoir un effet réciproque l'une sur l'autre. Les éléments suivants sont ressortis :

- Il est possible de dissocier les lignes électriques adjacentes au moment du calcul des niveaux sonores dans la majorité des cas. Voici la procédure recommandée dans le cas de plusieurs lignes adjacentes :
 - calcul des niveaux sonores avec vbCEMEC ou un logiciel équivalent pour des distances allant jusqu'à environ 50 m pour chacune des lignes prises isolément ;
 - estimation de la puissance acoustique linéaire de chacune des lignes basée sur les résultats obtenus ;
 - calcul des niveaux sonores avec un logiciel de calcul tel SoundPLAN pour déterminer les niveaux sonores en bordure de l'ensemble des lignes en considérant toutes les sources de bruit (toutes les lignes).
- Dans le cas où l'on est en présence de lignes à 735 kV espacées de moins de 50 m, voici la procédure qui est recommandée :
 - calcul des niveaux sonores avec vbCEMEC ou un logiciel équivalent pour des distances allant jusqu'à environ 100 m pour l'ensemble de ces lignes ;
 - calcul des niveaux sonores avec vbCEMEC ou un logiciel équivalent pour des distances allant jusqu'à environ 50 m pour chacune des autres lignes prises isolément ;
 - estimation de la puissance acoustique linéaire de chaque ligne ou groupe de lignes basée sur les résultats obtenus ;
 - calcul des niveaux sonores avec SoundPLAN pour déterminer les niveaux sonores en bordure de l'ensemble des lignes en considérant toutes les sources de bruit (tous les lignes et groupes de lignes).
- La version étudiée du logiciel vbCEMEC ne permet pas d'établir avec certitude les niveaux sonores émis par une ou plusieurs lignes à 315 kV biternes.
- La correction des anomalies détectées au moment de l'étude pour le calcul du bruit audible avec le logiciel vbCEMEC est requise.

Comme la correction du logiciel représentait un effort important de développement à l'interne, on a fait l'acquisition d'un logiciel commercial pour réaliser les calculs des niveaux sonores des lignes électriques. Il s'agit de SESEnviroPlus, qui fait partie de la suite CDEGS. Au moment de rédiger ce document, l'évaluation de ce nouvel outil n'était pas terminée.

Mentionnons finalement les principaux points contenus dans le document présentant l'approche préconisée pour la réalisation des évaluations environnementales du bruit des nouvelles lignes électriques (Hydro-Québec, 2011) :

- Le bruit des lignes est un phénomène intermittent essentiellement lié aux tensions de 315 kV et de 735 kV. Les phénomènes menant à l'augmentation des niveaux sonores se produisent environ 20 % du temps dans la région de Montréal.
- Le bruit fait partie des critères de conception. Le niveau sonore maximal est de 55 dBA en bordure de l'emprise lorsque les conducteurs sont mouillés.
- Il n'est pas opportun pour Hydro-Québec de revoir la conception des lignes de transport.
- La localisation d'une ligne de transport d'énergie électrique est basée sur une approche multicritère (techniques, économiques et environnementaux) dont l'objectif final est de définir un tracé de moindre impact sur le milieu.
- Hydro-Québec préconise la démarche suivante dans ses projets de ligne à haute tension en regard du bruit des lignes :
 - **Connaissance du projet et du milieu**
 - Effectuer des calculs de niveaux sonores produits par la future ligne (par simulation), avec conducteurs secs et mouillés, et présenter les résultats dans l'étude d'impact.
 - Établir la distance à rechercher entre la future ligne et le milieu habité, en se basant sur les critères de la note d'instructions, et ce, même si une ligne n'est qu'une source intermittente de bruit.
 - Indiquer sur la carte d'inventaire tous les milieux habités (zones résidentielles, milieu rural, zones de villégiature et habitats dispersés) présents dans la zone d'étude.
 - **Élaboration des tracés**
 - Sélectionner les critères de localisation des tracés en tenant compte des caractéristiques de la ligne, du milieu d'insertion et de la structure du territoire.
 - Appliquer systématiquement le critère de localisation « Eloigner le plus possible la ligne des habitations » pour s'assurer du respect de la qualité du cadre de vie dont fait partie l'impact du bruit.
- À ce titre, considérer la distance entre une ligne et le milieu habité établie précédemment comme un des intrants à la localisation des variantes de tracé.

- Évaluation comparative des variantes de tracé
- Comparer les variantes de tracé et identifier le choix du tracé de moindre impact, en précisant, parmi les critères de comparaison, le nombre d'habitations ou de chalets où le bruit ambiant est susceptible d'être plus faible que le bruit de la ligne et où l'on appréhende que la distance établie précédemment ne sera pas respectée.
- Évaluation du climat sonore de la future ligne
- Le long du tracé retenu, évaluer, par simulation ou en utilisant les résultats des calculs effectués, les niveaux de bruit produits par la ligne dans les milieux habités ou dans les quartiers résidentiels actuels et futurs situés à proximité des tracés.
Dans les cas où le bruit ambiant est susceptible d'être plus faible que le bruit de la ligne et où l'on appréhende que la distance établie précédemment ne sera pas respectée, il pourrait s'avérer nécessaire de mesurer le bruit ambiant pour évaluer l'augmentation des niveaux sonores résultant de l'exploitation de la future ligne.
- Expliquer le choix du tracé retenu par rapport à l'ensemble des critères de localisation, y compris ceux qui relèvent du climat sonore.
- Décider — ou, au besoin, convenir avec les gestionnaires du territoire — des mesures à prendre en regard de la problématique du climat sonore en fonction du milieu traversé.

Bruit émis par les postes

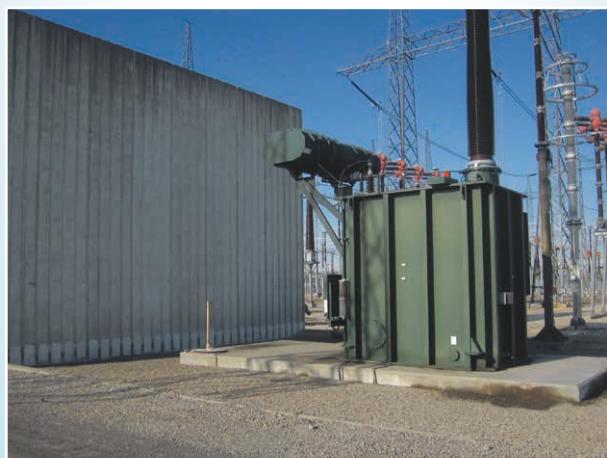
Les principales sources de bruit continu dans les postes électriques sont les transformateurs de puissance. D'autres équipements sont aussi responsables du bruit, mais ne sont pas présents dans tous les postes. Il s'agit entre autres des inductances shunt, des compensateurs synchrones, des compensateurs statiques (inductances et condensateurs), des équipements des postes convertisseurs et des systèmes de refroidissement pour tous ces équipements. Afin de mieux connaître la principale source de bruit des postes, on a effectué des analyses documentaires et des études terrain. Le bruit des transformateurs de puissance provient principalement de deux sources : le noyau et les enroulements. Les systèmes de refroidissement peuvent également contribuer significativement dans certains cas. Le bruit du noyau provient de la magnétostriction. Il s'agit généralement d'un bruit émis à 120 Hz et aux harmoniques. Il est présent dès que le transformateur est mis sous tension. Il varie avec la tension mais pas avec la charge (sauf si cela affecte la prise d'un transformateur à flux variable). Historiquement, c'était la source de bruit dominante sur un transformateur, mais avec l'avènement des transformateurs à bruit réduit, ce n'est plus le cas.



Inductance à noyau d'air au poste de Châteauguay



Inductance à noyau d'air avec enceinte acoustique au poste Chénier



Inductance shunt au poste de Châteauguay

Pour sa part, le bruit produit par les enroulements est associé aux forces électromagnétiques. Il varie avec la charge et est proportionnel au courant à la puissance 4 (12 dB chaque fois que le courant double). En général, ce bruit est constitué essentiellement d'une composante à 120 Hz. Il peut contribuer significativement au bruit des transformateurs pour les équipements à bruit réduit. Les systèmes de refroidissement, particulièrement les ventilateurs, peuvent aussi constituer une source de bruit importante. Toutefois, lorsqu'ils sont bien conçus, ils ne sont pas une source dominante. Finalement, les fréquences de résonance du noyau et de la cuve, si elles sont près des fréquences produites par l'équipement, peuvent occasionner une amplification du bruit. Au moment de la conception des composantes, il faut donc éviter cette situation.

Jusqu'alors, l'évaluation de l'impact sonore des postes de transformation était souvent difficile, voire impossible, au moyen des outils de mesure usuels, soit les sonomètres. En effet, d'une part, le bruit de fond du site influençait les mesures et pouvait même dominer le bruit du poste, empêchant l'évaluation du bruit produit par le poste lui-même. D'autre part, les caractéristiques de rayonnement des transformateurs de puissance créaient d'importantes fluctuations spatiales sur les niveaux de bruit mesurés près des postes. Hydro-Québec a donc développé une nouvelle approche permettant de séparer le bruit d'un poste du bruit ambiant et de tenir compte des particularités des bruits produits par les transformateurs de puissance. Cette approche a fait l'objet de communications scientifiques internationales (Gosselin et coll., 1992 ; Laroche et coll., 1992 ; et Gosselin et coll., 1993). L'évaluation repose sur la réalisation d'analyses spectrales du bruit produit par les postes de manière à isoler les fréquences sonores attribuables à ces derniers. Les postes émettent généralement des bruits à 120 Hz et à ses harmoniques. Il est ainsi possible de calculer la contribution sonore des postes, d'évaluer le niveau de bruit ambiant et de calculer le niveau de bruit résiduel en soustrayant le bruit du poste du bruit ambiant.



Mesure du bruit d'un transformateur de puissance entouré de murs coupe-son en maçonnerie au poste Doc-Grignon



Mesure du bruit d'un transformateur de puissance au poste de Bromptonville

Au moment de la mesure, l'opérateur doit réaliser des moyennes temporelles et spatiales. Ces dernières sont requises pour contrer les phénomènes d'interférences sonores compte tenu des particularités du bruit produit par les équipements des postes. Un système de mesure a donc été développé et validé en laboratoire.

L'évaluation du bruit des transformateurs de puissance est à la base des simulations sonores qu'il faut réaliser pour déterminer l'impact acoustique d'un poste. Hydro-Québec a examiné la méthode d'évaluation normalisée qu'elle utilise pour en connaître les limites et l'améliorer. D'une part, il fallait déterminer le paramètre le plus pertinent à utiliser pour spécifier les caractéristiques acoustiques des transformateurs de puissance ; d'autre part, il fallait évaluer la pertinence d'utiliser la technique émergente de la mesure de l'intensité acoustique pour quantifier cette source de bruit. Il est ressorti qu'il était souhaitable d'utiliser la puissance acoustique plutôt que le niveau de bruit audible traditionnel (pression acoustique) pour spécifier les caractéristiques acoustiques des transformateurs de puissance. Il a également été démontré que la mesure de l'intensité acoustique permettait une évaluation beaucoup plus précise du bruit des transformateurs et, par conséquent, du calcul de la puissance acoustique, et ce, que ce soit en laboratoire ou *in situ*. Des écarts de plusieurs décibels ont été constatés entre les résultats obtenus au moyen de la méthode de mesure traditionnelle de la pression acoustique et la méthode émergente d'évaluation de l'intensité acoustique. Il a donc été recommandé d'utiliser la mesure de l'intensité acoustique et d'évaluer la puissance acoustique des équipements à partir de ces mesures.

Pour mettre en place une nouvelle approche permettant d'améliorer l'évaluation de la puissance acoustique des transformateurs, il fallait établir une méthode d'évaluation à la fois juste et facile d'utilisation. Une étude détaillée a été réalisée en 2008 (Duchassin, 2008 ; Duchassin et coll., 2008b) afin qu'on puisse élaborer la méthode d'évaluation des puissances acoustiques des équipements. Les puissances acoustiques de plusieurs transformateurs et d'une inductance shunt ont été évaluées selon trois méthodes de mesure définies, soit la norme CEI 60076-10 « Transformateurs de puissance – Partie 10 : Détermination des niveaux de bruit, mesurage par points » ; la norme CEI 60076-10, mesurage par balayage ; et la norme ISO 9614-2 : 1996 « Acoustique – Détermination par intensimétrie des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit – Partie 2 : Mesurage par balayage ».

Au terme de cette étude, on est arrivé aux conclusions suivantes :

- Lorsqu'on évalue la puissance acoustique au moyen de mesures de la pression acoustique, les niveaux ont tendance à être surestimés. L'ordre de grandeur des écarts mesurés lors de l'étude est de 3 dBA pour le mode de refroidissement ONAN et de 1,5 dBA pour le mode ONAF.
- Les écarts entre les niveaux de puissance acoustique évalués selon les trois méthodes mentionnées précédemment sont faibles. Pour les deux modes de refroidissement, la moyenne des écarts absolus observés sur les niveaux globaux de puissance acoustique varie entre 0,2 et 1,5 dBA.
- Les relevés réalisés selon la méthode ISO atteignent la classe de précision 2 ou classe Expertise.
- Compte tenu des deux points précédents, la précision de la puissance acoustique évaluée est satisfaisante pour toutes les méthodes de mesure étudiées.
- Les valeurs moyennes de ΔL (écart entre la pression et l'intensité acoustique) sont plus faibles lorsque les mesures sont réalisées en mode ONAF qu'en mode ONAN, et ce, que l'on fasse les mesures à 0,3 m ou à 2 m de la cuve de l'équipement. L'hypothèse expliquant cette différence est que les mesures en mode ONAN sont faites en champ proche (plus réactif), alors qu'en mode ONAF, le champ acoustique est moins réactif. En effet, en mode ONAN, le bruit émis est de type basse fréquence, et la source (cuve du transformateur) est de grande dimension. Par contre, en mode ONAF, le contenu fréquentiel du bruit est de plus haute fréquence (bruit de ventilation), et les sources additionnelles (ventilateurs) sont de petites dimensions.
- La méthode CEI par balayage est la plus facile et la plus rapide à réaliser.

Le choix d'un espacement microphonique de 12 mm ou de 50 mm n'a pas eu d'influence sur l'évaluation de la puissance acoustique.

Les études comparatives des différentes normes ont permis l'élaboration d'une méthode rapide et précise applicable aux mesures *in situ*. Les normes ont été bonifiées par une évaluation de la répétabilité des mesures. De plus, on a ainsi pu bien cerner les facteurs importants à considérer pour obtenir des mesures fiables. À l'usage, on s'est rendu compte qu'il serait important de poursuivre le développement pour qu'on puisse évaluer la directivité acoustique des sources sonores.

■ Bruit impulsif

Hydro-Québec a réalisé un état de la situation concernant les bruits impulsifs même si les plaintes à ce sujet sont très peu fréquentes. L'entreprise a passé en revue les méthodes d'évaluation de la nuisance associée au bruit impulsif dans l'environnement qui sont utilisées ici et ailleurs. Une revue importante de la littérature scientifique des années 1980 et 1990 a aussi été effectuée. L'étude a révélé qu'Hydro-Québec ne disposait pas de beaucoup d'information sur les bruits produits par ses équipements. C'est pourquoi on a pris plusieurs mesures de bruit près de différents types de disjoncteurs récemment dans le but d'obtenir des spectres de puissances acoustiques. Cette démarche permettra à Hydro-Québec de répondre plus adéquatement aux exigences du MDDEP concernant ce type de bruit et de calculer la contribution de ces équipements au bruit produit par les postes.

■ Calcul des niveaux sonores produits par les postes électriques

Pour évaluer l'impact sonore d'un poste de transformation, il faut connaître les caractéristiques acoustiques des équipements qu'il contient et évaluer le bruit produit par l'ensemble de l'installation. Une étude exhaustive, commandée par Hydro-Québec et réalisée par les chercheurs de l'Université de Sherbrooke, a analysé l'influence des effets atmosphériques, des écrans absorbants et des sols mixtes sur la propagation du son émis par les postes électriques.

Influence des effets atmosphériques

Il ressort de cette étude que les effets atmosphériques sont de trois ordres : l'absorption atmosphérique, la turbulence et la réfraction.

L'absorption atmosphérique est un phénomène qui est principalement fonction de la distance parcourue et qui est peu influencé par les conditions météorologiques. Dans le cas de la propagation du son émis par les transformateurs, les atténuations résultantes sont de l'ordre de 0,5 à 2,0 dBA/km suivant le contenu spectral du bruit émis.

La turbulence atmosphérique est un phénomène qui cause des fluctuations rapides et aléatoires des niveaux sonores. Dans des conditions de turbulence, on peut obtenir une valeur représentative du niveau sonore en réalisant une moyenne temporelle des niveaux, par exemple en réalisant une mesure de type niveau équivalent (Leq) sur une période de cinq minutes.

La réfraction atmosphérique est un phénomène qui, sous l'effet de conditions météorologiques particulières, courbe les rayons sonores, ce qui produit

des augmentations ou des diminutions persistantes des niveaux du bruit sur une certaine période de temps. Ainsi, à des distances supérieures à 200 m, en présence de vent portant ou par une nuit claire, la réfraction pourra causer des augmentations de niveaux de près de 10 dBA, alors que par vent contraire ou par une journée ensoleillée, elle causera des diminutions pouvant atteindre 10 dBA ou plus. Par rapport à la turbulence, ces variations de niveaux demeureront généralement quelques heures, c'est-à-dire aussi longtemps que dureront les conditions météorologiques qui les auront créées.

En conséquence, l'étude souligne qu'il est problématique de mesurer l'impact sonore d'un poste à des distances supérieures à 200 m sans tenir compte de la réfraction. Une des solutions proposées pour réduire au minimum les erreurs possibles est d'effectuer les mesures seulement lorsque l'effet de la réfraction est minimal. Cette condition étant difficile à déterminer, une autre solution possible est de mesurer l'impact sonore d'un poste à des distances inférieures à 200 m, puis, à partir de ces valeurs, d'évaluer l'impact sonore à l'endroit désiré à l'aide d'un modèle de propagation approprié.

Influence des sols mixtes

L'analyse de la propagation du son au-dessus d'une surface mixte a montré que, par rapport à la propagation au-dessus d'une surface entièrement rigide, la présence d'herbe ou de neige peut entraîner des réductions appréciables du bruit. La valeur de cette réduction dépendra du contenu fréquentiel du bruit émis ainsi que du pourcentage de surface absorbante par rapport à la surface rigide.

Typiquement, pour un contenu fréquentiel dominant à 125 Hz, à 100 m, une surface herbeuse du côté d'un receveur apportera des réductions de 3 dBA même si cette surface ne représente que 40 % de la surface totale de propagation. Cette réduction pourrait atteindre 10 dBA si le contenu fréquentiel est centré à 500 Hz. L'étude indique donc que là où c'est possible, il est avantageux d'un point de vue acoustique d'aménager des terrains gazonnés autour des postes.

■ Logiciels de simulation de la propagation sonore

Plusieurs logiciels ont été élaborés pour simuler le niveau de bruit d'un poste à l'étape de la conception. Le logiciel MBruit a été développé à l'interne au début des années 1980. Une dizaine d'année plus tard, comme il devenait désuet, on a effectué une évaluation pour déterminer le meilleur outil de calcul à utiliser. On a alors étudié les logiciels ENM, ISOdB et SoundPLAN. La précision, la prise en compte d'algorithmes récents et la facilité d'utilisation ont été considérées.

Pour évaluer la précision des logiciels, Hydro-Québec a d'abord réalisé des campagnes de mesures autour de certains postes et centrales thermiques ainsi que des évaluations de la puissance acoustique des sources de bruit sur ces sites. Par la suite, on a mis les logiciels à l'épreuve en réalisant des simulations sonores et en comparant les valeurs mesurées aux valeurs calculées. Le logiciel SoundPLAN ayant le mieux performé, c'est celui qui est désormais utilisé. Il a également fallu déterminer l'algorithme de calcul à employer ; c'est la méthode ISO 9613-2 qui a été retenue. Cette méthode, issue d'une norme internationale, permet de calculer l'atténuation du son au moment de sa propagation en champ libre afin de prédire le niveau de bruit provenant des sources d'émission sonore à une distance donnée. Le niveau de bruit est prédit dans des conditions météorologiques favorables à la propagation du son à partir des sources d'émission vers les récepteurs. Ces conditions consistent en une propagation par vent portant ou une propagation sous une inversion de température modérée bien développée au niveau du sol, comme cela arrive communément la nuit lorsque le ciel est dégagé. La méthode tient compte de la divergence géométrique, de l'absorption atmosphérique, de l'effet d'un sol dur ou poreux, de la réflexion par des surfaces, de l'effet d'écran des bâtiments et du terrain (topographie) ainsi que d'autres facteurs comme la végétation et les zones bâties.

En 2011, le choix de cet algorithme a été remis en question, car il y a eu de nouveaux développements dans ce domaine. À partir d'une analyse des algorithmes de calcul disponibles effectuée par des chercheurs reconnus internationalement, Hydro-Québec a conclu qu'il était possible d'améliorer davantage ses techniques d'évaluation en choisissant un algorithme de calcul plus polyvalent qui intègre l'algorithme Nord2000 développé récemment en Europe. Bien que l'utilisation des outils de calcul s'en trouverait complexifiée, cette option est présentement en évaluation. L'élaboration d'outils permettant une utilisation appropriée de cet algorithme suivra.

Bruit émis durant les activités de construction

Le bruit des chantiers de construction a également été une préoccupation d'Hydro-Québec et a fait l'objet d'une étude spécifique dans laquelle on a identifié et quantifié les sources de bruit, on a décrit les méthodes de mesure et on a précisée les mesures d'atténuation. On a aussi effectué un balisage de la réglementation et des normes pour rédiger le *Guide relatif à la gestion du bruit émis par les chantiers de construction d'Hydro-Québec* (Gosselin et Consultants B.V.L., 1994). De plus, à partir de relevés sonores réalisés sur les chantiers près des principaux équipements de construction, on a bâti

une base de données des puissances acoustiques des équipements. Avec cette base, on peut réaliser des simulations sonores pour prédire les niveaux de bruit de futurs chantiers de construction. Finalement, on s'est assuré de la justesse de l'approche en effectuant un suivi sur certains chantiers.

■ Effets sur les élevages d'animaux sensibles au bruit

Selon la section « Bruit » de l'Entente Hydro-Québec-UPA, Hydro-Québec a l'obligation de prendre des précautions pour limiter la production de bruits stridents ou soudains dans les milieux qui accueillent des élevages d'animaux potentiellement sensibles au bruit, tels que les volailles, les lapins et les animaux à fourrure. Afin de documenter les effets du bruit sur ces élevages, Hydro-Québec a réalisé une revue de la documentation existante suivie d'une enquête auprès de 26 éleveurs d'animaux sensibles au bruit (Gagné, 1988b et 1989). Les résultats ont révélé que les bruits à caractère soudain ou inhabituel peuvent, en plus de réduire la productivité des élevages, provoquer une réaction de panique chez les animaux et entraîner de nombreux décès par entassement et asphyxie. Il est donc recommandé de bien relever tous les élevages d'animaux sensibles au bruit situés le long d'un chantier, de prendre contact avec les éleveurs et, dans certains cas, de restreindre les activités de construction aux périodes de l'année où les animaux sont absents ou moins sensibles au bruit (voir la synthèse *Milieu agricole*).

Application de mesures d'atténuation

HQT applique diverses mesures afin de réduire l'impact sonore des équipements, de respecter la réglementation et de se conformer aux normes établies.

Mesures d'atténuation applicables aux lignes

La réduction du bruit à la source constitue la principale mesure applicable et se fait principalement au moment de la conception des lignes. Il n'existe pas de norme à Hydro-Québec sur le bruit audible généré par les lignes de transport. Le bruit doit cependant être pris en compte dans les critères de conception. Dans les caractéristiques électriques généralisées des lignes électriques, il est établi que le bruit audible ne doit pas dépasser 55 dBA en bordure de l'emprise quand les conducteurs sont mouillés après une pluie. En général, la largeur minimale de l'emprise pour que le bruit n'excède pas ce critère doit être de 80 m pour une ligne à 735 kV. Pour les tensions de 230 kV et moins, l'application de ce critère n'est généralement pas déterminant et n'affecte pas la largeur de l'emprise. Par contre, à 315 kV et à 735 kV, le respect des exigences relatives au bruit audible est souvent déterminant sur la largeur de l'emprise requise.

La réduction du bruit à la source peut s'obtenir par une ou plusieurs des solutions suivantes :

- espace entre les phases ;
- hauteur moyenne des conducteurs ;
- diamètre des conducteurs ;
- espace entre les conducteurs d'un faisceau ;
- nombre de conducteurs dans un faisceau.

Afin de diminuer significativement le bruit généré par les lignes, il faudrait modifier un ou plusieurs de ces paramètres et, ainsi, concevoir plusieurs nouveaux types de lignes. Toutefois, cela aurait un impact sur d'autres paramètres.

Hydro-Québec a déjà évalué les gains qu'elle pourrait réaliser en matière de réduction de bruit des lignes à 735 kV en modifiant leur conception. Il faudrait par exemple augmenter le nombre de conducteurs par faisceau à six (au lieu des quatre actuels) ou encore doubler la taille des conducteurs actuels, ce qui entraînerait des contraintes majeures d'exploitation et de maintenance pour HQT, en plus d'avoir des conséquences importantes sur le coût des projets et l'impact visuel des lignes puisque la taille des pylônes serait beaucoup plus imposante. Compte tenu des technologies disponibles à l'heure actuelle et considérant que les niveaux sonores produits par ses ouvrages se comparent à ceux produits par les autres compagnies d'électricité, il n'est pas opportun pour l'entreprise de revoir la conception des lignes de transport.

Mesures d'atténuation applicables aux postes

Selon la directive 22 d'Hydro-Québec, les unités responsables de la conception et de l'ingénierie doivent s'assurer du respect des niveaux sonores maximaux dès l'étape de la conception. Des mesures d'atténuation doivent être mises en place, au besoin, afin d'assurer le respect des limites de bruit établies. Les mesures courantes appliquées pour réduire le bruit d'un poste à la source comprennent l'installation d'équipements intégrant une réduction du bruit, comme les transformateurs à bruit réduit, la pose d'écrans permettant d'isoler les équipements (écrans de un à quatre murs ou enceinte acoustique avec toit) ou encore l'utilisation de disjoncteurs de type SF₆, moins bruyants que les disjoncteurs pneumatiques. Les inconvénients liés au bruit peuvent aussi être atténués par l'achat de terrains adjacents aux installations. La directive préconise également la collaboration d'Hydro-Québec à la révision des outils d'urbanisme avec les municipalités et les MRC afin que le zonage des propriétés adjacentes soit compatible avec l'exploitation des équipements.



Mur coupe-son situé autour de certains équipements du déglaçeur au poste de Lévis

■ Réduction à la source

Dès le début des années 1980, Hydro-Québec a défini des niveaux sonores maximaux applicables au moment de l'achat des transformateurs de puissance. Ces niveaux allaient au-delà des exigences standards de l'époque. Avec le temps, l'entreprise a fait l'acquisition d'équipements encore moins bruyants. Par exemple, dans le cas des transformateurs qu'elle achète le plus couramment, les exigences sont jusqu'à 20 dBA inférieures aux normes de l'industrie. De plus, dans certains cas où la réduction au moment de la conception de l'équipement ne permet pas d'atteindre les objectifs de réduction du bruit à la source, des panneaux acoustiques sont fixés à la cuve. La réduction du bruit à la source demeure une priorité à Hydro-Québec.

■ Réduction par les enceintes acoustiques et les écrans acoustiques

Au cours des années 1980, Hydro-Québec a étudié diverses mesures d'atténuation de l'impact sonore des postes électriques. À partir de certaines études, on a développé un éventail de mesures de type écran ou enceinte acoustique pour minimiser l'impact sonore des postes. Les travaux ont aussi permis qu'on analyse en détail les formes et les matériaux des écrans et des enceintes acoustiques afin de mettre en lumière les avantages et les inconvénients de chacun. Au cours des années 2000, Hydro-Québec a collaboré à un projet du Center for Energy Advancement through Technological Innovation (CEATI) ayant pour objectif de faire un balisage des moyens de réduire le bruit. Rien de nouveau n'est ressorti de cette étude. Les solutions traditionnelles, comme les murs coupe-son, sont toujours appliquées.



Murs coupe-son en acier avec panneaux absorbants autour d'un transformateur de puissance au poste de la Montérégie

Les études réalisées par les chercheurs de l'Université de Sherbrooke ont permis d'élaborer un modèle de diffraction acoustique sur les arêtes absorbantes des écrans acoustiques. On a pu alors établir les constats suivants :

- Un revêtement absorbant permet d'augmenter l'atténuation du bruit des écrans acoustiques lorsque les écrans sont proches de la source (p. ex. le transformateur).
- Dans le cas des postes de transformation, il sera généralement avantageux d'utiliser des écrans à parois absorbantes, non seulement parce que les réflexions multiples sur la cuve du transformateur sont réduites au minimum, mais également parce que l'écran étant proche du transformateur, le champ diffracté subit une atténuation supplémentaire. Des mesures *in situ* ont révélé une augmentation de l'efficacité atteignant 3 dBA par rapport à l'utilisation d'écrans rigides.
- Le développement d'arêtes super absorbantes pourrait être envisagé.

Les enceintes acoustiques sont des systèmes de réduction du bruit qui sont utilisés en dernier recours lorsque des atténuations très importantes sont requises. Elles sont très efficaces, mais constituent une contrainte importante pour l'entretien des équipements. De plus, il faut assurer une ventilation adéquate pour éviter la condensation et veiller à ce que les équipements fonctionnent correctement par temps chaud.

Recherche et développement

Hydro-Québec a réalisé des projets de développement pour étudier des écrans acoustiques munis d'un guide d'ondes permettant de réduire le bruit des transformateurs de puissance. Cette nouveauté a

toutefois été implantée dans un nombre très limité de postes (de L'Islet et de la Chaudière) bien qu'il ait été recommandé de poursuivre son développement et d'en évaluer l'efficacité.

D'autres approches ont été regardées. On a étudié la technologie VacDam consistant à appliquer une ou plusieurs plaques d'acier sur la cuve et à créer un vide derrière ces plaques, mais sans succès.

De même, la réduction active du bruit consistant à émettre des ondes déphasées de 180 degrés par rapport aux ondes présentes dans le but de les annuler a fait l'objet de plusieurs études et projets de collaboration avec le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIC) et l'Université de Sherbrooke. Bien qu'une certaine atténuation sonore ait été obtenue lors de projets de démonstration, cette approche ne s'est pas avérée concluante à cause des performances limitées aux plus hautes fréquences et de la difficulté d'application. L'étude du CEATI est également arrivée aux mêmes conclusions.

Hydro-Québec poursuit la vigie pour trouver d'autres avenues de réduction du bruit.

Utilisation du sol

D'autres études ont porté sur l'utilisation des lots entourant un poste. Elles ont fait ressortir l'importance d'effectuer un inventaire détaillé de l'occupation du sol adjacent au poste. L'inventaire devait permettre :

- de documenter le lotissement actuel et prévu pour les terrains avoisinants ;
- de connaître les propriétaires des lots adjacents et leurs intentions ;
- d'analyser les plans de zonage et les tendances du développement urbain.

Les études ont ciblé diverses mesures d'atténuation de l'impact sonore, dont les suivantes :

- faire changer ou modifier le plan de zonage, s'il y a lieu ;
- procéder à l'achat de gré à gré des bâtiments résidentiels touchés, s'ils ne sont pas nombreux, pour les louer ou les revendre par la suite avec une servitude de bruit ;
- insonoriser les logements touchés ;
- évaluer les formes de collaboration qu'Hydro-Québec peut développer avec les municipalités dans la préparation des schémas de développement municipal et du zonage ;
- faire en sorte que les postes susceptibles de déranger le voisinage soient déclarés des contraintes anthropiques.

Contraintes anthropiques

Le développement urbain et les utilisations du sol qui y sont associées, en particulier le développement résidentiel, s'effectuent trop souvent sans tenir compte de la proximité des installations du réseau électrique. Des postes qui étaient autrefois isolés ont été rejoints par le développement résidentiel (c'est notamment le cas du poste de Lévis). Ou encore, des postes situés en zone industrielle avoisinent aujourd'hui des quartiers résidentiels à la suite de modifications de zonage. Il s'ensuit des plaintes des résidents, entre autres en ce qui a trait au bruit. Des améliorations sont alors exigées, ce qui nécessite des investissements importants, voire impossibles à réaliser.



*Poste de Lévis en 1970,
implanté en milieu rural*



*Vue aérienne du poste de Lévis en 2000.
Les résidences se sont multipliées autour du poste.*

Des problèmes de compatibilité d'usage au poste Pierre-Boucher, à Boucherville, et des plaintes (vers 1989) avaient amené l'équipe Environnement à réfléchir à des moyens de protéger les postes du rapprochement des usages sensibles dès le début des années 1990. C'est aussi à ce moment qu'on a constitué une première banque de données environnementales sur les postes. Dans cette optique, Hydro-Québec a démarré, à la fin de la décennie 2000, un programme visant à faire le portrait sonore de ses postes pour en déterminer l'empreinte acoustique.

Les MRC ont le pouvoir d'adopter des dispositions relativement à l'utilisation du sol à proximité des installations pouvant générer des nuisances ou comportant des risques pour la santé ou le bien-être. En effet, la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme* (L.R.Q., c. A-19.1) autorise la MRC non seulement à identifier dans son schéma les immeubles et les activités humaines qui génèrent des contraintes majeures à l'occupation du sol à proximité, mais aussi à prévoir au document complémentaire du schéma des règles minimales en matière de zonage et de lotissement relativement à ces contraintes.

Hydro-Québec a donc avantage à ce que ses postes susceptibles de déranger le voisinage soient considérés comme des contraintes anthropiques par les MRC et que le terrain environnant fasse ainsi l'objet de mesures d'aménagement particulières. La délimitation du territoire visé peut se faire soit en fonction de normes fixes de distance, soit à partir de la source de contrainte ou encore de normes de performance.

Mesures applicables aux activités de construction

Les mesures applicables durant les activités de construction doivent permettre le respect des limites de bruit déterminées par les règlements municipaux, ainsi que d'autres règlements comme le Règlement sur les carrières et sablières et le Règlement sur les centrales de béton bitumineux ou encore les normes

d'acceptabilité du bruit émises par le ministère responsable de l'environnement. Les principales mesures prescrites par la directive 22 d'Hydro-Québec sont l'utilisation de circuits alternatifs pour le camionnage de chantier ainsi que la mise en place d'un horaire adapté au voisinage pour les travaux sur les chantiers et le transport des matériaux.

Suivi et vérification de la conformité

Le suivi de l'ambiance sonore des lignes et des postes implantés par HQT constitue un engagement de l'entreprise, lequel est consigné dans ses rapports d'avant-projet. Le suivi peut aussi découler d'un décret du gouvernement qui en spécifie alors la teneur et le calendrier. Le suivi est une vérification de la conformité de l'ambiance sonore générée par les équipements en regard des normes et des règlements en vigueur.

Suivi de l'ambiance sonore des lignes

Un suivi de l'ambiance sonore de la ligne à 735 kV des Cantons-Hertel a été réalisé. Des emplacements de mesures ont été définis et, pour chacun des points et des conditions météorologiques, on a relevé le bruit ambiant ainsi que les conditions météorologiques à intervalles de cinq minutes. À l'aide d'une station météorologique portative, on a mesuré la température moyenne, la direction et la vitesse moyenne du vent, la quantité totale de pluie ou de neige, la pression atmosphérique, la couverture nuageuse, l'état du pavé, le nombre de véhicules circulant sur la route ainsi que tout autre événement sonore ayant un effet sur le relevé.

Quatre sites de mesure ont été retenus le long de la ligne. Le critère déterminant pour le choix des sites était que le niveau sonore ambiant y soit faible. On voulait s'assurer que le bruit de la ligne soit audible aux points de mesure. Les relevés ont été effectués à la limite de l'emprise de la ligne, soit à 40 m du centre de la ligne et à mi-portée entre deux pylônes, là où les conducteurs sont le plus bas. Tous les sites ont été inventoriés avant et après la mise en service de la ligne. Les résultats de ce suivi exhaustif ont été présentés à la section Résultats – Sources de bruit et techniques de mesure et de calcul – Bruit émis par les lignes. Ils corroborent les prévisions des niveaux sonores ainsi que les constats faits lors des études précédentes. Ils donnent également plus d'information sur le type de bruit généré.

Suivi de l'ambiance sonore des postes

La norme TET-ENV-N-CONT001 de HQT intitulée Bruit audible généré par les postes électriques demande que des relevés sonores soient réalisés après la construction d'un nouveau poste ou après des modifications pouvant avoir un impact sur le bruit dans un poste existant. Ce suivi porte sur le bruit continu du poste causé principalement par les transformateurs de puissance et les inductances shunt.

Pour réaliser le suivi de l'ambiance sonore, on évalue la puissance acoustique de chacun des équipements ainsi que les niveaux sonores perçus autour du poste, dans les zones habitées les plus proches. Pour ce faire,

on effectue des relevés diurnes et nocturnes. Les niveaux sonores mesurés à l'occasion des suivis sont généralement inférieurs à ceux anticipés dans les rapports d'avant-projet et inférieurs aux exigences de la norme de HQT, qui est de 40 dBA la nuit en zone habitée.

Prenons l'exemple de trois suivis : celui fait dans le cadre du projet de construction du nouveau poste de la Montérégie, celui concernant la réduction du bruit des compensateurs synchrones du poste de Lévis et celui réalisé dans le cadre de l'implantation du nouveau poste convertisseur de l'Outaouais.

Dans le cas du poste de la Montérégie, le suivi du climat sonore portait sur le bruit continu émis par les transformateurs de puissance et les inductances shunt du poste ainsi que sur le bruit émis au moment de l'ouverture et de la fermeture des disjoncteurs au SF₆.

Pour l'évaluation du bruit continu, les relevés sonores ont été réalisés dans les zones habitées les plus près du poste. Les résultats ont montré que les niveaux mesurés étaient du même ordre de grandeur que ceux anticipés, à l'exception des niveaux en un point, dont le niveau mesuré était de 7 dBA inférieur au niveau anticipé. Tous les niveaux mesurés en milieu habité étaient conformes aux exigences. En effet, ils étaient nettement inférieurs à 40 dBA (de l'ordre de 25 dBA).

Le suivi acoustique du bruit émis au moment de l'ouverture et de la fermeture des disjoncteurs avait pour but d'évaluer la nuisance sonore pour les riverains de la manœuvre de chacun des cinq types de disjoncteurs au SF₆ présents dans le poste. Les relevés sonores ont été réalisés en bordure de la zone habitée la plus près du poste et sur le chemin d'accès au poste (point intermédiaire entre le poste et les riverains). Parallèlement, des relevés étaient faits dans le poste, à 30 m du disjoncteur à l'essai (chacun des types de disjoncteur a fait l'objet d'essais). Les constats suivants ont été dressés :

- Aux résidences les plus près du poste, l'ouverture ou la fermeture des disjoncteurs était inaudible ou faiblement audible (niveau non mesurable car trop faible).
- Les niveaux sonores mesurés dans le poste, à 30 m des disjoncteurs, variaient entre 74,9 et 91,1 dBA. Ils étaient fonction du type de disjoncteur et de la manœuvre réalisée.

Les manœuvres des disjoncteurs du poste de la Montérégie ne constituaient donc pas une source de nuisance pour les riverains, ceux-ci produisant des bruits de très courte durée (fraction de seconde) qui ne sont pas ou que peu audibles depuis les résidences les plus près.

En 2008 et 2009, des enceintes acoustiques (bâtiments entièrement fermés) ont été érigées sur chacun des deux compensateurs synchrones du poste de Lévis. Hydro-Québec a réalisé un suivi dans le but de connaître la performance acoustique de ces enceintes et de s'assurer du respect des exigences qui avaient été spécifiées au fournisseur des enceintes. On a réalisé les mesures d'intensité acoustiques autour des enceintes en utilisant la méthode définie par la norme internationale ISO 9614-2:1996 afin de déterminer le niveau de puissance acoustique et de le comparer avec les mesures qui avaient été réalisées avant la mise en place des enceintes. Les mesures ont également permis l'évaluation des niveaux de puissance acoustique des différents éléments de l'enceinte, c'est-à-dire les systèmes d'entrée d'air, les sorties d'air et l'enveloppe (toit et côtés) de l'enceinte. On a aussi pu relever certaines lacunes ayant un effet sur la performance acoustique des enceintes, en particulier les fuites associées aux ventilateurs d'entrée d'air des enceintes. Pour atteindre la conformité, on a corrigé ces lacunes puis fait une nouvelle évaluation. Après correction, les performances acoustiques de chacune des enceintes ont été évaluées à 19 et 21 dBA pour le niveau global et à 17 et 24 dBA pour la bande de tiers d'octave de 125 Hz. Les exigences d'Hydro-Québec quant à la performance des enceintes correspondaient à une réduction de 20 dBA du niveau global de la puissance acoustique et à une réduction de 13 dBA du niveau de la bande de tiers d'octave de 125 Hz. Les enceintes ont été considérées conformes. La valeur mesurée de 19 dBA (vs 20 dBA exigée) a été acceptée compte tenu de l'incertitude de mesure.

Finalement, le nouveau poste de l'Outaouais construit à la fin de la décennie 2000 a fait l'objet d'un suivi acoustique exhaustif. Ce poste convertisseur était soumis à des exigences acoustiques sévères, et le défi pour le fournisseur de cette installation était grand. Deux suivis ont été réalisés en 2009 et en 2010. Le premier a permis d'évaluer les niveaux sonores autour du poste pour différentes conditions d'exploitation, et le second a permis de mesurer le bruit lorsque le transit était maximal.

En 2009, les relevés de bruit ont été effectués aux limites de la propriété d'Hydro-Québec à huit points récepteurs alors que la puissance transmise maximale avait atteint 1 100 MW. Les niveaux sonores mesurés étaient conformes aux exigences applicables. Les relevés additionnels réalisés en 2010 aux deux points récepteurs les plus critiques ont été faits lorsque la puissance transmise du poste atteignait 1 250 MW, puissance maximale de l'installation. L'analyse des niveaux de bruit mesurés a montré que les niveaux de bruit du poste étaient inférieurs aux exigences applicables, à savoir un niveau sonore émis par le poste inférieur à 40 dBA.

Le suivi a donc démontré que le bruit émis par le poste convertisseur de l'Outaouais était conforme aux exigences applicables.

Résumé

Le tableau 7 résume les données relatives aux lignes et aux postes qui ont été présentées dans le présent document.

Tableau 7 : Résumé des observations relatives au bruit émis par les postes et les lignes électriques

	Bruit des postes	Bruit des lignes
Critères	Voir le tableau 4	Pas de norme spécifique, mais prescriptions dans les caractéristiques électriques générales normalisées des lignes électriques, révisées en 1995.
Sources	<ul style="list-style-type: none"> • Transformateurs (bruit continu) • Ventilateurs (bruit généralement inférieur à celui des transformateurs) • Inductances shunt • Disjoncteurs pneumatiques, à l'huile, au SF₆ (bruit impulsif) • Autres sources particulières dans certains postes spéciaux comme les postes convertisseurs ou les postes de compensation 	<ul style="list-style-type: none"> • Effet couronne sur les conducteurs (bourdonnement et crépitement) • Équipements défectueux (p. ex. anneaux pare-effluves) • Vent dans les structures (source de bruit marginale et corrigible)

Tableau 7 : Résumé des observations relatives au bruit émis par les postes et les lignes électriques (suite)

	Bruit des postes	Bruit des lignes
Spectres de fréquences	<ul style="list-style-type: none"> Les transformateurs produisent un son continu dont l'énergie acoustique est concentrée en basses fréquences et est constituée généralement de composantes tonales à 120 Hz et aux harmoniques. Les manœuvres des disjoncteurs produisent une variation rapide de pression atmosphérique. Il en résulte un son de nature impulsif. Le son produit couvre une large partie du spectre de fréquences et présente de l'énergie sonore significative en hautes fréquences. 	<p>Large spectre contenant des basses et des hautes fréquences.</p> <ul style="list-style-type: none"> Lignes à courant alternatif : une composante tonale à 120 Hz et à 240 Hz, décrite comme un bourdonnement continu ; se superpose au bruit à large spectre. Lignes à courant continu : la composante tonale n'apparaît pas puisqu'il y a absence de l'effet de modulation de tension et le bruit est plus faible.
Niveaux de pression sonore	<ul style="list-style-type: none"> Le niveau de bruit continu, surtout généré par les transformateurs, est dicté par les critères de bruit (voir le tableau 4). Le niveau de bruit généré par les manœuvres des disjoncteurs est beaucoup plus important. Toutefois, les disjoncteurs ne sont généralement pas manœuvrés fréquemment, et le bruit émis ne dure que quelques millisecondes. De plus, les nouveaux disjoncteurs de type SF₆ utilisés par Hydro-Québec sont beaucoup moins bruyants que les disjoncteurs pneumatiques. 	<ul style="list-style-type: none"> Lignes à 735 kV : entre 20 et 40 dBA lorsque les conducteurs sont secs et jusqu'à 55 dBA lorsqu'ils sont saturés d'eau. Lignes à 315 kV : entre 20 et 30 dBA lorsque les conducteurs sont secs et jusqu'à 50 dBA lorsqu'ils sont saturés d'eau.
Influence des conditions météorologiques sur l'intensité du bruit	<p>L'influence des conditions météorologiques sur le niveau du bruit des postes à la source est négligeable. Les conditions météorologiques ont toutefois une importance significative sur la propagation sonore à grande distance (>200 m).</p>	<ul style="list-style-type: none"> Lignes à courant alternatif : l'humidité et les précipitations (pluie, brouillard, neige mouillée et verglas) contribuent à augmenter de 15 à 20 dBA le niveau de bruit. Les conditions humides sont présentes environ 20 % du temps (en heures) au cours d'une année dans la région de Montréal. Une pluie intense ou des vents forts peuvent masquer l'effet couronne. Lignes à courant continu : le niveau de bruit diminue lorsque les conducteurs sont mouillés (environ 6 dBA moins élevé). Les niveaux sont plus faibles que pour les lignes à courant alternatif.
Facteurs influençant la propagation sonore	<ul style="list-style-type: none"> Dispersion géométrique Absorption atmosphérique Nature du sol Réfraction Présence d'obstacles 	<ul style="list-style-type: none"> Dispersion géométrique Absorption atmosphérique Nature du sol Réfraction Présence d'obstacles

Tableau 7 : Résumé des observations relatives au bruit émis par les postes et les lignes électriques (suite)

	Bruit des postes	Bruit des lignes
Mesures d'atténuation possibles	<p>Quelques solutions courantes de réduction du bruit :</p> <ul style="list-style-type: none"> • équipements intégrant une réduction du bruit, comme les transformateurs à bruit réduit ; • écrans (de un à quatre murs) ou enceintes acoustiques permettant d'isoler les équipements ; • disjoncteurs de type SF₆, moins bruyants que les disjoncteurs pneumatiques. <p>Solution moins efficace de réduction du bruit :</p> <ul style="list-style-type: none"> • écrans acoustiques de ceinture autour des postes. 	<p>Réduction du bruit à la source (se fait principalement au moment de la conception des lignes) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il n'est pas envisagé de réduire davantage le bruit des lignes.
Préoccupations relatives au bruit	Les préoccupations relatives au bruit des postes dépendent du différentiel entre le bruit des équipements et le bruit ambiant.	Le bruit n'est pas un facteur qui est spontanément associé aux lignes et n'est pas souvent identifié comme source de nuisance. C'est surtout la présence de la ligne avec l'ensemble de ses effets qui est ressentie.
Impact sur la qualité de vie	<p>Les niveaux sonores générés par les postes ne peuvent pas occasionner de troubles cliniques ni d'audition ; ces derniers ne sont possibles qu'après des périodes d'exposition répétées d'au moins huit heures à 80 dBA ou plus, sur plusieurs années.</p> <p>Le bruit des postes peut néanmoins créer une certaine gêne, en particulier sur le plan du sommeil, et aussi devenir une source de stress chez certains individus.</p>	<p>La documentation actuelle ne permet pas de conclure à un effet significatif du bruit des lignes de transport sur la santé et les activités et comportements des résidents riverains, bien qu'il puisse occasionner une gêne chez certains individus.</p>
Qualification de l'impact acoustique	<p>À la limite du périmètre des postes, lorsque les normes de bruit sont respectées et que le niveau de bruit ambiant est très bas, l'impact du bruit des postes est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • mineur dans les espaces résidentiels, les espaces communautaires, les espaces agricoles, les espaces de villégiature ainsi que dans les parcs naturels et les zones protégées ; • de mineur à nul dans les espaces commerciaux et les espaces industriels. 	<p>À la limite des emprises et lorsque le niveau de bruit ambiant est très bas, l'impact du bruit des lignes est :</p> <ul style="list-style-type: none"> • mineur par temps sec ainsi que moyen par temps humide dans les espaces communautaires et les espaces de villégiature ; • de mineur à nul dans les espaces résidentiels et les espaces agricoles, ainsi que dans les parcs naturels et les zones protégées ; • de mineur à nul dans les espaces commerciaux et les espaces industriels.

Sources : Données (André et coll., 2002a et 2002b) ; démarche de qualification de l'impact acoustique (basée sur Hydro-Québec, 1990a et détaillée dans André et Gagné, 2002).

LES ENSEIGNEMENTS

À RETENIR

- Le bruit émis par les lignes électriques à haute tension à courant alternatif a peu ou pas d'influence sur le bruit ambiant par temps sec. Par contre, en cas de pluie ou de neige, l'impact du bruit d'une ligne à 735 kV peut être significatif si le bruit ambiant résiduel est faible. Le bruit d'une ligne à 315 kV aussi peut être significatif dans ces conditions, mais l'utilisation de conducteurs à double faisceau peut atténuer cet effet.
- Les niveaux produits à la limite de l'emprise de 80 m d'une ligne à 735 kV sont de l'ordre de 53 dBA en conditions de pluie et de l'ordre de 48 dBA en conditions de neige.
- Environ 40 minutes après l'arrêt des précipitations, le niveau de bruit descend sous les 40 dBA à la limite de l'emprise d'une ligne à 735 kV.
- Le bruit émis par les lignes électriques est caractérisé par un bourdonnement (120 et 240 Hz) et un crissement (de 500 Hz à 10 kHz). Toutefois, même si le bourdonnement se produit à des fréquences singulières, il n'a pas un caractère tonal selon la note d'instructions 98-01 du MDDEP.
- Le bruit produit par une ligne électrique a tendance à diminuer au cours des trois premières années.
- Les niveaux sonores produits par une ligne à courant alternatif peuvent être calculés (prédicts) correctement au moyen d'un logiciel courant. Par contre, il faut valider l'outil utilisé, car certaines anomalies ont été observées avec le logiciel vbCEMEC.
- Le bruit des lignes à courant continu est produit essentiellement par le pôle positif et varie très peu avec les conditions climatiques. Les niveaux sont relativement faibles. Par exemple, il est de 34 dBA en bordure d'emprise pour une ligne à ± 450 kV.
- À la limite des emprises et lorsque le niveau de bruit ambiant est très bas, l'impact du bruit des lignes est :
 - mineur par temps sec ainsi que moyen par temps humide dans les espaces communautaires et les espaces de villégiature ;
 - de mineur à nul dans les espaces résidentiels et les espaces agricoles, ainsi que dans les parcs naturels et les zones protégées ;
 - de mineur à nul dans les espaces commerciaux et les espaces industriels.
- À la limite du périmètre des postes, lorsque les normes de bruit sont respectées et que le niveau de bruit ambiant est très bas, l'impact du bruit des postes est :
 - mineur dans les espaces résidentiels, les espaces communautaires, les espaces agricoles, les espaces de villégiature ainsi que dans les parcs naturels et les zones protégées ;
 - de mineur à nul dans les espaces commerciaux et les espaces industriels.
- L'analyse spectrale est essentielle pour la mesure du bruit des postes. Elle permet de séparer le bruit des postes du bruit de fond.
- Il faut utiliser la mesure de l'intensité acoustique au lieu de la mesure de la pression acoustique pour évaluer les puissances acoustiques des équipements, que l'on soit en usine ou sur les sites.
- Il faut spécifier les puissances acoustiques au lieu des pressions acoustiques au moment de l'achat d'équipements.

LES ENSEIGNEMENTS

À RETENIR (suite)

- Il est suggéré d'aménager des terrains gazonnés ou végétalisés au pourtour des postes pour conserver ou créer un sol poreux, ce qui se traduit par un meilleur effet de sol et par conséquent une atténuation des niveaux sonores.
- Il faut continuer la vigie concernant les outils de calcul de bruit des postes.
- Il faut continuer à valider le modèle de simulation sonore en comparant les niveaux mesurés aux niveaux prédits au moment des études de bruit.
- Les principales sources de bruit continu dans les postes électriques sont les transformateurs de puissance. D'autres équipements sont aussi responsables du bruit, mais ne sont pas présents dans tous les postes. Il s'agit entre autres des inductances shunt, des compensateurs synchrones, des compensateurs statiques (inductances et condensateurs), des équipements des postes convertisseurs et des systèmes de refroidissement pour tous ces équipements.
- Le bruit des transformateurs de puissance provient principalement de deux sources : le noyau et les enroulements. Les systèmes de refroidissement peuvent également contribuer significativement dans certains cas.
- Le bruit du noyau provient de la magnétostriction. Il s'agit généralement d'un bruit émis à 120 Hz et aux harmoniques. Il est présent dès que le transformateur est mis sous tension. Il varie avec la tension mais pas avec la charge. Historiquement, c'était la source de bruit dominante d'un transformateur, mais avec l'avènement des transformateurs à bruit réduit, ce n'est plus le cas.
- Le bruit produit par les enroulements varie avec la charge. En général, il est constitué essentiellement d'une composante à 120 Hz. Il peut contribuer significativement au bruit des transformateurs pour les équipements à bruit réduit.
- Les systèmes de refroidissement, particulièrement les ventilateurs, peuvent aussi constituer une source de bruit importante. Toutefois, lorsqu'ils sont bien conçus, ils ne sont pas une source dominante.
- Les fréquences de résonance du noyau et de la cuve, si elles sont près des fréquences produites par l'équipement, peuvent occasionner une amplification du bruit. Au moment de la conception des composantes, il faut donc éviter cette situation.
- En obtenant que les postes soient considérés comme des contraintes anthropiques, on peut faire en sorte que les lotissements résidentiels ne s'en approchent pas trop.

À ÉVITER

- Utiliser des conducteurs monofaisceaux pour les lignes à 315 kV en milieu urbain.
- Utiliser un logiciel de calcul qui n'a pas été validé.

LES ENSEIGNEMENTS

À POURSUIVRE

- Valider le nouvel outil de calcul du bruit des lignes EnviroPlus de SES Software.
- Développer une méthode d'évaluation du bruit des lignes basée sur le calcul de la puissance acoustique utilisant EnviroPlus et sur le calcul des niveaux sonores au moyen de SoundPLAN.
- Réaliser des études de bruit de lignes pour les nouvelles lignes à 735 kV et à 315 kV pour répondre aux exigences du MDDEP.
- Réaliser des études de bruit pour tous les projets de poste, y compris les projets modifiant les postes existants, dans le but de s'assurer de leur conformité et d'obtenir leur empreinte acoustique.
- Maintenir à jour l'approche permettant de séparer le bruit produit par les postes du bruit de fond.
- Poursuivre le développement permettant de réaliser des évaluations sur de longues périodes, sans opérateurs.
- Développer une méthode permettant d'évaluer la directivité acoustique des sources sonores en utilisant la mesure de l'intensité acoustique.
- Évaluer la possibilité d'utiliser l'algorithme Nord2000 pour les simulations sonores avec SoundPLAN et développer les outils facilitant son usage.
- Mettre à jour les données de puissances acoustiques des équipements.
- Spécifier des niveaux sonores maximaux au moment de l'acquisition des équipements.
- Documenter le bruit des signaux avertisseurs utilisés dans les postes.
- Établir les spectres de puissances acoustiques des différents types de disjoncteurs.
- Poursuivre l'évaluation de l'empreinte acoustique des postes.
- Continuer à exiger des fournisseurs de transformateurs la réduction du bruit à la source.
- Continuer la vigie concernant la réduction du bruit des transformateurs et des postes.
- Développer un encadrement précisant les exigences applicables aux systèmes de réduction du bruit pour les uniformiser et en assurer l'efficacité.
- Accentuer la vigilance de la part des équipes de relations avec le milieu pour empêcher des changements de zonage compromettant l'exploitation des postes et obtenir qu'ils soient désignés comme contraintes anthropiques.
- Poursuivre l'étude de balisage portant sur les normes de bruit nationales et internationales en vigueur.

Vocabulaire

Les définitions qui suivent sont inspirées des documents suivants : *Vocabulaire illustré des lignes aériennes de transport et de distribution d'électricité* – Fascicules 1 et 2 (Hydro-Québec, 1982 et 1983b) ; *Vocabulaire des interconnexions* (Hydro-Québec, 1990b) ; *Étude sur les bruits audibles des transformateurs de puissance et leur atténuation* (Hydro-Québec, 1981).

Absorption du son : Dissipation de l'onde incidente sonore sur une surface.

Anneau pare-effluve(s) : Pièce de garde en forme d'anneau installée à proximité d'un conducteur ou d'une pièce de quincaillerie sous tension pour réduire le champ électrique à sa surface.

Bruit de fond ou L_{AF95} : Niveau de bruit, en dBA, atteint ou dépassé pendant 95 % du temps. Ce paramètre est souvent utilisé pour représenter le bruit de fond.

Bruit impulsif ou bruit impulsionnel : bruit caractérisé par de brefs relèvements de la pression acoustique. Par exemple, le bruit produit par l'ouverture ou la fermeture d'un disjoncteur.

Conducteur : Un conducteur est constitué de plusieurs torons enroulés en hélice sans isolation entre eux, en une ou plusieurs couches. Il a pour rôle spécifique de transporter le courant.

Contrainte anthropique : Les contraintes de nature anthropique visent la gamme d'immeubles, d'ouvrages et d'activités qui résultent de l'intervention humaine et qui sont susceptibles, dans certaines circonstances, de mettre en péril la santé, la sécurité et le bien-être des personnes et de causer des dommages importants aux biens situés à proximité. Les autorités locales et régionales peuvent désigner les contraintes de nature anthropique et régir cette occupation du sol comme il convient. Certains schémas d'aménagement et de développement des MRC désignent les postes électriques comme des contraintes anthropiques parce qu'ils occasionnent des nuisances tels le bruit ou un éclairage éblouissant.

Courant alternatif : Courant électrique dont la polarité et l'intensité instantanée varient de façon périodique et dont l'intensité moyenne est nulle.

Courant continu : Courant électrique d'une intensité donnée, ayant toujours la même polarité, aussi appelé courant unidirectionnel.

Décibel ou dB : Unité permettant d'estimer un niveau sonore. Le décibel est le dixième du bel (B). Le bel est le logarithme d'un rapport dont le numérateur représente une grandeur physique relative à la source de bruit et le dénominateur, une valeur fixe de référence comme la puissance, la pression ou l'intensité acoustique.

Décibel A ou dBA : Pour que les mesures physiques puissent simuler la sensation subjective, on essaie d'altérer le signal mesuré d'une manière similaire au mécanisme auditif humain. On arrive ainsi à modéliser la courbe de réponse du sonomètre de façon à le rapprocher de celle de l'oreille.

Déglaceur : Groupe d'équipements servant à convertir le courant alternatif en courant continu et à l'injecter sur une ou plusieurs lignes de transport pour faire fondre la glace en période de verglas.

Écran acoustique : Mur utilisé pour réduire le bruit d'un équipement. L'écran peut avoir de une à quatre faces (généralement trois), mais il n'a pas de toit.

Effet couronne : Phénomène d'ionisation produit par le champ électrique intense qui règne autour des conducteurs d'une ligne à haute tension. Ce phénomène produit de l'ozone et, souvent, un bourdonnement et un crépitement caractéristique.

Enceinte acoustique : Système de réduction du bruit entourant complètement l'équipement (quatre murs et un toit).

Entretoise : Dispositif qui maintient les conducteurs d'un faisceau à un espacement constant entre eux.

Faisceau (de conducteurs) : Ensemble de conducteurs connectés en parallèle et maintenus à un espacement constant entre eux par des entretoises.

Fréquence : Nombre de vibrations par seconde d'une source sonore. Elle s'exprime en hertz ou cycles par seconde. Pratiquement, elle caractérise la hauteur du son perçue par l'oreille. Plus le nombre de cycles par seconde est grand, plus la tonalité du son est haute.

Hertz ou Hz : Unité du système international servant à la mesure de la fréquence d'un mouvement vibratoire comportant un certain nombre d'oscillations par seconde.

Magnétostiction : Déformation que subissent les matériaux ferromagnétiques sous l'effet d'un champ magnétique.

Niveau sonore : Mesure de la pression acoustique obtenue au moyen du sonomètre.

Onde : Déformation, ébranlement, dont la propagation dans un milieu est telle que pour chaque point de ce milieu, la quantité servant de mesure pour cette déformation est une fonction du temps ou de l'espace. Autrement dit, c'est une déformation entretenue dans le temps et périodique.

Phase : Conducteur d'une ligne en courant alternatif qui porte une des phases d'un courant triphasé.

Son : Perturbation mécanique (vibration) du milieu ambiant élastique perçue par l'homme au moyen de l'oreille. Ce milieu peut-être soit l'air, les matériaux de construction ou le sol même. C'est donc une sensation auditive engendrée par des ondes acoustiques dont les fréquences se situent environ entre 16 et 20 000 hertz ou cycles par seconde. La production d'un son consiste à créer une telle perturbation par la mise en oscillation d'un système produisant des vibrations auditives.

Spectre sonore : Représentation graphique d'un phénomène sonore avec en abscisse, les fréquences, et en ordonnée, les niveaux de pression, d'intensité ou de puissance correspondante. Il facilite grandement l'analyse détaillée du son.

Vibration : En physique, ce terme désigne le mouvement de va-et-vient d'un point matériel déplacé de sa position d'équilibre et qui y est ramené par l'effet de certaines forces. C'est, par conséquent, l'oscillation d'un système autour de sa position d'équilibre.

Bibliographie

Études et documents d'Hydro-Québec

- AMRAM, M. 1993. *Mesure et analyse du bruit des transformateurs avec leur protection acoustique au poste L'Islet.* Rapport final. Préparé par le Centre de développement technologique de l'École Polytechnique de Montréal pour Hydro-Québec. 7 p.
- AMRAM, M. 1989. *Design et fourniture d'un nouveau système (Guide d'ondes) de contrôle du bruit de transformateurs pour le poste Chaudière d'Hydro-Québec.* Préparé par le Centre de développement technologique de l'École Polytechnique de Montréal pour Hydro-Québec. 15 p.
- ANDRÉ, P., et J.P. GAGNÉ. 2002. *Le bruit émis par les lignes et les postes électriques : analyse documentaire et qualification des impacts en regard de la qualité de vie des riverains. Projet de recherche et de développement.* Préparé par le Département de géographie et l'École d'orthophonie et d'audiologie de l'Université de Montréal pour Hydro-Québec TransÉnergie. 151 p.
- ANDRÉ, P., M. BERTHELOT, T. LEROUX et J.P. GAGNÉ. 2002a. *Le bruit émis par les lignes électriques. Document d'information.* Préparé par le Département de géographie et l'École d'orthophonie et d'audiologie de l'Université de Montréal pour Hydro-Québec TransÉnergie. 21 p.
- ANDRÉ, P., M. BERTHELOT, T. LEROUX et J.P. GAGNÉ. 2002b. *Le bruit émis par les postes électriques. Document d'information.* Préparé par le Département de géographie et l'École d'orthophonie et d'audiologie de l'Université de Montréal pour Hydro-Québec TransÉnergie. 17 p.
- ARCHAMBAULT, C. 1985. *Bilan de 10 années d'études à la direction Environnement d'Hydro-Québec. Section 3.4 – La réduction du bruit.* Comité consultatif en environnement. Document n° CCE – RS – 117. Hydro-Québec. p. 244-249.
- BERRY, A., F. CHARRETTE, P. MICHEAU et P. MASSON. 1996a. *Projet contrôle actif du bruit des transformateurs. Approche vibratoire, étude exploratoire. Rapport 1.* Préparé par le Groupe d'acoustique et vibrations de l'Université de Sherbrooke pour Hydro-Québec. 35 p.
- BERRY, A., P. MICHEAU et P. MASSON. 1996b. *Projet contrôle actif du bruit des transformateurs. Approche vibratoire, étude exploratoire. Rapport 2.* Préparé par le Groupe d'acoustique et vibrations de l'Université de Sherbrooke pour Hydro-Québec. 35 p.
- CAMARATA, A. 1983. *Guide d'analyse et d'intervention des postes existants à l'intention des responsables de l'exploitation.* Montréal. Hydro-Québec. 70 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.
- CENTRE D'EXPERTISE ACOUSTIQUE BGL. 1993a. *Validation de la procédure d'évaluation de la puissance acoustique émise par les transformateurs et les inductances. Validation n° 2 : poste Du Tremblay.* Préparé pour Hydro-Québec. 31 p. et ann.
- CENTRE D'EXPERTISE ACOUSTIQUE BGL. 1993b. *Validation de la procédure d'évaluation de la puissance acoustique émise par les transformateurs et les inductances. Validation n° 3 : poste Brossard.* Préparé pour Hydro-Québec. 31 p. et ann.
- CENTRE D'EXPERTISE ACOUSTIQUE BGL. 1993c. *Validation de la procédure d'évaluation de la puissance acoustique émise par les transformateurs et les inductances. Validation n° 4 : poste Brossard.* Préparé pour Hydro-Québec. 31 p. et ann.
- CENTRE DE RECHERCHES EN AMÉNAGEMENT ET EN DÉVELOPPEMENT (CRAD). 1985. *Mesure et analyse de la propagation acoustique à grande distance.* Préparé pour Hydro-Québec. 49 p.
- CENTRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE DU QUÉBEC (CRIC). 1996. *Contrôle actif du bruit des transformateurs.* Préparé pour Hydro-Québec. 18 p. et ann.
- CENTRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE DU QUÉBEC (CRIC). 1994. *Atténuation active du bruit d'un transformateur. Étape 4 : Installation et essais du préprototype.* Préparé pour Hydro-Québec. 34 p. et ann.

- CENTRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE DU QUÉBEC (CRIC). 1993a. *Atténuation active du bruit d'un transformateur. Étape 2 : évaluation des possibilités d'application*. Préparé pour Hydro-Québec. 37 p. et ann.
- CENTRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE DU QUÉBEC (CRIC). 1993b. *Atténuation active du bruit d'un transformateur. Étape 3 : essais en laboratoire*. Préparé pour Hydro-Québec. 54 p. et ann.
- CHAMPOUX, Y., B. GOSSELIN et J. NICOLAS. 1988. « Application of the Intensity Technique to the Characterization of Transformer Noise ». *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 3, n° 4, octobre 1988, p. 1802-1808.
- COUTURE, A., et C. CHAMBERLAND. 2004. *Étude de bruit. Suivi des niveaux sonores du poste de la Montérégie. Rapport final*. Préparé par SNC-Lavalin Environnement pour Hydro-Québec. 5 p. et ann.
- DAIGLE, G. A., et M. R. STINSON. 2011. *Évaluation des méthodes de simulations sonores*. Préparé par MG Acoustics pour Hydro-Québec. 45 p. et ann.
- DALLAIRE, RD., P. MARUVADA, P. SARMA et N. RIVEST. 1983a. « HVDC Monopolar and Bipolar Cage Studiers and the Corona Performance of Conductor Bundles ». *IEEE/PES Summer Meeting*. Montréal. IREQ, Hydro-Québec. 7 p.
- DALLAIRE, RD., P. MARUVADA, P. SARMA, N. RIVEST et J. GEOFFRION. 1983b. *Étude sur l'effet sur l'environnement d'une ligne à courant continu de + ou - 450 kV. Rapport d'étape n° 1 : Effet de la hauteur de la ligne*. Montréal. IREQ, Hydro-Québec. 65 p.
- DUCHASSIN, F. 2008. *Mesure de pression et d'intensité acoustiques autour de transformateurs de puissance. Étude de bruit*. Préparé par SNC-Lavalin Environnement pour Hydro-Québec TransÉnergie. 18 p. et ann.
- DUCHASSIN, F., et C. CHAMBERLAND. 2010. *Poste de l'Outaouais. Évaluation de l'ambiance sonore autour du poste après la mise en service lorsque le transit est maximal*. Préparé par SNC-Lavalin Environnement pour Hydro-Québec TransÉnergie. 9 p. et ann.
- DUCHASSIN, F., et C. CHAMBERLAND. 2009. *Poste de l'Outaouais. Évaluation de l'ambiance sonore autour du poste après la mise en service*. Préparé par SNC-Lavalin Environnement pour Hydro-Québec TransÉnergie. 16 p. et ann.
- DUCHASSIN, F., et C. CHAMBERLAND. 2008a. *Étude de bruit. Évaluation de la performance acoustique de l'enceinte du compensateur synchrone CS31 du poste de Lévis*. Préparé par SNC-Lavalin Environnement pour Hydro-Québec TransÉnergie. 14 p. et ann.
- DUCHASSIN, F., et C. CHAMBERLAND. 2008b. *Mesure de pression et d'intensité acoustiques autour de transformateurs de puissance. Étude de bruit – Mesures additionnelles*. Préparé par SNC-Lavalin Environnement pour Hydro-Québec TransÉnergie. 9 p. et ann.
- DUCHASSIN, F., et C. CHAMBERLAND. 2007. *Boucle montérégienne. Ligne à 735 kV Saint-Césaire-Hertel. Climat sonore 2001 à 2006 avant et après la mise en service*. Préparé par SNC-Lavalin Environnement pour Hydro-Québec. 40 p. et ann.
- DUCHASSIN, F., C. CHAMBERLAND et B. GOSSELIN. 2007. *Suivi du bruit audible généré par une nouvelle ligne à haute tension à 735 kV*. Préparé par Hydro-Québec TransÉnergie et SNC-Lavalin Environnement, division Air et Acoustique. 3 p.
- DUCHASSIN, F., B. GOSSELIN, et C. CHAMBERLAND. 2009. « In situ determination of transformer sound power levels. Part 1: Methods ». Actes du congrès INTER-NOISE 2009, Ottawa (Ontario), août 2009, p. 854-860.
- FMK TECHNOLOGY. 1985. *Noise Control for Construction Equipment and Construction Sites*. Préparé pour Hydro-Québec. 74 p.
- FORTIN, J. C. 1994. *Efficacité d'un écran acoustique combinant une partie passive et active*. Montréal. Hydro-Québec. 21 p.
- GAGNÉ, S. 1989. *Enquête sur les effets du bruit sur les élevages avicoles, cunicoles et d'animaux à fourrure*. Montréal. Hydro-Québec. 26 p.
- GAGNÉ, S. 1988a. *Bilan des connaissances des nuisances et gênes découlant de la présence des postes électriques*. Montréal. Hydro-Québec. 122 p.
- GAGNÉ, S. 1988b. *Les effets du bruit sur les élevages avicoles, cunicoles et d'animaux à fourrure*. Montréal. Hydro-Québec. 19 p.

- GOSSELIN, B. 2011. *Bruit audible des lignes électriques de 315 kV et 735 kV. Analyse des résultats obtenus à l'aide du logiciel vbCEMEC pour le calcul du bruit audible des lignes*. Montréal. Hydro-Québec TransÉnergie. 11 p.
- GOSSELIN, B. 2005. « Follow-up on Noise Levels Emitted by a New 735 kV Transmission Line and its Attached Substation ». Actes du congrès INTER-NOISE 2005, Rio de Janeiro (Brésil), août 2005, p. 2761-2770.
- GOSSELIN, B. 2002. « Noise Reduction of an Electrical Substation - A Case study ». Actes du congrès INTER-NOISE 2002, Dearborn (Michigan), août 2002, p. 1335-1340.
- GOSSELIN, B. 2001. *Poste de la Montérégie. Suivi du bruit émis par les disjoncteurs. Sommaire exécutif*. Montréal. Hydro-Québec TransÉnergie. 1 p.
- GOSSELIN, B. 1996. *Logiciels de prédition du bruit. Vérification dans le cas de postes avec écrans acoustiques*. Montréal. Hydro-Québec. 18 p. et ann.
- GOSSELIN, B. 1994a. *Élaboration d'une méthode de mesure du bruit des transformateurs et des inductances. Justification de l'approche retenue*. Montréal. Hydro-Québec. 9 p. et ann.
- GOSSELIN, B. 1994b. *Variation du bruit émis par les transformateurs en fonction de la charge. Rapport de l'étude exploratoire*. Montréal. Hydro-Québec. 8 p. et ann.
- GOSSELIN, B. 1992a. *Bruit audible des lignes haute tension à courant alternatif. Bilan de la recherche d'information*. Montréal. Hydro-Québec. 12 p.
- GOSSELIN, B. 1992b. *Bruit émis par les activités réalisées sur les chantiers de construction. Étude des critères*. Montréal. Hydro-Québec. 14 p. et ann.
- GOSSELIN, B. 1991. *Vérification préliminaire du logiciel ENM. Compte rendu des activités de 1991*. Montréal. Hydro-Québec. 15 p.
- GOSSELIN, B. 1984. *Vérification des méthodes pour évaluer la puissance acoustique des transformateurs*. Préparé par Hamel, Beaulieu et Associés pour Hydro-Québec. 35 p.
- GOSSELIN, B., Y. CHAMPOUX et J. NICOLAS. 1985. *Mesure de la puissance acoustique des transformateurs de répartition*. Préparé par Hamel, Beaulieu et Associés en collaboration avec le Groupe d'acoustique de l'Université de Sherbrooke pour Hydro-Québec. 78 p.
- GOSSELIN, B., et CONSULTANTS B.V.L. 1994. *Guide relatif à la gestion du bruit émis par les chantiers de construction d'Hydro-Québec. Rapport du suivi des projets de postes*. Préparé pour Hydro-Québec. 18 p. et ann.
- GOSSELIN, B., F. DUCHASSIN, et C. CHAMBERLAND. 2009. « In situ determination of transformer sound power levels. Part 2: Results ». Actes du congrès INTER-NOISE 2009, Ottawa (Ontario), août 2009, p. 844-853.
- GOSSELIN, B., et J.C. FORTIN. 1993. « Noise Management at Hydro-Québec Construction Sites ». Actes du congrès de l'Association canadienne d'acoustique. Toronto (Ontario), octobre 1993. p. 65-66.
- GOSSELIN, B., J.C. FORTIN et A. L'ESPÉRANCE. 1992. « Measurement of Noise Emitted by Electrical Substations – Part I: Measurement Method ». Actes du congrès INTER-NOISE 1992, Toronto (Ontario), juillet 1992, p. 771-774.
- GOSSELIN, B., A. L'ESPÉRANCE et C. LAROCHE. 1993. « A New Approach for the Measurement of Noise Emitted by Electrical Substations ». *Noise Control Engineering Journal*, vol. 41, n° 3, p. 357-363.
- GOSSELIN, B., et SNC-LAVALIN ENVIRONNEMENT. 2010. *Étude de bruit. Évaluation de la performance acoustique de certains éléments des enceintes acoustiques des compensateurs synchrones CS31 et CS32 du poste de Lévis. Rapport final*. Préparé pour Hydro-Québec TransÉnergie. 17 p. et ann.
- HYDRO-QUÉBEC. 2008. *Caractéristiques électriques générales de référence. Document explicatif relatif aux lignes électriques*. Publication en 1993, première révision en 1995, deuxième révision en 2008. Montréal. 45 p.
- HYDRO-QUÉBEC. 1998. *Synthèse et analyse du rapport du Comité Blanchette. Tronçon Saint-Césaire-Hertel–Poste de la Montérégie*. Montréal. 25 p. et ann.

- HYDRO-QUÉBEC. 1990a. *Méthode d'évaluation environnementale Lignes et Postes. 1. Démarche d'évaluation environnementale. 2. Techniques et outils*. Montréal. 322 p.
- HYDRO-QUÉBEC. 1990b. *Vocabulaire des interconnexions*. Montréal. 85 p.
- HYDRO-QUÉBEC. 1985. *Méthodologie d'étude d'impact Lignes et Postes. Partie 4. Guide 6 : Guide d'étude de bruit des projets d'équipement de poste électrique*. Montréal. 77 p.
- HYDRO-QUÉBEC. 1983a. *Effets électriques des lignes à courant continu interconnexion Des Cantons–Nouvelle-Angleterre. Tome 2 : Annexes*. Montréal. Pag. multiple.
- HYDRO-QUÉBEC. 1983b. *Vocabulaire illustré des lignes aériennes de transport et de distribution d'électricité – Fascicule 2 : les conducteurs et les isolateurs*. Montréal. 175 p.
- HYDRO-QUÉBEC. 1982. *Vocabulaire illustré des lignes aériennes de transport et de distribution d'électricité – Fascicule 1 : les supports*. Montréal. 191 p.
- HYDRO-QUÉBEC. 1981. *Étude sur les bruits audibles des transformateurs de puissance et leur atténuation*. Montréal. 119 p.
- HYDRO-QUÉBEC. 1980. *Étude du contrôle acoustique dans les postes de transformation*. Montréal. 263 p.
- HYDRO-QUÉBEC et GROUPE SNC. 1982b. *Les disjoncteurs : Étude de réduction de bruit des postes*. Montréal. Pag. multiple.
- HYDRO-QUÉBEC et IREQ. 1973. *Essais préliminaires des performances en perturbations radiophoniques et en pertes par effet couronne sur des faisceaux de conducteurs pour les lignes UHV AC*. Montréal. Pag. multiple.
- HYDRO-QUÉBEC et IREQ. 1972. *Essais préliminaires des performances en bruit audible des faisceaux de conducteurs pour les lignes UHV AC*. Montréal. 38 p.
- HYDRO-QUÉBEC TRANSÉNERGIE. 2011. *Évaluation environnementale des projets de lignes de transport – Modalités d'application de la note d'instructions 98-01 sur le bruit du MDDEP révisée en 2006*. Montréal. 6 p.
- HYDRO-QUÉBEC TRANSÉNERGIE. 2010. *Poste Henri-Bourassa à 315-25 kV et ligne à 315 kV. Évolution du réseau de transport du nord-est de la région métropolitaine de Montréal. Étude d'impact sur l'environnement*. Montréal. Pag. multiple.
- HYDRO-QUÉBEC TRANSÉNERGIE. 1998. *Ligne à 735 kV Hertel–Saint-Césaire et poste de la Montérégie. Analyse des principales recommandations du rapport du comité Blanchette*. Montréal. 31 p. et ann.
- LAROCHE, C., J. M. ROUFFET, B. GOSSELIN et J. C. FORTIN. 1992. « Measurement of Noise Emitted by Electrical Substations– Part II: Measurement System ». Préparé par Sonometric pour Hydro-Québec. Actes du congrès INTER-NOISE 1992, Toronto (Ontario), p. 775-778.
- LEMIRE, G. 1997. *Poste Appalaches. Suivi acoustique 1996*. Montréal. Hydro-Québec. 6 p. et ann.
- LEMIRE, G. 1996. *Le bruit impulsif et l'environnement : survol des connaissances et applications pour Hydro-Québec*. Montréal. Hydro-Québec. 33 p.
- LEMIRE, G. 1995. *Évaluation de l'efficacité des mesures d'atténuation de type écran ou enceinte acoustique. Rapport interne 1995*. Montréal. Hydro-Québec. 7 p.
- L'ESPÉRANCE, A. 1992. *Validation du système de mesure du bruit émis par les postes*. Préparé par le Département de génie mécanique de l'Université de Sherbrooke pour Hydro-Québec. 38 p.
- L'ESPÉRANCE, A., et Y. CHAMPOUX. 1988. *Évaluation du climat sonore des postes existants. Rapport d'étude du projet*. Préparé par le Département de génie mécanique de l'Université de Sherbrooke pour Hydro-Québec. 74 p.
- L'ESPÉRANCE, A., J. NICOLAS et G. DAIGLE. 1990. *L'influence des effets atmosphériques, des écrans absorbants et des sols mixtes sur la propagation du son émis par les postes de transformation*. Préparé par l'Université de Sherbrooke pour Hydro-Québec. 118 p.

- L'ESPÉRANCE, A., B. PAILLARD, S. BOUCHER et É. LAGACÉ. 1998. *Développement et essais in situ du concept d'enveloppe acoustique active*. Rapport d'étape n° 2. Préparé par le Groupe d'acoustique et vibrations de l'Université de Sherbrooke pour Hydro-Québec. 49 p.
- L'ESPÉRANCE, A., B. PAILLARD, P. MICHEAU et S. BOUCHER. 1999. *Développement du nouveau concept de contrôle acoustique pour les transformateurs électriques*. Rapport synthèse. Préparé par le Groupe d'acoustique et vibrations de l'Université de Sherbrooke pour Hydro-Québec. 68 p.
- L'ESPÉRANCE, A., B. PAILLARD, P. MICHEAU et S. BOUCHER. 1997. *Étude de faisabilité du contrôle actif acoustique pour les transformateurs électriques*. Préparé par le Groupe d'acoustique et vibrations de l'Université de Sherbrooke pour Hydro-Québec. 51 p.
- LÉTOURNEAU, H., L. ALLARD, J. DOUCET, F. GAUTHIER, B. GOSSELIN, D. GOULET, B. LAROSE et F. RENAUD. 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 TransÉnergie. 40 p.
- LEVERT, F. 1986. *Évaluation de moyens autres que techniques pour lutter contre le bruit des postes électriques [préliminaire]*. Montréal. Hydro-Québec. 53 p.
- MARUVADA, P. SARMA, RD. 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. IREQ, Hydro-Québec. 182 p.
- MARUVADA, P. SARMA, RD. 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. PAS-103, n° 1. Montréal. IREQ, Hydro-Québec. 7 p.
- MEUNIER, M., et C. CHAMBERLAND. 2003. *Suivi sur le bruit des disjoncteurs. Poste Montérégie. Rapport final*. Préparé par SNC-Lavalin Environnement pour Hydro-Québec. 8 p. et ann.
- REGNARD, J.-P. 2011. *Revue bibliographique sur la mesure de l'absorption acoustique in situ*. Préparé par le Département de génie mécanique de l'Université de Sherbrooke pour Hydro-Québec TransÉnergie. 19 p. et ann.
- ROY, G. 2007. *Principaux enjeux soulevés dans les rapports du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement. Projets de lignes et postes électriques de 1980 à 2001. Volume 1 : Analyse et interprétation des résultats*. Montréal. Hydro-Québec TransÉnergie. 259 p.
- TRINH, N.G., et Y. MÉNARD. 1976. *Audible Noise Generated by Power Transformers of a Substation – Its Influence of the Urban Noise*. Préparé pour Hydro-Québec. 11 p.
- UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE. 1990. *Analyse des effets atmosphériques sur l'impact sonore des postes de transformation*. Préparé pour Hydro-Québec. 49 p.
- YOCKELL, C. 1988. *Mesures de bruit impulsif relié à l'opération des disjoncteurs à gaz au poste Des Cantons*. Préparé par Envirobec pour Hydro-Québec. Pag. multiple.

Autres références essentielles

- COMMISSION ÉLECTRONIQUE INTERNATIONALE. 1979. *Sonomètres*. Norme de la CEI 651. Genève. 52 p.
- COMMISSION ÉLECTRONIQUE INTERNATIONALE. 1966. *Filtres de bandes d'octave, de demi-octave et de tiers d'octave destinés à l'analyse des bruits et des vibrations*. Norme de la CEI 225. Genève. 17 p.
- LACKEY, J. G., W. J. BERGMAN et M. VAINBERG. 2009. « Life Cycle Management of Substation Equipment & Apparatus Interest Group (LCMSEA) ». *CEATI Report n° T073700-3050. Review of the State of the Art in Passive and Active Noise Mitigation Technologies for Substation Transformers*. Préparé par PowerNex Associates Inc. pour CEATI International Inc. Toronto, Ontario. Pag. multiple.
- 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*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 283. 112 p.
- QUÉBEC, BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 2009. *Projet de construction du poste Anne-Hébert à 315-25 kV et de la ligne d'alimentation à 315 kV à Saint-Augustin-de-Desmaures*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 259. 75 p.
- QUÉBEC, BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 2008. *Projet de construction d'une ligne à 315 kV, la ligne Chénier-Outaouais*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 253. 70 p.
- QUÉBEC, BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 2001. *Projet de ligne à 315 kV Grand-Brûlé-Vignan*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 148. 162 p.
- QUÉBEC, BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 2000a. *Projet d'implantation du poste de l'Outaouais à 315-230 kV par Hydro-Québec*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 143. 98 p.
- QUÉBEC, BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 2000b. *Projet de ligne à 735 kV Saint-Césaire-Hertel et poste de la Montérégie*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 144. 111 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. 192 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 biterne à 315 kV 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 Appalaches*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 68. 401 p.
- QUÉBEC, BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 1983. *Lignes Nicolet-Des Cantons et Des Cantons-Nouvelle-Angleterre*. Rapport d'enquête et d'audience publique n° 14. 198 p. et ann.
- QUÉBEC, MINISTÈRE DES TRANSPORTS. 2000. *Mieux s'entendre avec le bruit routier*. 24 p.



www.hydroquebec.com

2013E0789-12