

R-3535-2004
Pièce SE-AQLPA-2
Document 2

Voir pages 420-421

Les conditions climatiques et l'approvisionnement en énergie

Régie de l'énergie
DOSSIER: R-3535-2004
DÉPOSÉE EN AUDIENCE
Date: 7 FÉVRIER 2006
Pièces n°: SE-AQLPA-2

DOC. 2

Études sectorielles du rapport de la
Commission scientifique et technique
chargée d'analyser les événements
relatifs à la tempête de verglas
survenue du 5 au 9 janvier 1998

Le 7 avril 1999

PLAN SOMMAIRE

Chapitre 2	LES ASPECTS ÉLECTRIQUES DU RÉSEAU D'HYDRO-QUÉBEC	281
Section 1	Le réseau d'Hydro-Québec: un réseau de réseaux	285
Section 2	Le comportement des réseaux pendant la tempête	307
Section 3	La réponse aux urgences et la gestion du réseau	330
Section 4	Le rétablissement du courant	340
Section 5	L'évaluation de la performance des réseaux	346
Section 6	Les améliorations envisagées par Hydro-Québec	350
Section 7	Des suggestions venues du milieu	357
	Constats	359
Bibliographie		365
Annexe	Extrait d'un article publié dans le journal «<i>Atmospheric Research</i>»: État-de-l'art du déglacage des lignes électriques	373

PLAN SOMMAIRE

Sous-chapitre	L'ENFOUISSEMENT DES CÂBLES ET LE DÉVELOPPEMENT DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES SOUTERRAINS	391
Section 1	Les réseaux de distribution d'électricité	393
Section 2	La comparaison des diverses configurations	400
Section 3	La différence de coûts	407
Section 4	Le financement des projets d'enfouissement	417
	Conclusion	420
Bibliographie		423
<hr/>		
Chapitre 3	LES ASPECTS ÉCONOMIQUES	429
	Introduction	430
Section 1	Le marché énergétique québécois et les politiques gouvernementales	431
Section 2	Hydro-Québec et la fiabilité des approvisionnements en électricité	455
Bibliographie		475
<hr/>		
Appendice 1	RAPPORTS ADDITIONNELS D'EXPERTS EXTERNES À LA COMMISSION	477
Annexe à l'appendice 1	VERSIONS ORIGINALES ANGLAISES	541
<hr/>		
Appendice 2	LES SYSTÈMES DE CHAUFFAGE ET D'APPROVISIONNEMENT EN ÉNERGIE DANS LES LOGEMENTS, EN CAS DE PANNES D'ÉLECTRICITÉ	577
Section 1	Les problèmes de chauffage en cas de panne d'électricité	579
Section 2	La recherche d'autonomie énergétique	582
Section 3	L'efficacité énergétique et les nouvelles technologies	584
Section 4	Des questions de lois, de règlements et de normes	586
Section 5	Une question d'information	588
<hr/>		
Annexe	LES PARTICIPANTS AUX CONSULTATIONS DE LA COMMISSION	XLI
<hr/>		

Volume 3**Les conditions climatiques et l'approvisionnement en énergie**

Livre 2	L'APPROVISIONNEMENT EN ÉNERGIE	XXIII
Table des matières		XXV
Chapitre 1	LES ASPECTS STRUCTURAUX DU RÉSEAU	145
Section 1	Les caractéristiques des lignes dans la région touchée par le verglas	149
Section 2	Le bilan des dommages	157
Section 3	Les principes guidant la conception des lignes	192
Section 4	La conformité aux normes	215
	Constats	225
Lexique		228
Bibliographie		237
Sous-chapitre	LE RÉSEAU DE DISTRIBUTION	241
Section 1	Les caractéristiques structurales du réseau de distribution dans les régions touchées par la tempête de verglas	245
Section 2	Les dommages subis par le réseau de distribution	247
Section 3	Les normes et les pratiques de conception ainsi que la maintenance des structures	253
Section 4	Observations et commentaires	258
	Autres constats	260
Annexe	Rencontre technique entre les spécialistes de Bell Canada et les collaborateurs aux dossiers techniques de la Commission Nicolet sur le verglas	263
Bibliographie		273

sous-chapitre

L'enfouissement des câbles et le développement des réseaux électriques souterrains

La Commission a examiné les aspects électriques du réseau, en relation avec sa configuration, ses équipements et leur vulnérabilité; elle s'est penchée sur la possibilité d'enfouir les câbles et de développer un réseau électrique souterrain pour se prémunir contre les effets d'intempéries et de nouvelles tempêtes de verglas.

L'étude de l'enfouissement des câbles et de la possibilité de développer un réseau électrique souterrain a été confiée à M^{me} Catherine Chauvin¹.

Elle a analysé les aspects techniques, économiques, sociaux et environnementaux de l'implantation et de l'exploitation de tels systèmes. Elle a aussi étudié les conditions d'implantation des réseaux souterrains, avec une attention particulière pour l'évaluation et la comparaison des coûts des diverses configurations envisageables.

La recherche des documents et des données nécessaires a comporté quatre volets:

- Des échanges d'information avec Hydro-Québec.
- La recherche de documents, d'études et de rapports techniques auprès d'autres entreprises du domaine de l'électricité, notamment Ontario Hydro et Électricité de France de même qu'auprès de l'Association canadienne de l'électricité.
- Des échanges avec des ingénieurs à l'emploi d'entreprises de services de distribution d'électricité localisées en Ontario, au Manitoba, en Saskatchewan, en Alberta et en Colombie-Britannique.
- Des échanges d'information lors de rencontres avec des promoteurs immobiliers, des ingénieurs-conseils, des ingénieurs municipaux, et des ingénieurs de corporations membres de l'Association des redistributeurs d'électricité du Québec.

Outre les informations fournies par Hydro-Québec, l'une des principales sources d'information scientifique et technique utilisées provient d'une étude de l'Association canadienne de l'électricité intitulée « *Underground versus Overhead Systems* ». Cette étude, effectuée en 1992, comporte une évaluation quantitative et qualitative des différents facteurs à considérer dans le choix d'une configuration de réseau de distribution. Elle a été faite dans le but d'aider les ingénieurs et les gestionnaires à planifier, concevoir et exploiter les réseaux de distribution d'électricité afin de répondre aux besoins d'information des ingénieurs municipaux dans ce domaine. Trois études de cas, comparant les coûts d'implantation de réseaux aérien et souterrain, y sont présentées de façon détaillée.

1. Ingénieure physicienne spécialisée en environnement.

SECTION 1

Sur le territoire desservi par Hydro-Québec, environ 90 % des infrastructures de distribution sont de type aérien; les réseaux souterrains restent essentiellement localisés dans les grands centres urbains, à Montréal et à Québec.

1.1 Les composantes des réseaux de distribution

Les réseaux de distribution d'électricité sont constitués de plusieurs sous-ensembles: les postes de distribution, les lignes à moyenne tension, les transformateurs et les lignes à basse tension.

Les postes de distribution servent à abaisser le voltage des lignes à haute tension (49 kV et plus) vers les lignes à moyenne tension (25 kV ou moins) et à contrôler l'intensité du courant dans chacune des lignes, en fonction de la consommation. Divers équipements, comme des disjoncteurs et des parafoudres, permettent de couper les circuits et de protéger ou d'isoler l'appareillage électrique.

Les lignes à moyenne tension partent des postes de distribution et rayonnent sur le territoire desservi sur plusieurs kilomètres. À la sortie des postes, ces lignes sont souvent enfouies à cause de l'encombrement relié au nombre élevé de circuits. Elles sont constituées de circuits principaux et secondaires munis d'appareils de sectionnement et de protection le long de leurs tracés (coupe-circuit, fusibles). Les circuits principaux forment l'ossature du réseau de distribution. Les circuits secondaires servent à l'alimentation locale et demeurent, en fait, des branchements effectués sur un circuit principal.

Les transformateurs servent à abaisser la tension au niveau utilisé chez les clients. Ils sont protégés par des fusibles, du côté de l'alimentation à moyenne tension, et reliés aux compteurs des abonnés par des câbles à basse tension. Les caractéristiques électriques des conducteurs font en sorte que la longueur des circuits à basse tension est presque toujours limitée à quelques centaines de mètres. À l'arrivée chez le client, on protège les circuits à basse tension par un disjoncteur.

Les réseaux de distribution desservent des territoires souvent étendus sur plusieurs dizaines de kilomètres carrés. Les circuits principaux à moyenne tension sillonnent l'ensemble du territoire, généralement le long des axes routiers, alors que les circuits secondaires à moyenne tension, les transformateurs secondaires et les circuits à basse tension sont répartis par secteurs et localisés à proximité des divers clients.

1.2 Les configurations typiques des réseaux de distribution

La plupart des réseaux de distribution sont mixtes et comportent des sections aériennes et des sections souterraines. De plus, on retrouve couramment des réseaux souterrains de type économique, combinant des câbles enfouis et de l'appareillage aérien ou au sol.

1.2.1 Les réseaux aériens

En milieu urbain et périurbain, à cause de la densité de charge par kilomètre de ligne, les réseaux de distribution sont implantés sur poteaux à courte portée. Les structures sont utilisées pour supporter les câbles à moyenne tension, l'appareillage électrique et les câbles à basse tension. Souvent, elles supportent aussi les câbles d'autres services publics² (fils téléphoniques, câbles TV), ce qui entraîne de multiples branchements secondaires entre les poteaux et les résidences. La densité des bâtiments en milieu urbain permet souvent que plusieurs unités d'habitation soient alimentées à partir de transformateurs installés en grappe, sur un même poteau.

En milieu rural, les distances à parcourir sont plus grandes et la demande en énergie par kilomètre de ligne est relativement faible. Les lignes à moyenne tension monophasées y sont installées sur des poteaux de bois à longue portée. L'espacement entre les propriétés rurales fait souvent en sorte que les habitations doivent y être alimentées séparément, par un petit transformateur (10 kVA ou moins) et un branchement à basse tension.

1.2.2 Les réseaux souterrains conventionnels

Les réseaux souterrains conventionnels sont souvent implantés dans les milieux fortement urbanisés en relation avec des considérations de sécurité. En effet, le nombre de circuits électriques requis et les caractéristiques du milieu bâti ne permettent pas toujours les dégagements nécessaires à l'entretien des équipements et à la protection du public.

Ils sont généralement très coûteux à implanter, pour les raisons suivantes :

- étant donné les risques d'avaries par excavation, les circuits à moyenne et à basse tension doivent être enfouis en conduits bétonnés ;
- l'absence d'espace disponible au sol fait en sorte que l'équipement de sectionnement et de transformation doit être installé en voûte souterraine ou à l'intérieur de bâtiments, dans des chambres électriques dites chambres annexes ;
- les travaux civils sont souvent associés à des dépenses importantes pour la réfection de surfaces de type conventionnel ou de qualité supérieure (trottoir, asphalte, ardoise, agrégat, granit, etc.) ;
- un pourcentage important de conduits est généralement réservé pour services futurs, afin de pouvoir répondre à une augmentation de la charge sur le réseau sans avoir à ouvrir de nouveau les surfaces aménagées ;
- les normes de construction sont plus sévères en matière de sécurité des travailleurs à cause de la demande en énergie élevée par kilomètre de réseau, jointe à l'utilisation d'appareillage électrique de grande puissance.

2. Commission scientifique et technique [verglas de janvier 98], « Les télécommunications », chap. dans *La sécurité civile, études sectorielles*, vol. 1, livre 2, chap. 2 (section 1,1), 1999.

1.2.3 Les réseaux mixtes et les réseaux souterrains de type économique

Au cours des trente dernières années, pour des considérations essentiellement esthétiques, plusieurs municipalités canadiennes ont adopté des règlements obligeant l'implantation de réseaux de distribution souterrains dans les nouveaux quartiers résidentiels.

Les configurations des réseaux ainsi implantés sont souvent mixtes: les circuits à moyenne tension, par exemple, sont généralement installés en configuration aérienne, le long des grandes artères, et en configuration souterraine, dans les quartiers résidentiels. Afin de limiter les coûts, les câbles à moyenne et à basse tension y sont enfouis dans des conduits bétonnés uniquement sous les traversées de voie publique. Les équipements de sectionnement et de transformation sont installés sur des socles de béton, ce qui permet d'éviter les coûts élevés de la construction de voûtes souterraines.

Des réseaux mixtes sont aussi parfois installés en milieu rural, en raison des risques d'accidents associés à la circulation de la machinerie agricole. En effet, plusieurs agriculteurs préfèrent éviter les lignes aériennes autour des bâtiments de ferme et demandent que le câble d'alimentation de leur propriété soit enfoui.

Par ailleurs, un vaste programme d'enfouissement des câbles électriques a été en vigueur en Saskatchewan, entre 1985 et 1995. Ce programme a été mis sur pied au moment où il a fallu remplacer le réseau aérien à moyenne tension. Ce dernier, construit au début des années 1950, n'avait pas la capacité voulue pour répondre à la croissance de la demande en électricité. De plus, la trop faible hauteur des poteaux d'origine ne permettait pas un dégagement aérien suffisant pour la machinerie agricole. Les analyses économiques ont démontré que le coût d'installation d'une nouvelle ligne aérienne sur des poteaux plus hauts équivalait à celui de l'enfouissement d'un câble par labour (en continu). Les poteaux, les transformateurs et les branchements secondaires d'origine ont été conservés. La Saskatchewan compte aujourd'hui près de 40000 km de câbles à moyenne tension ainsi enfouis.

1.3 L'équipement, les composantes et les infrastructures

Le coût total d'implantation d'un réseau de distribution varie selon le type d'équipement électrique choisi et les infrastructures civiles requises.

Pour les réseaux aériens, les choix se limitent essentiellement à la localisation des infrastructures et au type de poteaux utilisés. Les circuits principaux à moyenne tension sont généralement localisés dans les emprises de voies publiques tandis que les circuits secondaires, les transformateurs et les circuits à basse tension sont localisés en arrière-lot sur propriétés privées. On utilise des poteaux de bois, de béton ou de métal (acier, aluminium). Selon le nombre de circuits nécessaires, les poteaux sont munis ou non de traverses et différents modèles sont disponibles: standard ou esthétique, horizontal ou vertical, etc.

Les choix pour les circuits souterrains sont très variés. En effet, les raccordements au réseau principal à moyenne tension peuvent être aériens ou souterrains. Sur le plan de la distribution locale, on peut utiliser différentes techniques pour l'enfouissement des câbles et l'appareillage électrique peut être installé au sol, sur socles de béton, en voûte souterraine ou dans des chambres annexes.

Tableau 1

Les composantes des réseaux de distribution d'électricité				
Configuration de réseau	Équipements et infrastructures	Composantes du réseau		
		Circuits à moyenne tension	Circuits à basse tension	Appareillage de sectionnement et transformateurs
Aérien	Électrique	Câbles dénudés avec isolateurs	Câbles isolés	Boîtiers et barils
	Civil	Poteaux, traverses, haubans, ancrages et attaches		
Souterrain	Électrique	Câbles isolés avec puits d'accès	Câbles isolés	Cabinets Caissons étanches
	Civil	Enfouissement direct Conduit en tranchée ou par forage Conduits bétonnés		Socles de béton Voûtes souterraines Chambres annexes

1.3.1 L'équipement électrique

Les circuits à moyenne tension

Les câbles à moyenne tension sont disponibles dans plusieurs classes de courant et de tension, selon la puissance à faire transiter sur le réseau. Les classes de courant sont liées au diamètre du conducteur et les classes de tension s'échelonnent entre 5 kV, 15 kV et 25 kV. Le niveau de tension détermine les dégagements à respecter pour les câbles aériens et l'épaisseur de l'isolant requis pour les câbles souterrains.

Les câbles aériens sont constitués de conducteurs d'acier ou d'aluminium dénudés. Ils sont fixés sur poteaux ou sur traverse, à l'aide d'isolateurs en céramique. L'air ambiant agit comme isolant électrique entre les conducteurs à moyenne tension et le neutre ou la mise à la terre. Pour des considérations de sécurité, les câbles aériens nécessitent donc des dégagements plus ou moins importants, selon le niveau de tension.

Les câbles souterrains de technologie récente sont constitués d'un noyau conducteur recouvert d'un isolant solide et d'une enveloppe de cuivre agissant comme borne neutre pour la mise à la terre. La protection apportée par l'isolant solide entre le conducteur et le neutre fait en sorte qu'aucun dégagement électrique n'est requis.

En terme de coûts, l'achat des conducteurs représente une faible portion des investissements requis pour l'implantation d'une ligne aérienne, la majeure partie des investissements étant attribuable à l'achat et à l'installation des autres composantes et des structures portantes. Dans le cas des réseaux souterrains, le coût des câbles moyenne tension est plus élevé car, à caractéristiques équivalentes, les conducteurs isolés coûtent beaucoup plus cher que les conducteurs dénudés. De plus, dans les réseaux souterrains, les sections de câbles sont relativement courtes (200 à 250 mètres), ce qui exige l'aménagement de plusieurs puits de service.

L'appareillage de protection et de sectionnement

Les réseaux à moyenne tension sont munis de systèmes de protection permettant le déclenchement automatique des lignes en cas de surcharge ou de court-circuit, et d'appareillage de sectionnement servant à isoler les différents branchements lors d'interventions sur le réseau.

Le nombre de sectionneurs requis s'avère souvent plus élevé pour les réseaux aériens que pour les réseaux souterrains, en raison de la configuration radiale des réseaux. Toutefois, l'appareillage aérien est généralement de confection rudimentaire et disposé en boîtiers métalliques fixés aux poteaux. Le coût de ses composantes demeure marginal en comparaison du coût d'implantation de la ligne.

L'appareillage souterrain est plus encombrant et peut représenter une partie appréciable du coût d'implantation d'un réseau. Les caissons étanches, installés dans des voûtes souterraines, sont beaucoup plus coûteux que les cabinets métalliques disposés en surface sur socle de béton ou dans des chambres annexes, à l'intérieur de bâtiments.

Les transformateurs

Les transformateurs sont disponibles en plusieurs gammes de puissance et de formats. Les transformateurs aériens sont généralement petits (de 25 à 100 kVA) en raison de la capacité portante limitée des poteaux. Installés dans des contentants simples à fabriquer - essentiellement des barils - ils sont relativement peu coûteux.

Les transformateurs sur socles et les transformateurs souterrains sont plus encombrants et plus coûteux que les transformateurs aériens. Par exemple, l'achat et l'installation d'un transformateur de 100 kVA ou moins coûte entre 2000 \$ et 3400 \$ pour un appareil aérien et entre 3900 \$ et 5200 \$ pour un appareil sur socle.

Les transformateurs sur socles et les transformateurs souterrains sont aussi disponibles, dans des gammes de puissance plus étendues que celles de type aérien. L'installation d'un transformateur sur socle de 300 kVA à 750 kVA coûte entre 9400 \$ et 15000 \$. Si nécessaire, l'installation d'une voûte souterraine représente un coût additionnel de 10000 \$ à 15000 \$.

Les câbles à basse tension

Les infrastructures civiles peuvent être partagées entre les réseaux à moyenne et à basse tension. En effet, les câbles aériens sont souvent fixés sur les mêmes poteaux et les câbles souterrains enfouis dans les mêmes tranchées. Des poteaux et des tranchées supplémentaires doivent cependant être ajoutés pour les circuits à basse tension, dont une partie du tracé doit s'étendre jusqu'aux compteurs des abonnés.

Cependant, les câbles souterrains sont généralement deux fois plus coûteux que les câbles aériens.

1.3.2 Les infrastructures civiles

La documentation sur les coûts des travaux « civils » requis pour l'implantation d'une ligne aérienne est apparue peu détaillée. En effet, seuls les coûts d'ensemble sont généralement donnés, par type de ligne et par kilomètre de réseau.

Par contre, pour l'enfouissement de câbles à moyenne et à basse tension, on trouve une abondante documentation technique donnant des informations détaillées sur les coûts de l'enfouissement de divers services d'utilité publique: éclairage de rue, distribution de gaz, réseau de drainage et d'égoût sanitaire, réseau d'aqueduc, etc.

On note ainsi qu'en souterrain, le coût des infrastructures civiles peut représenter une proportion importante du coût total de construction. Ainsi, le coût d'un câble isolé monophasé de classe 15 kV, avec conducteur d'aluminium, est de l'ordre de 25 \$ le mètre linéaire. Le coût des travaux civils pour l'enfouissement d'un tel câble peut varier entre 25 \$ le mètre, pour un enfouissement en conduit dans une tranchée en terrain non aménagé, et 97 \$ le mètre pour une installation en conduit bétonné sous la chaussée. À ce montant, on doit ajouter celui des puits de service, aux sections de câbles jointées.

Tableau 2

Les coûts des travaux pour l'enfouissement de câbles à moyenne et à basse tension			
Type de travaux		Unités	Coût unitaire ¹
Excavation	En tranchées	\$/mètre linéaire	20
	Par forage	\$/mètre linéaire	40 à 90
Enfouissement en tranchée	Conduit de plastique	\$/mètre linéaire	25
	Conduits bétonnés		
	1 conduit	\$/mètre linéaire	32
	6 conduits	\$/mètre linéaire	100
	12 conduits	\$/mètre linéaire	180
	24 conduits	\$/mètre linéaire	280
	Puits de service (4 ou 5 par km)	\$/unité	4000
Réfection de surfaces	Pelouse	\$/mètre linéaire	20
	Trottoir	\$/mètre linéaire	40
	Chaussée	\$/mètre linéaire	65

1. En dollars de 1992.

Source: Acres International Limited, Underground Versus Overhead Systems, document préparé pour l'Association canadienne de l'électricité, octobre 1992.

1.4 Les coûts des composantes

Les coûts des diverses composantes des réseaux de distribution aériens et souterrains varient énormément et dépendent, entre autres, de la puissance à acheminer sur le réseau.

Pour les circuits aériens, les coûts ont été considérés pour des réseaux monophasés et triphasés, implantés en milieu urbain (25 poteaux par kilomètre). Pour les circuits souterrains, les coûts considérés sont ceux de l'enfouissement de câbles en conduits non bétonnés et en terrain non aménagé.

Tableau 3

Les coûts des composantes des réseaux de distribution aériens et souterrains			
Composantes du réseau	Unités	Coût unitaire	
		Aérien	Souterrain
Circuit à moyenne tension triphasé ¹	\$/mètre linéaire	26	53
Circuit à moyenne tension monophasé ¹	\$/mètre linéaire	20	32
Transformateurs ²			
< 100 kVA	\$/unité	2000 à 3400	2900 à 4200
100 – 300 kVA	\$/unité	5400 à 3900	
300 – 750 kVA	\$/unité		10000 à 16600
Circuit à basse tension biphasé ³ 120/240 V	\$/mètre linéaire	16 à 20	35 à 43

1. Pour les circuits aériens, les conducteurs sont en acier de classe 13,8 kV et de diamètre 336 (triphase) et n° 2 (monophasé) installés sur poteaux de bois (25 poteaux par kilomètre). Pour les circuits souterrains, les conducteurs sont en aluminium isolé (classe 12,5 kV et diamètre 1/0); les travaux civils requis pour l'enfouissement des câbles sont de à 25\$ le mètre linéaire (conduits non bétonnés en terrain non aménagé).

2. Pour les réseaux souterrains, les coûts proviennent des transformateurs sur socle. Il faut ajouter de 10000\$ à 15000\$ par unité pour l'installation d'une voûte souterraine.

3. Pour les circuits à basse tension, les coûts sont présentés pour conducteurs d'aluminium isolés de diamètre égal ou inférieur à 4/0, sur poteaux de bois (aérien) ou enfouis en conduit non bétonné (souterrain).

Source: Acres International Limited, *Underground Versus Overhead Systems*, document préparé pour l'Association canadienne de l'électricité, octobre 1992.

Les coûts d'implantation des circuits à moyenne et basse tension varient de façon importante selon le nombre de poteaux et le nombre de conducteurs (ou phases) par kilomètre de ligne. Les coûts d'implantation varient également selon la classe de tension des conducteurs et leur diamètre.

Sur la base des coûts relevés dans la littérature spécialisée, le rapport entre le coût des circuits souterrains et celui des circuits aériens est de l'ordre de 2/1. Ce rapport peut être encore plus élevé si les câbles doivent être enfouis en conduits bétonnés, dans des sols rocailloux, et si des puits de service doivent être aménagés.

De plus, à puissance équivalente, les transformateurs sur socles coûtent un peu plus cher que les transformateurs aériens et le surcoût pour un circuit souterrain peut augmenter si les transformateurs doivent être installés en voûte souterraine.

Le coût de l'appareillage de sectionnement et de protection des circuits à moyenne tension reste difficile à évaluer de façon générale: il varie beaucoup, en fonction de la configuration et de l'étendue du réseau ainsi que de la densité de charge par kilomètre de réseau. Néanmoins, il doit faire l'objet d'une évaluation détaillée, cas par cas, puisque cet appareillage, qui représente souvent une très faible portion du coût des circuits aériens, peut entraîner des coûts importants pour un réseau souterrain.

SECTION 2

Une évaluation des divers facteurs à considérer dans le choix d'une configuration de réseau de distribution d'électricité a été faite, en accordant une attention particulière aux différences entre les options qui se présentent pour les réseaux aériens et souterrains sur les plans techniques, économiques, sociaux et environnementaux.

2.1 Les aspects économiques

2.1.1 Les coûts d'implantation des réseaux

Les réseaux aériens, base de référence, sont les moins coûteux à implanter en terme de matériaux et de main d'œuvre. Leur installation, relativement simple, n'exige pas de plans particuliers. De plus, l'entretien et les éventuelles réparations y sont aussi relativement simples, toutes les composantes du réseau étant visibles.

Selon la configuration du réseau et les options choisies, la différence de coût entre un réseau entièrement aérien et un réseau entièrement souterrain peut varier entre un rapport de 1/1 et un rapport de 20/1. Les réseaux aériens et souterrains présentent toutefois rarement les mêmes fonctionnalités en termes de fiabilité et de sécurité.

Par ailleurs, pour un même type de réseau, les coûts varient aussi parallèlement en fonction des choix de configurations. Par exemple, l'installation d'un réseau aérien d'appareil visuelle améliorée peut coûter 2 à 3 fois plus cher que celle d'un réseau aérien conventionnel. De même, les coûts d'installation des réseaux souterrains varient souvent du double au triple selon la configuration et les options retenues.

Les caractéristiques et l'aménagement du territoire à desservir ont aussi un impact important sur les coûts. La différence de coût entre réseau souterrain et réseau aérien est plus grande dans les milieux très urbanisés que dans les zones non aménagées. En effet, dans le cas des milieux urbanisés, il y a souvent des frais supplémentaires provoqués par la réfection des terrains, à la suite des travaux d'excavation.

2.1.2 Les frais d'exploitation, d'entretien et de réparation

Les frais annuels d'exploitation et d'entretien des réseaux de distribution représentent généralement moins de 5 % du coût d'implantation ou de remplacement des installations. Ces frais sont rarement départagés entre réseaux aériens et souterrains par les services publics.

Les activités d'exploitation comprennent les manœuvres routinières effectuées sur les lignes et sur les équipements impliquant les abonnés. Les activités d'entretien font l'objet d'inspections et de vérifications effectuées dans les postes, sur les circuits et dans les emprises. Certaines activités d'exploitation et d'entretien restent toutefois spécifiques à chaque type de réseau.

Lors de la réparation d'éventuelles pannes, les réseaux souterrains sont généralement bouclés et chaque client peut être alimenté par deux sources différentes. Ainsi, lors de pannes de courant, les clients desservis par ce type de réseau peuvent être réalimentés par un circuit de relève. La réparation du circuit défectueux peut être faite après le rétablissement de service.

À l'opposé, les systèmes aériens comprennent souvent des sections de configuration radiale, où chaque client ne peut généralement être alimenté que par une seule source de courant. De plus, lors de pannes sur ce type de réseau, toutes les activités de réparation doivent être effectuées avant le rétablissement du service. Des équipes complètes doivent donc être disponibles, en tout temps, pour effectuer tous les types de réparation qui pourraient être nécessaires.

Dans l'ensemble, les réseaux souterrains coûtent moins cher à exploiter que les réseaux aériens, en particulier dans les milieux aménagés où il y a des arbres à maturité. Sur la base du coût d'investissement ou de remplacement des installations, les frais d'exploitation, d'entretien et de dépannage sont de 2 à 4 fois moins élevés pour les réseaux souterrains que pour les réseaux aériens. Cette différence tend cependant à s'atténuer, compte tenu des coûts par unité de puissance fournie au client, les coûts d'investissement étant généralement plus élevés pour les réseaux souterrains.

2.1.3 L'utilisation conjointe des infrastructures

L'utilisation conjointe et le partage des infrastructures entre les entreprises de services publics peuvent considérablement réduire les coûts d'implantation et d'exploitation des réseaux. Une telle utilisation devient particulièrement avantageuse pour les réseaux aériens, les structures portantes constituant une grande partie de leur coût initial.

Dans le cas des réseaux souterrains, les économies sont relativement plus intéressantes en milieu urbanisé, le coût des travaux civils étant proportionnellement plus élevé. L'expérience montre toutefois que les entreprises de services publics ne trouvent pas beaucoup d'intérêt dans le partage de réseaux souterrains en milieu urbain. Souvent, les services de télécommunications ont été précédemment enfouis.

Quant aux prolongements de réseaux souterrains dans des quartiers résidentiels, les tranchées d'excavation peuvent être partagées pour l'enfouissement des services d'électricité, de téléphone et de câblodistribution (TV). Les économies sont toutefois moins importantes, car la proportion des travaux civils par rapport aux coûts totaux est plus faible.

2.2 Les aspects techniques

2.2.1 La durée de vie utile

En l'absence d'événements exceptionnels et avec un programme d'entretien adéquat, la durée de vie utile des réseaux de lignes aériennes bien dégagées est de l'ordre de 30 à 50 ans. Les coûts d'opération et d'entretien augmentent toutefois avec l'âge du réseau, à la fois pour les structures portantes et le matériel électrique.

Par ailleurs, contrairement à ce que l'on pourrait croire, les câbles souterrains ont une durée de vie utile moindre que celle des câbles aériens. Les premiers câbles à isolant polyéthylène ont connu, dans certains cas, un vieillissement prématuré et ont dû être remplacés après 15 à 25 ans d'usage. Les progrès technologiques ont permis d'améliorer la durabilité des câbles, qui atteint aujourd'hui 40 ans ou plus. La confection des câbles de technologie récente comprend l'imperméabilisation du conducteur par injection de silicone, l'utilisation d'un isolant électrique plus performant (le polyéthylène réticulé) et le recouvrement du câble par une gaine plastifiée pour réduire le nombre de discontinuités et de bris, souvent inévitables, lors de l'installation en réseau.

Pour les deux types de réseaux, la durée de vie utile des autres composantes majeures comme les transformateurs et l'appareillage de sectionnement est de l'ordre de 40 ans, alors que la durée de vie des infrastructures civiles souterraines est généralement de 70 à 80 ans.

2.2.2 L'évolution des besoins

Les différentes configurations de réseaux offrent des possibilités très variées en terme d'augmentation de la capacité de transit de puissance électrique. Cette capacité peut généralement être augmentée à un coût plus faible pour les réseaux aériens que pour les réseaux souterrains.

Dans le cas d'un réseau aérien, on peut installer de nouveaux câbles et de l'équipement supplémentaire sur les poteaux, remplacer les câbles par d'autres ayant un plus grand diamètre, augmenter le nombre de phases ou le nombre de circuits. Au-delà d'une certaine charge, toutefois, une nouvelle ligne devra être installée, les considérations liées à la fiabilité, la sécurité et l'esthétisme limitant la capacité de transit sur une seule série de poteaux.

Dans le cas d'un réseau souterrain, les possibilités sont moins nombreuses et toujours plus coûteuses. Par conséquent, les câbles à moyenne tension de ces réseaux sont souvent surdimensionnés, de manière à permettre une certaine croissance de la demande au cours de leur vie utile. De plus, lors de l'aménagement des réseaux en conduits bétonnés, des conduits de réserve sont généralement prévus; le coût de l'ajout d'un câble souterrain devient alors comparable à celui de l'ajout d'une nouvelle ligne aérienne.

2.2.3 La fiabilité

Sur les réseaux aériens, les pannes, provoquées la plupart du temps par des intempéries, ont une fréquence annuelle moyenne variant entre 6 et 20, par 100 km de circuit primaire.

En réseaux souterrains, la plupart des pannes sont causées par des erreurs lors de travaux d'excavation. Les pannes causées par des défauts des câbles tendent à augmenter avec le temps. Leur fréquence annuelle moyenne varie entre 1 et 9, par 100 km de circuit primaire: les développements technologiques permettront de réduire cette fréquence.

Les travaux de réparation, à la suite des pannes de courant, impliquent généralement la localisation du défaut ou du bris, l'isolation du circuit, la réparation de l'équipement et la remise sous tension du réseau. La localisation des défauts est facilitée lorsque les infrastructures sont localisées dans l'emprise des voies publiques, plutôt qu'en arrière-lots de propriétés privées; par exemple. Les délais de localisation sont plus courts pour les réseaux aériens (environ une heure ou moins) que pour les réseaux souterrains (environ deux heures ou moins). Toutefois, les réseaux souterrains étant généralement bouclés, on peut rétablir le courant une fois le défaut localisé, processus impossible sur un réseau aérien.

2.2.4 Les facteurs climatiques

Les conditions météorologiques et la température jouent un rôle important dans l'exploitation des réseaux aériens. En effet, les courants qui y transitent varient de façon appréciable en fonction de la température et le fléchissement des câbles augmente avec la température de l'air et celle des conducteurs.

Par ailleurs, les conducteurs ainsi que l'appareillage électrique des réseaux aériens, que ce soit pour la protection, la transformation ou le mesurage, sont directement exposés à la foudre. Les câbles et leurs structures portantes subissent les contraintes thermiques et mécaniques associées aux vents, aux précipitations, aux accumulations de glace et aux variations de température. De plus, plusieurs pièces d'équipement sont exposées aux effets des polluants atmosphériques et sont donc sujettes à un vieillissement accéléré, principalement en milieu urbanisé et le long des grands axes routiers.

Les réseaux souterrains présentent l'avantage d'être peu sensibles aux conditions météorologiques. La température du sol est moins élevée et beaucoup plus stable que celle de l'air ambiant, ce qui augmente les marges de sécurité liées à la dissipation de la chaleur dégagée par l'appareillage électrique. Par ailleurs, les réseaux souterrains sont peu sujets aux risques d'inondations, étant conçus pour une exposition presque continue à l'eau et à l'humidité; ils doivent cependant être bien drainés.

2.2.5 La localisation des infrastructures

Les contraintes liées au milieu physique, notamment la nature ou le type de sol et la présence d'obstacles tels que des bâtiments, des ouvrages d'art et des traversées de cours d'eau, dictent les choix en matière de configuration des réseaux et de localisation des infrastructures et des équipements.

La localisation des réseaux aériens doit aussi tenir compte des changements et de l'évolution du milieu naturel. En effet, la croissance d'arbres à maturité à proximité des lignes peut engendrer des coûts d'entretien supplémentaires et réduire la fiabilité et la durabilité des installations. Des travaux d'émondage sont régulièrement requis dans les emprises et doivent être jumelés à des travaux similaires sur les propriétés privées.

Au début des années 1960, la localisation en arrière-lot des circuits aériens est devenue très populaire dans les quartiers résidentiels. L'expérience démontre aujourd'hui qu'à plus ou moins long terme l'aménagement paysager, l'installation de piscines, de haies, de clôtures et de cabanons constitue une sérieuse limitation à leur accès.

Parallèlement, la croissance de certaines espèces d'arbres augmente les risques de pannes et de bris. Cette problématique est aggravée lors de tempêtes ou d'accumulations de neige et de glace.

2.2.6 La sécurité des installations

Les réseaux électriques souterrains présentent diverses contraintes de sécurité pour les travailleurs. Le principal danger est lié à l'accumulation de gaz toxiques dans les puits de raccordement et les voûtes souterraines ; les normes de construction et les procédures de travail doivent prévoir une ventilation adéquate des ouvrages. De plus, le confinement de l'appareillage électrique fait en sorte que les travaux peuvent être difficiles à faire sous tension ; ce désavantage est cependant souvent compensé par l'installation de coupe-circuits indépendants, localisés à divers endroits du réseau.

2.3 Les aspects sociaux et environnementaux

2.3.1 La continuité du service

En conditions normales d'exploitation, l'indice de continuité de service des réseaux de distribution d'électricité est moins élevé pour les réseaux aériens que pour les réseaux souterrains. Cet état de situation est lié à la configuration typiquement radiale des réseaux aériens ainsi qu'à leur exposition aux conditions météorologiques. Cependant, la performance des réseaux aériens et souterrains en matière de continuité de service reste très peu perceptible par la clientèle.

Les réseaux souterrains, on le conçoit aisément, sont beaucoup plus fiables que les réseaux aériens. De plus, les facteurs de sécurité utilisés lors de leur conception sont beaucoup plus élevés que pour les lignes aériennes, compte tenu des contraintes techniques et économiques liées à toute modification ou réparation des équipements électriques ou des infrastructures civiles.

En ce qui concerne les risques que comportent d'éventuels tremblements de terre, il faut considérer que les risques de bris sont à peu près équivalents pour les réseaux aériens et les réseaux souterrains. Dans le cas de perturbations sismiques majeures, sur l'ensemble du territoire, les services de distribution d'électricité, qu'ils soient aériens ou souterrains, devraient être rétablis par la construction de réseaux temporaires.

2.3.2 Les effets des champs électriques et magnétiques sur la santé

Depuis une vingtaine d'années, les effets sur la santé des champs électriques et des champs magnétiques créés par les lignes à haute tension font l'objet de préoccupations, plus ou moins fondées.

Les champs électriques aux environs des lignes aériennes à très haute tension, à haute tension, de même qu'à moyenne et à basse tension ont peu d'incidence sur la santé humaine. De plus, pour toutes les gammes de tension, les normes sur la largeur des emprises des lignes et sur le dégagement des conducteurs par rapport au sol permettent d'éviter tout risque d'accident lié à la présence de champs électriques.

Quant aux champs magnétiques, certaines études ont montré une possible relation entre l'exposition à de forts champs magnétiques et la fréquence de certains cancers chez les individus qui y seraient exposés. Pour les lignes à haute tension, les normes en vigueur pour

le dégagement des conducteurs font en sorte que les niveaux d'exposition des populations aux champs magnétiques sont relativement faibles. Par contre, pour les lignes de distribution, les normes de dégagement des conducteurs aériens sont plus faibles et l'intensité des champs magnétiques à proximité des installations peut être significativement plus élevée. Ainsi, en milieu urbain, les réseaux aériens sont souvent localisés très près des habitations et surchargés d'équipement électrique. Les niveaux d'exposition aux champs magnétiques peuvent donc y être relativement élevés.

Des études épidémiologiques récentes, effectuées par l'Institut Armand-Frappier, indiquent que l'exposition aux champs magnétiques de basse fréquence (60 Hz) n'a pas d'incidence vérifiable sur l'apparition de cancers³. D'autres recherches indiqueraient cependant qu'il pourrait y avoir certaines perturbations du système immunitaire chez les enfants en bas âge⁴.

Quoi qu'il en soit, l'enfouissement des réseaux de distribution d'électricité en milieu urbain présente certains avantages en matière de réduction des niveaux d'exposition générale de la population aux champs magnétiques de basse fréquence.

2.3.3 Les considérations esthétiques et l'aménagement des abords

L'impact visuel des réseaux de lignes aériennes est de plus en plus controversé, en particulier dans les quartiers résidentiels, dans les aires de conservation et de récréation ainsi que dans les zones patrimoniales.

Plusieurs possibilités s'offrent pour atténuer l'impact visuel des réseaux aériens, notamment l'utilisation de poteaux sans traverses, de béton ou de métal. L'impact visuel peut aussi être réduit en apportant une attention particulière à l'agencement des composantes, à la symétrie des structures et à la continuité des alignements.

L'expérience démontre toutefois que peu d'efforts sont déployés pour assurer la verticalité des poteaux, pour bien orienter les traverses, pour installer les transformateurs à angles droits par rapport aux structures et au sol ou pour éliminer les sections de câbles inutiles. De même, les manufacturiers d'équipement électrique accordent peu d'importance à l'apparence des composantes et adoptent rarement des concepts soignés.

L'utilisation conjointe des structures portantes par plusieurs entreprises encombre le champ visuel. La multiplication de câbles, de dimension et d'aspect variés, et la présence de jonctions apparentes, placées en milieu de portée, peuvent avoir des impacts visuels particulièrement incommodes.

De ce point de vue, les réseaux électriques souterrains offrent l'avantage de libérer le paysage et ne créent que relativement peu d'entraves à l'utilisation des espaces et à l'aménagement des propriétés. Dans les quartiers résidentiels, ils ne posent aucune contrainte à la présence d'arbres à maturité, souvent primés sur le plan de la valeur des propriétés et de la qualité du milieu de vie. Sur des terrains privés de faible superficie, ils permettent une pleine utilisation de l'espace au sol.

-
3. Les études ont porté sur l'exposition de rats à des champs magnétiques de forte intensité. Les conclusions sur l'apparition de cancers concernent ces populations animales.
 4. Pauline GRAVEL, «Vivre dans les champs magnétiques, est-ce dangereux? La surprenante réponse de chercheurs québécois» dans *Science & Vie*, n° 973 (octobre 1998), p. 74-77.

La conception de réseaux souterrains comprenant de l'appareillage électrique sur socles doit toutefois être soigneusement étudiée, en particulier lorsque les lots sont de faible superficie. L'expérience démontre en effet que ce type d'appareillage peut être encombrant, surtout s'il est mal localisé. De plus, les piédestaux utilisés pour l'accès aux boîtes de jonction des câbles de téléphone et de télévision sont de confection rudimentaire et peuvent facilement être déboîtés, s'ils sont implantés trop près de voies publiques et des accès aux propriétés.

Par ailleurs, des efforts sont faits pour améliorer l'apparence des infrastructures des réseaux aériens. Ainsi, à proximité des zones urbaines, Hydro-Québec installe des pylônes dits « architecturaux » : il s'agit de tours, qui ont une meilleure apparence que les pylônes classiques faits de treillis métalliques. Il semble également que dans certains pays, notamment en Autriche, on accorde une attention particulière à l'apparence des poteaux des réseaux de distribution électriques.

SECTION 3

3.1 La nature et la complexité des travaux

Les différences de coût entre réseaux aériens et réseaux souterrains dépendent fortement de la nature et de la complexité des travaux à réaliser et doivent être évaluées au cas par cas.

On peut néanmoins établir deux grandes catégories de projets.

- Les projets d'implantation d'un nouveau réseau local ou de prolongement d'un réseau pour desservir de nouvelles clientèles.
- Les projets de modification de réseaux existants pour répondre à une augmentation de la demande en électricité ou pour remplacer des composantes en fin de vie utile.

Dans le cas des prolongements de réseaux, les travaux sont souvent effectués en milieu non aménagé et toutes les possibilités sont envisageables.

Les possibilités deviennent plus limitées dans le cas de modifications aux réseaux existants, car les configurations doivent être choisies en tenant compte des caractéristiques du milieu bâti.

3.2 Des projets et des cas types

Un rapport exhaustif sur l'évaluation comparative des coûts et des performances des réseaux aériens et souterrains, préparé pour le compte de l'Association canadienne de l'électricité⁵, a été étudié par les spécialistes de la Commission.

3.2.1 Les projets considérés

Les projets considérés sont de trois types.

- Le remplacement d'un réseau principal à moyenne tension en milieu rural.
- L'augmentation de la capacité d'un réseau (de 4 kV à 8 kV) en milieu urbain.
- Le prolongement d'un réseau en milieu périurbain, dans un nouveau quartier résidentiel et commercial.

Une revue de ces projets permet de fixer des jalons et d'établir des références en matière de choix de configuration aérienne ou souterraine et de coûts qui en découlent.

5. Acres International Limited, *Underground Versus Overhead Systems*, document préparé par l'Association canadienne de l'électricité, octobre 1992.

À cette fin, chaque projet a fait l'objet d'une analyse en trois volets :

- une estimation des coûts d'implantation, ventilée pour chacune des composants de réseau, c'est-à-dire les circuits à moyenne tension, l'appareillage de protection et de sectionnement, les transformateurs et les circuits à basse tension;
- une évaluation de la performance électrique de chaque option envisageable, incluant le calcul des fréquences d'interruptions;
- une analyse économique à long terme (40 ans) permettant de comparer la valeur présente des coûts d'implantation, la valeur présente des ventes d'énergie et le coût marginal en énergie.

Les données consultées comprennent notamment les spécifications techniques, les coûts d'implantation en matériaux et main d'œuvre, la durée de vie utile de chaque composante de réseau, ainsi que la durée et le nombre moyen d'interruptions par année, le temps moyen requis pour le rétablissement de service et les coûts de dépannage et d'entretien. Ces données ont été obtenues par sondage, auprès de six entreprises canadiennes de distribution d'électricité : Alberta Power Limited, Edmonton Power, Newfoundland Power, TransAlta Utilities, Toronto Hydro et Winnipeg Hydro.

Le remplacement d'un réseau aérien principal en milieu rural

Le premier projet considéré, celui du remplacement d'un réseau principal à moyenne tension en milieu rural, porte sur l'augmentation de la charge sur un réseau aérien en fin de vie utile.

Le choix d'une configuration aérienne implique le remplacement des poteaux, des conducteurs à moyenne tension et des transformateurs. Les circuits à basse tension existants peuvent être conservés.

Le choix d'une configuration souterraine implique d'enfouir directement, par labour, les circuits à moyenne tension. Les poteaux et les circuits à basse tension peuvent être conservés, tandis que les transformateurs aériens doivent être remplacés par des transformateurs sur socles.

L'accroissement de la capacité d'un réseau en milieu urbain

Le projet d'augmentation de la capacité d'un réseau en milieu urbain porte sur une mise à jour des installations, par une augmentation de la classe de tension (de 4 kV à 8 kV). Les travaux sont réalisés dans un quartier complètement développé, avec des clientèles résidentielle, commerciale et industrielle.

Dans les zones résidentielles, considérant le couvert forestier important, les câbles aériens conventionnels (conducteurs dénudés) ne peuvent être utilisés et les lots sont trop petits pour permettre d'utiliser des transformateurs sur socle.

Le réseau aérien proposé consiste en un circuit principal à moyenne tension, aménagé en périphérie du secteur. En zones résidentielles, les circuits secondaires à moyenne tension sont constitués de câbles isolés pour augmenter la fiabilité compromise par la présence de nombreux arbres à maturité. Des transformateurs aériens sont utilisés pour la clientèle domestique et des transformateurs sur socle ou en chambres annexes sont utilisés pour les clientèles commerciale et industrielle. Les circuits à basse tension sont remplacés le long des principales artères et conservés dans les zones résidentielles.

Tableau 4

La modification et le prolongement de réseaux de distribution d'électricité

Données techniques et économiques		Études de cas - Association canadienne de l'électricité					
		Modification de réseaux existants			Prolongement de réseau		
		Distribution en milieu rural		Conversion en milieu urbain		Développement domiciliaire en milieu urbain	
Unités	Aérien	Souterrain	Aérien	Souterrain	Aérien	Souterrain	
Caractéristiques techniques							
Nombre et type d'abonnés	35 fermes		985 résidences; 156 commerces; 20 industries		711 résidences; 3 commerces		
Demande de pointe	115		3 294		2 193		
Puissance installée	1 200	1 200	3 314	4 239	6 425	7 975	
Longueur de circuits MT ¹	64	69	4,3	8,0	7,1	11,8	
Fréquence d'interruptions	12,42	0,69	0,47	0,26	0,71	0,17	
Coûts d'implantation							
Circuits à moyenne tension	\$ 579 478	645 900	193 600	1 507 682	182 814	502 582	
Sectionnement et protection	\$ 3 600	1 500	11 800	560 000	6 500	10 000	
Transformateurs	\$ 130 320	195 600	296 119	590 907	175 305	281 598	
Circuits à basse tension	\$ --	--	19 203	247 783	479 124	789 259	
Total	\$ 713 398	843 000	520 722	2 906 372	843 743	1 583 439	
Coût total par abonné	\$ 20 383	24 086	449	2 503	1 182	2 218	
Rapport souterrain/aérien	1,2:1			5,6:1		1,9:1	
Coût différentiel par abonné	\$ 3 703			2 055		1 036	
Analyse économique							
Valeur présente des coûts	\$ 2 187 078	2 149 094	21 085 426	23 701 012	1 480 716	16 155 452	
Valeur présente des ventes	MWh 8 930	8 939	320 108	320 129	213 113	213 128	
Coût marginal en énergie	\$/kWh 0,2449	0,2404	0,0659	0,0740	0,0695	0,0758	

1. MT: moyenne tension.

Source: Acres International Limited, Underground Versus Overhead Systems, document préparé pour l'Association canadienne de l'électricité, octobre 1992.

Le réseau souterrain considéré consiste en un circuit principal à moyenne tension installé sous la chaussée, dans des massifs de 6 à 24 conduits bétonnés, et des circuits secondaires à moyenne tension aménagés par forage. Des transformateurs sur socle, souterrain, et en chambres annexes sont utilisés. Les circuits à basse tension sont remplacés le long des principales artères et conservés dans les zones résidentielles.

Le prolongement d'un réseau périurbain dans un nouveau quartier

Le projet de prolongement d'un réseau en milieu périurbain, dans un nouveau quartier résidentiel et commercial, vise à desservir des clientèles domestique et commerciale. Le choix d'installer un réseau aérien ou un réseau souterrain dépend essentiellement de considérations économiques.

Dans la perspective d'un réseau aérien, les circuits à moyenne tension sont installés en avant-lot, dans les emprises de rues.

Pour le réseau souterrain, le raccordement au réseau principal est effectué en aérien, les câbles à moyenne et à basse tension sont enfouis en tranchée, des transformateurs sur socles étant utilisés.

3.2.2 La comparaison des projets

La compilation des coûts, répartis par abonné, montre que les projets sont beaucoup plus coûteux en milieu rural (plus de 20000 \$) qu'en milieu urbain ou périurbain (moins de 2500 \$). Le coût marginal en énergie apparaît aussi plus élevé, soit environ 24 ¢/kWh contre environ 7 ¢/kWh. Ces différences sont liées à la densité linéaire de charge sur le réseau.

La prévision des fréquences d'interruptions de service montre une fréquence plus élevée dans les cas des réseaux aériens, par un facteur variant entre 2 et 18 fois, en raison de la longueur du tracé et de la configuration radiale du réseau. Pour les réseaux en milieux urbain et périurbain, au moins deux sources d'alimentation à moyenne tension sont prévues sur le réseau local, ce qui diminue la fréquence et la durée des interruptions. De plus, pour la conversion en milieu urbain, les circuits secondaires à moyenne tension sont constitués, en bonne partie, de câbles isolés.

Le rapport entre les coûts d'un réseau souterrain et ceux d'un réseau aérien varie entre 1,2/1 et 5,6/1. La différence de coût la plus élevée correspond au projet en milieu urbain aménagé; elle est principalement liée aux travaux civils requis pour l'enfouissement des circuits à moyenne tension (forages et canalisations bétonnées) et à la confection de voûtes souterraines pour l'appareillage de sectionnement et de protection. La différence de coût par abonné dépend à la fois du coût total d'implantation et de la densité linéaire de charge sur le réseau. Il est de 3700 \$ en milieu rural, 2055 \$ en milieu urbain et 1036 \$ en milieu périurbain.

3.3 Des études de cas par Hydro-Québec

À la suite de la Commission parlementaire permanente de l'Économie et du Travail, tenue en février 1998, le Plan stratégique 1998-2002 d'Hydro-Québec a été amendé pour inclure une proposition à la Régie de l'énergie concernant la mise sur pied d'un programme d'enfouissement des lignes de distribution dans les agglomérations urbaines à haute densité⁶.

6. Décret 887-98, 22 juin 1998, *Concernant des ajustements au plan stratégique 1998-2002 d'Hydro-Québec*, (1998), 130 *Gazette officielle du Québec*, partie 2, 4013.

Par ailleurs, à la demande de la Commission⁷, une évaluation comparative du coût d'implantation de réseaux aériens et souterrains a été effectuée par Hydro-Québec. Les projets considérés dans le cadre de cette évaluation concernent tous des prolongements de réseaux dans de nouveaux quartiers résidentiels, les habitations étant réparties de part et d'autre d'une voie publique d'environ 150 m de long. Le nombre total de nouveaux abonnés varie entre 18 et 96, selon le type d'habitation. La superficie totale du territoire considéré est faible, soit un peu plus d'un hectare, et presque identique d'un projet à l'autre. Une configuration de base, commune à tous les projets examinés, a été retenue afin de restreindre les facteurs de variation.

Les coûts d'implantation ont été calculés pour trois cas types.

- Un réseau aérien de base.
- Un réseau souterrain économique (câbles souterrains avec appareillage sur socle).
- Un réseau souterrain conventionnel (câbles souterrains avec appareillage enfoui).

Dans le cas de réseaux souterrains, les coûts ont été évalués pour l'enfouissement des câbles en canalisations bétonnées, d'une part, et non bétonnées, d'autre part.

3.3.1 L'évaluation des coûts

L'évaluation des coûts des travaux de prolongement de réseaux a été faite par Hydro-Québec, conformément au *Règlement sur les conditions de fourniture d'électricité*⁸ (Section IV), règlement qui stipule :

- les coûts des matériaux, de la main d'œuvre et de l'équipement requis; ces coûts sont déterminés en fonction des coûts unitaires fixés par Hydro-Québec, au 31 mars de chaque année pour les réseaux aériens. L'achat et l'installation des transformateurs et de leurs accessoires sont exclus tandis que, pour les réseaux souterrains, la différence de coût entre l'aérien et le souterrain est incluse;
- les coûts estimés pour les droits de passage ou autres servitudes et l'acquisition de biens et services fournis par des tiers, nécessaires pour effectuer les travaux;
- une provision pour les frais d'exploitation et d'entretien liés à la fourniture du service d'électricité;
- une provision estimée pour les coûts de réinvestissement en fin de vie utile;
- des frais d'administration, applicables sur la somme des montants précités.

Pour le calcul des frais et des provisions, les taux suivants sont spécifiés au *Règlement tarifaire en vigueur à compter du 1^{er} mai 1998*⁹: 9,3 % pour les frais d'exploitation et d'entretien ainsi que pour les provisions de réinvestissement sur l'équipement et 30 % pour les frais d'administration.

7. Hydro-Québec, *Évaluation des coûts de réseaux de distribution*, 1998.

8. *Règlement n° 634 d'Hydro-Québec sur les conditions de fourniture d'électricité*, R.R.Q., c. H-5, r.0.2.

9. *Règlement n° 663 d'Hydro-Québec établissant les tarifs d'électricité et les conditions de leur application*, R.R.Q., c. H-5, décret 555-98, (1998) 130, *Gazette officielle du Québec*, 2261.

Le règlement sur les conditions de fourniture d'électricité précise que, si les travaux sont effectués uniquement en réseau aérien, le requérant ne défraye pas les coûts des travaux. Par contre, si les travaux sont effectués en souterrain, le requérant doit payer une contribution égale à la différence entre les coûts encourus et ceux qu'un réseau aérien¹⁰ aurait représenté. Le requérant peut également défrayer l'ensemble des coûts et percevoir un remboursement, sur la base de chaque logement desservi, au moment du branchement. Le montant du remboursement s'élève à 2000 \$ ou moins^{11,12}.

3.3.2 Les évaluations d'Hydro-Québec

Pour fins de comparaison et à la demande de la Commission, les coûts ont été évalués pour des travaux de prolongement de réseau en excluant les montants correspondant aux droits de passage ou autres servitudes et à l'acquisition de biens et services fournis par des tiers.

Pour chacune des trois cas considérés, Hydro-Québec a évalué :

- les coûts des matériaux, de la main d'œuvre et de l'équipement;
- les provisions pour exploitation et entretien;
- les provisions pour réinvestissement;
- les frais d'administration.

Pour les réseaux souterrains, les évaluations comportent :

- la somme des coûts des travaux civils et ceux relatifs à l'achat et à l'installation de l'équipement électrique;
- les provisions sur les coûts d'achat et d'installation de l'équipement électrique pour réinvestissement en fin de vie utile;
- le montant de la contribution requise par abonné;
- les coûts des travaux civils requis pour le raccordement au réseau principal;
- les coûts des travaux requis pour les espaces verts.

Pour les réseaux aériens et souterrains, elles comportent aussi :

- les coûts totaux des travaux par unité de logement;
- les provisions pour frais d'exploitation et d'entretien.

10. Règlement n° 634, *op. cit.*, note 8.

11. *Ibid.*

12. Règlement n° 663, *op. cit.*, note 9.

Pour les fins de la présente analyse, les évaluations des coûts d'implantation des réseaux souterrains ont été regroupées selon trois types de dépenses :

- les coûts des travaux civils requis pour le raccordement au réseau principal ;
- les coûts des travaux civils requis pour le réseau de distribution locale ;
- les coûts de l'appareillage électrique requis pour le réseau de distribution locale.

L'ensemble des coûts d'implantation des réseaux augmente avec le nombre d'abonnés et varie entre 40 000 \$ et 170 000 \$ pour les réseaux aériens et entre 110 000 \$ et 300 000 \$ pour les modèles souterrains. Le coût par abonné varie entre 600 \$ et 1300 \$ pour les réseaux aériens et entre 2000 \$ et 10 000 \$ pour les réseaux souterrains.

Les coûts d'implantation d'un réseau souterrain de type économique (canalisation souterraine et appareillage sur socles) par rapport à un réseau aérien conventionnel sont de 3 à 5 fois plus élevés¹³. Pour un réseau souterrain conventionnel (câbles et appareillage électrique enfouis), un peu plus complexe, ce rapport varie de 5 à 9 fois.

Les informations fournies par Hydro-Québec ont permis de vérifier les taux utilisés pour le calcul des frais d'exploitation et d'entretien de même que pour le calcul des provisions de réinvestissement sur l'équipement électrique :

- dans le cas des options de réseaux aériens, une provision représentant 14,0 % de la valeur estimée du coût total des travaux a été comptabilisée pour fins d'exploitation et d'entretien ;
- dans le cas des options de réseaux souterrains, une provision représentant 12,7 % de la valeur estimée du coût d'achat et d'installation de l'équipement électrique a été comptabilisée pour fins d'exploitation et d'entretien ;
- dans le cas des options de réseaux souterrains, une provision représentant 27,2 % de la valeur estimée du coût d'achat et d'installation de l'équipement électrique a été comptabilisée pour réinvestissement en fin de vie utile.

13. Les coûts estimés par Hydro-Québec pour des réseaux souterrains de type économique semblent élevés en comparaison des coûts présentés à la section précédente, pour le projet de développement domiciliaire en milieu périurbain. En contrepartie, les coûts pour les réseaux aériens semblent plus faibles.

Tableau 5

Le prolongement de réseaux de distribution d'électricité dans des quartiers résidentiels

Études de cas - Hydro-Québec

Configurations Nombre et type d'habitations	Options de réseaux souterrains		Coûts d'implantation du réseau				Différence de coûts souterrain : aérien			Coût par abonné			
	Infrastructure Appareillage	Canalisation	Principal Travaux civils	Secondaire		Total souterrain	Total aérien	Écart	Rapport	Aérien	Souterrain	Écart	
				Travaux civils	Appareillage électrique								
												\$	
18 maisons individuelles	Sur socle	Non bétonnée	12 290	28 673	38825	79 788	23 987	55 801	4,6:1	1 333	6 123	4 790	
	Souterrain	Bétonnée		35 174	86 290	86 290		62 303	4,9:1		6 484	5 151	
36 maisons en rangées (9 blocs de 4)	Sur socle	Non bétonnée	17 322	43 682	83749	144 753	29 408	115 344	4,9:1	817	4 021	3 204	
	Souterrain	Bétonnée		52 897	130915	153 968		124 560	5,2:1		4 277	3 460	
90 unités (10 blocs de 3 triplex)	Sur socle	Non bétonnée	24 542	43 229	140162	207 933	52246	155 687	4,0:1	581	2 310	1 730	
	Souterrain	Bétonnée		50 715	178634	215 419		163 174	4,1:1		2 394	1 813	
96 unités (12 blocs de 2 quadruplex)	Sur socle	Non bétonnée	21 627	48 177	130355	200 159	56624	143 535	3,5:1	590	2 085	1 495	
	Souterrain	Bétonnée		54 817	168766	206 799		150 176	3,7:1		2 154	1 564	
		Non bétonnée		92 138		282 531		282 531	5,0:1		2 943	2 943	
		Bétonnée		106 893		297 286		297 286	5,3:1		3 097	3 097	

Source: Hydro-Québec, Évaluation des coûts de réseaux de distribution, Demande de la Commission.

Les provisions pour exploitation, entretien, réinvestissement et administration correspondent à un taux de majoration sur les coûts totaux variant entre 1,52 et 2,09. Les coûts non majorés sont comparables aux coûts des projets décrits dans le rapport de l'association canadienne de l'électricité, pour des configurations de réseaux souterrains équivalentes (réseau souterrain de type économique, avec appareillage sur socle et canalisations non bétonnées).

Tableau 6

Les coûts et les taux de majoration*							
Études de cas – Hydro-Québec							
Projets de prolongement de réseaux							
Options de réseaux souterrains							
Nombre et type d'habitations	Infrastructures civiles		Coûts estimés		Coûts non majorés		Taux de majoration
	Appareillage	Canalisation	Total	Par abonné	Total	Par abonné	
\$							
18 maisons individuelles	Sur socle	Non bétonnée	110 212	6 123	52 842	2 936	2,09
		Bétonnée	116 713	6 484	57 844	3 214	2,02
	Souterrain	Non bétonnée	159 946	8 886	103 598	5 755	1,54
		Bétonnée	173 090	9 616	113 709	6 317	1,52
36 maisons en rangées (9 blocs de 4)	Sur socle	Non bétonnée	144 753	4 021	92 942	2 582	1,56
		Bétonnée	153 968	4 277	100 031	2 779	1,54
	Souterrain	Non bétonnée	231 610	6 434	149 389	4 150	1,55
		Bétonnée	255 391	7 094	167 682	4 658	1,52
90 unités (10 blocs de 3 triplex)	Sur socle	Non bétonnée	207 933	2 310	129 144	1 435	1,61
		Bétonnée	215 419	2 394	134 902	1 499	1,60
	Souterrain	Non bétonnée	298 551	3 317	190 394	2 115	1,57
		Bétonnée	314 726	3 497	202 837	2 254	1,55
96 unités (12 blocs de 2 quadruplex)	Sur socle	Non bétonnée	200 159	2 085	125 319	1 305	1,60
		Bétonnée	206 799	2 154	130 427	1 359	1,59
	Souterrain	Non bétonnée	282 531	2 943	180 240	1 878	1,57
		Bétonnée	297 286	3 097	191 590	1 996	1,55

* Les taux de majoration utilisés par Hydro-Québec pour l'estimation des coûts totaux d'implantation de réseaux souterrains sont de 1,8 pour l'équipement électrique et de 1,3 pour les travaux civils.

Sources: Hydro-Québec, *Évaluation des coûts de réseaux de distribution*, Demande de la Commission, Hydro-Québec, Règlement n° 634 sur les conditions de fourniture d'électricité et Hydro-Québec, Règlement n° 663 établissant les tarifs d'électricité et les conditions de leur application.

3.4 Les exigences techniques et les modalités d'implantation

Les spécifications d'Hydro-Québec relatives aux infrastructures civiles requises pour l'aménagement des réseaux électriques souterrains peuvent varier d'une direction régionale à l'autre.

Dans la région Saint-Laurent, des réseaux de type conventionnel avec conduits bétonnés, voûtes et puits d'accès, sont généralement requis; les infrastructures civiles peuvent être cédées ou non à Hydro-Québec.

Par contre, dans les régions Richelieu et Laurentides, les réseaux de type souterrain conventionnel sont rarement autorisés. Les configurations avec conduits enfouis en tranché et transformateurs sur socles sont permises; les infrastructures civiles localisées dans emprises de voies publiques doivent généralement être cédées à Hydro-Québec.

Pour la construction d'ouvrages civils, les autorités municipales peuvent choisir entre différentes modalités d'application¹⁴.

- Hydro-Québec exécute l'ensemble des travaux et facture à la municipalité le coût réel. Les travaux comprennent l'ingénierie (plans et devis), l'acquisition des servitudes et des droits de passage, la coordination avec les autres services d'utilité publique, les appels d'offre et la gestion de contrats, la réalisation et la surveillance des travaux ainsi que la révision des plans tels que construits.
- Hydro-Québec réalise l'ingénierie, procède à l'acquisition des servitudes et des droits de passage et participe à la surveillance des travaux ainsi qu'à la révision des plans tels que construits. La municipalité est alors responsable de la coordination avec les autres services d'utilité publique, des appels d'offre, de la gestion de contrats et de la réalisation des ouvrages.
- La municipalité exécute l'ensemble des travaux selon les spécifications d'Hydro-Québec qui participe alors seulement à leur surveillance et à la révision des plans tels que construits.

Ces différentes modalités peuvent conduire à certaines complications, une fois les travaux civils réalisés. En effet, plusieurs municipalités de la région Saint-Laurent et de la région Laurentides se sont vu refuser par Hydro-Québec l'installation de l'équipement électrique dans des réseaux souterrains aménagés selon les spécifications requises. Les raisons invoquées par Hydro-Québec pour ces refus concernent principalement le non-respect des normes de santé et de sécurité au travail pour l'exploitation de réseaux souterrains ainsi que les difficultés associées au « dimensionnement » de l'appareillage en fonction des prévisions de la demande en énergie sur le réseau.

14. Hydro-Québec, *Établissement de la distribution souterraine - Modalités d'application*, février 1990.

Les dépenses liées à l'entretien et à l'amélioration de la fiabilité des réseaux existants, ainsi qu'une partie des dépenses liées au prolongement de nouvelles infrastructures sont généralement imputées au budget annuel d'exploitation de l'entreprise de distribution d'électricité.

Tout investissement au-delà du coût équivalent à un réseau aérien de base doit être imputé à d'autres sources que les revenus provenant des ventes d'électricité, ce qui fait que les requérants doivent souvent fournir une contribution équivalente à la différence de coût entre un réseau de base (généralement aérien) et un autre type de réseau.

4.1 Les raccordements au réseau d'Hydro-Québec

Le coût des travaux de raccordement aux réseaux de distribution est déterminé selon les conditions spécifiées au *Règlement sur les conditions de fourniture d'électricité*¹⁵.

La définition du coût des travaux retenue par Hydro-Québec comporte, dans le cas de prolongements en réseaux souterrains, une contribution supplémentaire pour les frais d'exploitation et d'entretien pour les coûts de réinvestissement en fin de vie utile et pour les frais d'administration. Le requérant est ainsi appelé à financer plus que le coût réel de construction du réseau souterrain, car les évaluations comprennent une majoration de 1,8 du coût d'achat et d'installation de l'appareillage électrique et une majoration de 1,3 du coût des travaux civils.

4.1.1 Le financement municipal

Les modes de financement choisis par les municipalités pour les travaux d'enfouissement de réseaux de distribution varient selon le type de travaux réalisés.

Dans le cas de prolongements de réseaux dans de nouveaux quartiers, l'écart de coût entre l'aérien et le souterrain est généralement financé par le développeur et transféré dans le coût des propriétés vendues. Pour des raisons évidentes, et lorsque la réglementation municipale n'oblige pas l'implantation de réseaux souterrains, les « développeurs » choisissent donc généralement l'installation d'un réseau aérien de base.

Dans le cas du remplacement de réseaux aériens par des réseaux souterrains, les conditions de financement des travaux sont très variables. Souvent, de tels projets sont lancés par les municipalités dans le but d'améliorer l'esthétique des rues principales et des zones patrimoniales. Les travaux peuvent alors être financés à même les budgets de fonctionnement, à l'aide de fonds de réserve et de surplus accumulés ou par règlement d'emprunt.

4.1.2 Le cas particulier de la Ville de Montréal

En 1909, la Ville de Montréal a reçu du gouvernement du Québec le pouvoir de réglementer l'utilisation de conduits souterrains pour la distribution de services électriques et de communication sur son territoire.

15. Règlement n° 634, *op. cit.*, note 8.

La Commission des services électriques de la Ville de Montréal (CSEVM), dont l'encadrement est prévu par la charte de la ville, en assume la responsabilité. Elle est dirigée par un conseil d'administration composé de cinq membres. Le président du Conseil est nommé par le gouvernement du Québec, deux membres sont nommés par la Ville, un autre est nommé par Hydro-Québec et le cinquième est élu par les autres usagers du réseau. La CSEVM a pour mission plus spécifique de planifier, de concevoir, de faire construire, d'entretenir, d'exploiter et d'administrer le réseau de conduits souterrains de la ville. Les usagers du réseau comprennent la Ville de Montréal – pour l'éclairage et la signalisation, les feux de circulation, les systèmes de communication d'urgence, etc. – Hydro-Québec, Bell Canada, Unitel Télécommunications, Vidéotron, CF Câble et la STCUM. D'autres utilisateurs profitent également de la présence des conduits souterrains comme les établissements d'enseignement, les banques, les hôpitaux, les réseaux d'information, les compagnies de publicité, etc.

Le réseau de conduits souterrains de Montréal est réparti sur plus de 600 kilomètres de rues et comprend environ 19 000 kilomètres de conduits, dont 30 % pour des services à venir. La valeur comptabilisée de ces infrastructures se chiffre à plus d'un demi-milliard de dollars et son coût de reconstruction est estimé à environ un milliard de dollars.

Une entente entre Hydro-Québec et la Ville de Montréal, qui conserve tous les pouvoirs d'emprunt et de gestion de fonds dans ce dossier, définit les programmes annuels de travaux de réfection du réseau municipal de conduits souterrains, d'enfouissement des fils et du déplacement hors-rue des poteaux et lignes aériennes. Cette entente précise aussi le mode de financement et le partage des coûts de travaux exécutés par la CSEVM. Depuis le premier janvier 1983, la Ville finance le coût des travaux par émission d'obligations amorties sur 20 ans. Le service de la dette est assumé par le biais des redevances facturables aux usagers de la CSEVM. La ville contribue cependant à 30 % du coût de travaux engagés à des fins d'embellissement.

Le service de la dette de la CSEVM est présentement de l'ordre de 52 millions de dollars. Il est financé à même les redevances qui sont facturées aux usagers, selon la proportion de conduits qu'ils réservent ou utilisent. En 1997, le partage de l'ensemble des coûts était réparti comme suit: 77 % pour Hydro-Québec (soit de l'ordre de 40 millions de dollars), 15 % pour la Ville de Montréal et 8 % pour les autres usagers. Pour la même année, le budget d'exploitation de la CSEVM était de l'ordre de huit millions de dollars et celui des immobilisations s'élevait à 10 millions de dollars.

Par ailleurs, en 1994, la CSEVM a entrepris divers projets de recherche visant à modifier les produits, les matériaux et les méthodes de construction des infrastructures civiles afin de diminuer les coûts d'implantation des conduits souterrains. En 1997, une division Développement technologique a été créée dans le but de poursuivre et d'accélérer des travaux orientés, par exemple, sur l'usage de sous-conduits permettant d'optimiser l'espace intérieur des conduits existants ainsi que sur la construction de chambres de transformation et de puits d'accès à l'aide de panneaux préfabriqués.

4.1.3 Les programmes incitatifs d'Hydro-Québec

Jusqu'en 1996, Hydro-Québec offrait aux municipalités la possibilité de convertir en souterrain une partie du réseau de distribution d'électricité localisé sur leur territoire, à un coût moindre que la différence stipulée dans le *Règlement sur la fourniture d'électricité*. Ce programme consistait en un crédit sur l'écart de coût entre un réseau aérien économique et un réseau souterrain, équivalent à 30 mètres de réseau par 1 000 abonnés¹⁶.

16. Hydro-Québec, *Directive BDN-02-66*, 31 août 1977.

Selon les spécifications d'Hydro-Québec, les municipalités devaient assumer le coût des travaux civils pour la construction des infrastructures. L'accumulation de crédits par périodes de 5 ans était généralement acceptée par les directions régionales.

Plusieurs municipalités ont profité de ce programme qui a favorisé le prolongement de réseaux souterrains dans les nouveaux quartiers résidentiels et le remplacement de réseaux aériens existants par des réseaux souterrains.

4.1.4 L'exemple des programmes incitatifs d'Électricité de France

Électricité de France (EDF) est résolument engagée, depuis quelques années, dans une démarche pour améliorer l'insertion de lignes dans l'environnement¹⁷.

Un protocole, datant de 1992, définit une pratique de concertation avec les autorités et les organismes locaux de même que des mesures d'accompagnement. Un accord complémentaire spécial, renforçant ces mesures, a été signé avec l'État en 1997.

Parmi les mesures prévues au protocole, on retrouve l'enfouissement de lignes de tension inférieure au voisinage d'une ligne projetée. Le protocole prévoit également l'indemnisation des riverains pour les préjudices subis à la suite de l'implantation de la ligne. Les indemnités sont fixées par les Commissions départementales d'évaluation du préjudice visuel.

Les travaux d'enfouissement sont financés à l'aide de trois fonds :

- le Fonds d'aménagement des réseaux (F.A.R.);
- le Fonds d'amortissement des charges d'électrification rurale (F.A.C.E.);
- le Programme local pour l'environnement et l'emploi (P.L.E.E.).

EDF participe au F.A.R. pour un montant égal à 5 % de l'investissement de tout nouvel ouvrage à très haute tension et au P.L.E.E. pour un montant variant entre 4 % et 6 %. Les collectivités financent 25 % des travaux engagés par le F.A.R. et 30 % de ceux engagés par le F.A.C.E.

L'usage des fonds est décidé en Commission Départementale et en Comités Régionaux de Concertation (C.R.C). Les C.R.C s'organisent autour de représentants de l'État, d'élus (régions, départements, maires) et de représentants d'organismes (consommateurs, conseils économiques, associations environnementales, etc.), soit environ 20 personnes.

Pour la période 1993-1996, les mesures d'accompagnement prévues par le protocole ont permis :

- d'enfouir 5 000 km de lignes basse tension (sur une longueur totale de réseau de 650 000 km dont 1 500 000 en souterrain);
- d'enfouir 80 % des prolongements de réseaux à moyenne tension;
- d'enfouir 400 km de lignes à haute tension.

17. C. DUBANTON, *Conventions et concertations sur les lignes - Insertion dans l'environnement. Résumé des démarches actuelles en France*, EDF Production Transport, 25 août 1998, 3 p.

Conclusion

À la suite de l'examen du dossier de l'enfouissement des câbles et des équipements des réseaux de distribution d'électricité, la Commission en arrive aux constatations qui suivent.

- Les réseaux souterrains de distribution d'électricité offrent plusieurs avantages :
 - ils sont plus fiables que les réseaux aériens et offrent un indice de continuité de service plus élevé, en conditions normales d'exploitation;
 - étant peu exposés aux intempéries, ils demeurent donc moins vulnérables aux caprices du climat;
 - ils libèrent le paysage de structures dont l'impact visuel incommode suscite de plus en plus de préoccupations, en particulier dans les quartiers résidentiels, les aires de conservation et de récréation ainsi que dans les zones patrimoniales;
 - en milieu urbain et périurbain, ils permettent une pleine utilisation de l'espace au sol et ne présentent aucune contrainte au développement d'arbres à maturité;
 - en milieu densément urbanisé, dans le cadre d'une approche d'« évitement prudent », ils permettent de réduire les niveaux d'exposition de la population aux champs magnétiques de basse fréquence.
- Les réseaux souterrains sont cependant peu développés en Amérique du Nord, principalement pour des raisons économiques. Les grands espaces, la faible densité linéaire de charge et le fait qu'une contribution soit généralement exigée du requérant lors d'un prolongement en réseau souterrain favorisent le maintien et le développement de réseaux aériens conventionnels.
- Toutefois, il est à prévoir que les réseaux aériens seront de plus en plus souvent remplacés par des réseaux souterrains au cours des prochaines années, surtout dans les villes. À ce sujet, Hydro-Québec envisage deux axes de développement : la concertation entre les différentes entreprises de services publics, la recherche et le développement de techniques relatives aux méthodes d'enfouissement plus économiques¹⁸.

La contribution exigée par Hydro-Québec pour l'implantation de réseaux souterrains

- Selon la loi sur Hydro-Québec, le requérant ne contribue pas au coût des travaux d'implantation d'un réseau de distribution locale d'électricité si ces derniers sont effectués uniquement en réseau aérien.
- Par contre, pour des travaux effectués en réseau souterrain, le requérant doit payer une contribution égale à la différence de coût entre le réseau choisi et un réseau aérien de base.
- Dans les faits, compte tenu des provisions prévues pour l'exploitation, l'entretien, le réinvestissement et les frais d'administration, Hydro-Québec exige du requérant une contribution supérieure à la différence de coût : cette méthode de calcul constitue un facteur dissuasif pour tout requérant intéressé par l'implantation d'un réseau souterrain.

18. Commission scientifique et technique [verglas de janvier 98], Transcriptions des séances d'audience publique portant sur la présentation d'Hydro-Québec du 8 octobre 1998 à Montréal.

La recherche et le développement

- L'exploitation et l'entretien de réseaux souterrains conventionnels, pour lesquels toutes les composantes sont enfouies, présentent certaines contraintes en terme de sécurité pour le personnel. Les manœuvres et interventions se font en milieu confiné et les techniques de travail doivent être adaptées pour permettre un accès, à la fois sécuritaire et fonctionnel, aux voûtes et aux puits de raccordements souterrains.
- L'exploitation et l'entretien de réseaux souterrains ont aussi une incidence sur la planification des activités de maintenance et la tenue des inventaires en matériel électrique. Par exemple, les composantes les plus susceptibles de défaillance ou de bris ne sont pas nécessairement les mêmes pour les réseaux aériens et souterrains.

La méconnaissance des réseaux de distribution d'électricité au niveau municipal

- Le verglas de janvier 1998 a mis en relief l'absence d'une connaissance appropriée des réseaux de distribution d'électricité par les intervenants locaux. En effet, la situation de monopole d'Hydro-Québec a démontré que les autorités municipales sont généralement peu familières avec les critères de conception, les techniques de construction et les contraintes d'exploitation des réseaux locaux de distribution d'électricité.
- Cet état de fait peut être lourd de conséquences en situation de panne, alors que divers intervenants sont appelés à identifier les dommages sur les réseaux, à mettre en œuvre les plans de mesures d'urgence et à contribuer au rétablissement des services.

Les choix contraints des promoteurs

- Les prolongements de réseaux de distribution permettent de desservir de nouvelles clientèles et peuvent être aménagés en aérien ou en souterrain, selon les volontés des requérants.
- Cependant, en l'absence de réglementation municipale incitant à l'aménagement de réseaux souterrains, les promoteurs immobiliers sont peu enclins à verser à Hydro-Québec les contributions qu'elle exige pour couvrir les surcoûts, en attendant de pouvoir les transférer aux acheteurs des habitations.

Le remplacement des réseaux aériens

- Les projets de remplacement de réseaux aériens existants par des réseaux souterrains sont très différents des projets de prolongements de réseaux.
- À la suite de la Commission parlementaire permanente de l'Économie et du Travail tenue en février 1998, le Plan stratégique 1998-2002 d'Hydro-Québec a été amendé pour inclure une proposition à la Régie de l'énergie concernant la mise sur pied d'un programme d'enfouissement des lignes de distribution dans les agglomérations urbaines à haute densité.
- Par ailleurs, en octobre 1998, Hydro-Québec a mandaté le Centre de Recherche et d'Expertise en Infrastructures Urbaines (CERIU) pour réaliser une étude dont l'objectif est d'identifier les conditions technico-économiques favorisant l'enfouissement des réseaux existants de services publics en milieu urbain. Cette étude est réalisée en partenariat avec, entre autres partenaires, Bell Canada, les

câblodistributeurs et les principaux intervenants du domaine municipal. Les lignes directrices de l'étude, spécifiées par Hydro-Québec, comprennent une évaluation des moyens et des méthodes permettant de diminuer les coûts d'enfouissement, d'exploitation, d'entretien et de reconstruction des réseaux. On trouvera en annexe un descriptif du mandat confié au CERIU.

- Les projets de remplacement de réseaux aériens ne sont pas liés à une augmentation des ventes d'électricité et doivent être initiés sur la base d'autres critères, comme le besoin d'une sécurité accrue d'alimentation. Ces travaux peuvent viser notamment l'enfouissement de certains éléments stratégiques des circuits principaux à moyenne tension, qui longent généralement les axes routiers.
- La durée de vie utile d'un réseau routier peut varier entre 20 et 40 ans mais des travaux majeurs de réfection de rues, qui entraînent un dérangement important pour les résidents, doivent être réalisés périodiquement. Des mécanismes de coordination efficaces entre les entreprises de services publics et les municipalités, qui agissent comme maîtres-d'œuvre des travaux de réfection de rues, permettraient de tirer avantage de la situation pour procéder à l'enfouissement des réseaux de distribution. En effet, les travaux de réfection de rues sont généralement financés par l'ensemble de la municipalité, processus qui permettrait d'absorber une partie des travaux civils requis pour l'enfouissement des services publics câblés.

La coordination entre les diverses entreprises de services publics

- Comparativement aux réseaux aériens, l'implantation de réseaux souterrains nécessite une planification beaucoup plus étroite. En effet, il est généralement avantageux d'enfouir tous les services câblés dans les mêmes tranchées (électricité, télécommunication et télévision). De plus, les travaux doivent tenir compte de la présence des autres infrastructures souterraines telles que les conduites d'égout, de drainage, d'aqueduc et de gaz naturel. Les plans et devis doivent donc être approuvés par plusieurs intervenants et l'exécution des travaux doit être coordonnée entre plusieurs entreprises de services publics.
- Dans la pratique, cette coordination entre les services publics et les services municipaux est complexe et provoque souvent des difficultés importantes lors de la planification et de la réalisation des travaux d'enfouissement de réseaux. Dans certaines régions administratives, les représentants d'Hydro-Québec préfèrent même prendre en charge l'ensemble des travaux (ingénierie, construction et surveillance) liés à l'enfouissement de tous les services publics câblés.
- La Commission des Services Électriques de la Ville de Montréal (CSEVM) constitue un cas d'espèce pour la mise en commun des coûts d'implantation et d'entretien de réseaux souterrains ainsi que pour la coordination des travaux de planification entre les diverses entreprises de services publics câblés. Dans le cadre de sa mission, la CSEVM fait construire et exploite le réseau de conduits souterrains de la Ville de Montréal. Elle offre la possibilité de profiter de la présence des conduits à des utilisateurs autres que les services de distribution d'électricité et de communication tels que les hôpitaux, les banques et les établissements d'enseignement.
- Depuis son incorporation au début du siècle, la CSEVM a permis d'enfouir tous les services câblés dans le centre-ville de Montréal et a déployé graduellement son réseau le long des artères principales, modification qui en fait l'une des villes nord-américaines avec un réseau de conduits souterrains les plus étendus. À travers ses réalisations, la CSEVM a acquis une expertise importante en matière d'infrastructures civiles souterraines et contribue aujourd'hui au développement de techniques et de méthodes de construction plus économiques.

bibliographie

Audiences publiques, comptes rendus et mémoires

Les références bibliographiques des travaux de la Commission scientifique et technique comprennent les mémoires, avis écrits et comptes rendus des audiences publiques. La liste des personnes et des organisations ayant contribué aux travaux de la Commission en participant aux audiences publiques ou en acheminant un mémoire ou autre écrit est publié à la fin de ce volume.

Autres documents

ACRES INTERNATIONAL LIMITED. *Underground Versus Overhead Systems*, préparé pour l'Association canadienne de l'électricité, octobre 1992.

BOUCHER, Donald. *La «petite histoire» de la CSEVM, Événements historiques concernant les «fils et poteaux» dans la Ville de Montréal*, Commission des Services Électriques de la Ville de Montréal, juillet 1991, révisé en septembre 1991.

CENTRE D'EXPERTISE ET DE RECHERCHE EN INFRASTRUCTURES URBAINES. *L'enfouissement des réseaux existants en milieu urbain: une alternative viable*, présenté à Hydro-Québec, août 1998, révisé en septembre 1998.

DUBANTON, C. *Conventions et concertations sur les lignes – Insertion dans l'environnement, Résumé des démarches actuelles en France*, Électricité de France, Production Transport, 25 août 1998, 3 pages.

HYDRO-QUÉBEC. *Évaluation des coûts de réseaux de distribution*, 1998.

HYDRO-QUÉBEC. *Établissement de la distribution souterraine – Modalités d'application*, février 1990.

HYDRO-QUÉBEC. *Directive BDN-02-66*, 31 août 1977.

GRAVEL, Pauline. «Vivre dans les champs magnétiques, est-ce dangereux? La surprenante réponse de chercheurs québécois» dans *Science & Vie*, n° 973 (octobre 1998), p. 74-77.

annexe

Les études confiées au CERIU

En octobre 1998, Hydro-Québec a mandaté le Centre de Recherche et d'Expertise en Infrastructures Urbaines (CERIU) pour réaliser une étude intitulée *L'enfouissement des réseaux existants en milieu urbain: une alternative viable?* Le mandat de l'étude est le suivant:

- Analyser des projets concrets de conversion de réseaux aériens existants en réseaux souterrains partagés, c'est-à-dire réalisés, financés et utilisés conjointement par plusieurs partenaires (municipalités et entreprises de services publics);
- Identifier les conditions technico-économiques favorisant l'enfouissement, à meilleur coût, des réseaux existants de services publics, en milieu urbain, en concertation avec les principaux intervenants du domaine municipal.

Les objectifs de l'étude sont d'identifier les coûts de conversion de réseaux aériens existants en réseaux souterrains, de dégager les façons de faire en matière de financement et de gestion des travaux de construction, d'identifier les opportunités et contraintes technico-économiques de réalisation des projets, de cerner les conditions facilitantes ou les obstacles politiques et juridiques rencontrés et de discuter de l'après-chantier, c'est-à-dire de l'entretien et de la maintenance des infrastructures souterraines.

Les produits de l'étude, qui sera complétée d'ici juin 1999, sont:

- analyser les pratiques, les coûts globaux ventilés par activité et les modes de financement;
- identifier les irritants et les problèmes liés à l'enfouissement des réseaux en milieu urbain et proposer des solutions;
- cibler les activités et/ou les pratiques qui, à la suite des modifications, permettraient de diminuer les coûts de l'enfouissement des réseaux en milieu urbain;
- identifier les modes de financement disponibles auprès des municipalités.

Outre une introduction et une synthèse des résultats, l'étude proprement dite comprend trois volets:

1. Inventaire et pratiques du souterrain au Québec

Cette partie de l'étude consiste à colliger l'information disponible auprès des intervenants à l'aide d'un questionnaire acheminé auprès des municipalités et des entreprises de services publics.

2. Analyse d'expériences québécoises et enquêtes auprès des partenaires

Cette partie de l'étude consiste en une analyse détaillée de trois ou quatre cas de villes ayant réalisé récemment un projet d'enfouissement de réseaux de services publics, avec conversion de réseau aérien en réseau souterrain.

3. Étude des modes de financement

Cette partie de l'étude consiste en un inventaire des modes de financement disponibles auprès des municipalités et autres instances, et vise à identifier les modes de gestion efficaces et générateurs d'économies tant à l'étape de construction que de l'entretien et de la maintenance.

Un plan de travail préliminaire a été préparé et présenté aux principaux partenaires de projets d'enfouissement de réseaux de services publics. Un comité directeur a également été constitué, regroupant des représentants des organismes suivants :

- Hydro-Québec;
- Bell Canada;
- l'Association des câblodistributeurs du Québec;
- Gaz Métropolitain;
- La Commission des Services Électriques de la Ville de Montréal;
- l'Union des municipalités du Québec;
- l'Union des municipalités régionales de comté du Québec;
- la Ville de Greenfield Park;
- la Ville de Laval.

L'étude réalisée par le CERIU en collaboration avec ces partenaires devrait ainsi permettre de dégager les potentiels et contraintes liés à l'ingénierie, la construction, l'exploitation et la maintenance de réseaux souterrains en milieu urbain où cohabitent plusieurs services publics tels ceux de la distribution électrique, la téléphonie, la câblodistribution, les télécommunications, l'éclairage public, le contrôle de la signalisation routière et autres réseaux privés du même type.

