

REGIE DE L'ÉNERGIE

CAUSE R-3473-2001

Demande d'appropriation pour la mise en place par le Distributeur  
d'électricité de mesures d'économies d'énergie

Augmentation du potentiel technico-économique  
en efficacité énergétique

« Les technologies émergentes :  
barrières et intervenants »

Rapport d'expertise préparé par  
Jocelyn Millette ing. Ph.D.

pour le CERQ

4 février 2003

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	3
<b>2. BARRIÈRES, RÔLES ET OPPORTUNITÉS</b> .....	5
2.1 Les barrières .....	5
2.2 Rôle d'Hydro-Québec .....	6
2.3 Rôle de la RDD: (recherche développement démonstration) .....	7
2.4 Rôle du gouvernement (réglementation) : .....	8
2.5 Contexte.....	8
<b>3. MARCHÉ RÉSIDENTIEL</b> .....	11
3.1 Minimisation de l'énergie consommée.....	11
3.2 Rôle d'Hydro-Québec .....	15
3.3 Rôle des organismes réglementaires, gouvernements .....	16
3.4 Production efficace de l'énergie thermique .....	16
3.5 Avantages connexes .....	17
<b>4. MARCHÉ COMMERCIAL, INSTITUTIONNEL</b> .....	18
4.1 Rôle d'Hydro-Québec .....	18
4.2 Rôle des organismes réglementaires, gouvernements.....	18
4.3 Technologies émergentes dans le domaine commercial et institutionnel ...	19
<b>5. MARCHÉ INDUSTRIEL</b> .....	22
5.1 Rôle d'Hydro-Québec .....	22
5.2 Technologies émergentes dans le domaine industriel .....	23
<b>6. CONCLUSION</b> .....	30
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	31

## 1. INTRODUCTION

Ce mémoire traite des différents moyens d'augmenter le potentiel technico-économique de l'efficacité énergétique au Québec et des avantages sociaux-économiques associés à la réalisation de ce potentiel. Nous identifierons sommairement les barrières empêchant la réalisation et/ou l'élargissement du potentiel technico-économique. Ayant identifié ces barrières, des moyens sont suggérés afin de les franchir.

Les rôles des différents acteurs, Hydro-Québec, la recherche développement démonstration (RDD) et les instances réglementaires sont discutés afin de maximiser l'ampleur et la réalisation du potentiel technico-économique de l'efficacité énergétique.

Une fois les barrières connues, le rôle de chacun défini, l'examen des technologies émergentes en efficacité énergétique sert à évaluer leur potentiel et les actions nécessaires à leur implantation. Une partie du mémoire présente une liste des différentes technologies émergentes dans les domaines résidentiel, commercial et institutionnel et industriel.

La liste des technologies émergentes en efficacité énergétique provient en partie d'études américaines [3, 4, 6, 7, 11]. Vu le contexte des États-Unis et des autres provinces (sauf la Colombie-Britannique) concernant leur mode de production d'électricité à l'aide de combustible fossile et l'efficacité d'environ 33% qui y est associée, les technologies émergentes doivent être examinées dans un tout autre contexte pour le Québec. Aux États-Unis, Les technologies utilisant plus d'électricité que 0.33 fois leur équivalent en combustible fossile sont classées peu intéressantes; ce qui n'est pas le cas au Québec.

L'efficacité énergétique ne saurait être dissociée de l'aspect environnemental. Au Québec, l'électricité est produite à 96% de façon hydraulique et produit peu de GES [1]. Ce fait ne saurait nous dispenser de faire des efforts. Dans un contexte mondial et avec la ratification du protocole de Kyoto par le Canada, il s'agit d'une opportunité tant au niveau efficacité énergétique, environnemental que économique.

De plus, l'emphase est mise sur l'absolue nécessité d'aborder le problème de l'efficacité énergétique en ne le segmentant pas selon la source d'énergie : électricité, gaz, carburant fossile, biomasse, renouvelable. Afin de produire un impact majeur au niveau de l'augmentation de l'intensité énergétique, il faut aborder le problème sous cet angle afin d'éviter un déplacement du problème et empêcher une solution réelle du problème.

## 2. BARRIÈRES, RÔLES ET OPPORTUNITÉS

### 2.1 Les barrières

Les principales barrières au transfert technologique dans les secteurs commercial, institutionnel et industriel sont : [3, p.13]

- règles décisionnelles corporatives (taux de recouvrement élevé, imputation aux différents départements)
- manque d'information
- capital ou technologie non disponible
- manque de personnel qualifié (surtout dans le CI et dans les PMI)
- le faible prix de l'énergie
- le risque perçu
- l'« invisibilité » des économies d'énergie.

Dans le domaine résidentiel, le client fait face aux barrières suivantes :

- manque d'information
- capital non disponible
- le faible prix de l'énergie
- le risque perçu (vais-je sauver et combien?)
- l'« invisibilité » des économies d'énergie.

Cependant il est moins sensible aux indicateurs financiers tel la période de recouvrement (PRI). Les individus sont plus interpellés par le coût initial en capital. La notion de confort tend à supplanter la notion d'économie d'énergie [14]. Cependant, avec la ratification du protocole de Kyoto, les gens pourraient devenir plus sensibles aux économies d'énergie.

De plus, la notion d'efficacité devrait être vendue sous la notion de confort; une enveloppe de bâtiment mieux isolée est plus confortable, un système de chauffage

sans surchauffe et ayant une bonne répartition est plus confortable, une maison solaire passive est confortable et offre un éclairage naturel sans égal.

Afin d'aider à surmonter ces différentes barrières, les gouvernements, les utilités et le secteur privé doivent s'impliquer dans cette transformation de marché. Ils en retirent tous des avantages à la condition de respecter leurs exigences : [12]

- Le secteur privé permet d'augmenter le nombre et d'améliorer les outils de transformation de marché.
- Le privé n'est pas seulement influencé par la transformation de marché mais doit influencer celle-ci.
- Le secteur public n'est pas seulement là pour influencer le marché mais est lui-même influencé par cette transformation de marché.

Selon [3, p.8], une technologie émergente est une technologie commerciale qui est implantée dans moins de 5% du marché ou pré-commerciale mais près d'être commercialisée.

## **2.2 Rôle d'Hydro-Québec :**

Hydro-Québec est en mesure de fournir une information juste et crédible sur les technologies en efficacité énergétique. En fait, elle très bien positionnée dans ce domaine grâce, entre autre chose, à son centre de recherche et son expertise en utilisation de l'électricité.

L'adoption d'une technologie émergente s'effectue selon une courbe en « S », progression lente au début, croissance forte par la suite et croissance soutenue par la suite. Les débuts lents sont dus à un coût encore élevé de la technologie qui baissera lorsque la croissance s'accroîtra et à un risque perçu comme élevé [3, p.13]. Hydro-Québec peut jouer un rôle déterminant dans l'évolution du début de la courbe et devancer la date où la croissance devient marquée. Pour plusieurs raisons :

- Hydro-Québec est en mesure de répertorier et cibler les technologies émergentes en efficacité énergétique qui ont du potentiel; ce que les PMI ne peuvent pas faire par manque de ressources et de compétences. Elle peut le faire dans le domaine industriel de façon objective.
- Baisser le risque perçu en cautionnant cette technologie; Hydro-Québec est crédible dans le domaine de l'énergie.
- Favoriser la baisse du prix de revient en adoptant cette technologie pour elle-même (« early adopter »)

Le manque d'information et de personnel qualifié chez les clients peut être suppléé par les délégués commerciaux d'Hydro-Québec. À l'instar des programmes SIE (service d'implantation des électrotechnologies), nous pourrions penser à un programme SIEE (service d'implantation efficacité énergétique). Présentement, les délégués commerciaux sont évalués selon les ventes additionnelles d'électricité. Pourrait-on penser à un mode d'évaluation basé sur les économies d'énergie réalisées ? sur l'énergie totale (et non seulement électricité)?

### **2.3 Rôle de la RDD: (recherche développement démonstration)**

Les instituts de recherche peuvent contribuer par des mesures en laboratoire et par des projets pilotes en industrie à rassembler, à bâtir et rendre disponible une information de qualité et impartiale sur les technologies émergentes en efficacité énergétique.

Les mesures sur site dans des projets de démonstration permettent de rendre tangible les économies d'énergie et d'assurer la pérennité des économies.

La RDD et plus particulièrement la démonstration permet de réduire le risque perçu des technologies en efficacité énergétique et d'augmenter les PRI acceptables.

Elle permet de développer de nouvelles technologies émergentes en efficacité énergétique. Elle permet de réduire les coûts des technologies en efficacité énergétique. Partout dans le PGÉE d'Hydro-Québec, il est dit que les technologies considérées doivent « être éprouvées » afin d'être considérées dans le potentiel technico-économique. Notre compréhension du terme laisse sous-entendre que les technologies émergentes sont exclues du potentiel car celles-ci étant adoptées par moins de 5% du marché, elles ne sont « pas éprouvées ». La RDD pourraient servir à élargir considérablement l'assiette de technologies admissibles.

#### **2.4 Rôle du gouvernement (réglementation) :**

Les appareils ont souvent des prix prohibitifs avant la réglementation; après, les prix diminuent sous un effet de volume. Il y a donc un effet positif de la réglementation sur le marché.

#### **2.5 Contexte**

Il existe un contexte particulier au Québec par rapport aux autres provinces (excluant la Colombie-Britannique) et les États-Unis, l'électricité y est produite à 96% de façon hydraulique plutôt qu'à l'aide de carburants fossiles. Il faut donc évaluer de façon différente les technologies émergentes en efficacité énergétiques au Québec versus le reste de l'Amérique du Nord.

Certaines technologies sont rejetées aux États-Unis sur la base de l'efficacité énergétique parce ces technologies impliquent une utilisation accrue de l'électricité au détriment des carburants fossiles. Il faut comprendre qu'avec des rendements de génération d'électricité d'environ 33% pour des centrales à carburant fossile, une technologie utilisant de l'électricité doit utiliser moins de 0.33 fois l'énergie fossile initiale afin d'être globalement rentable sur le plan énergétique. Ce qui n'est pas le cas au Québec. De plus, une réduction massive des GES est alors obtenue.

Les technologies doivent être adaptées et choisies selon le contexte du Québec et du protocole de Kyoto.

Notamment les centrales de production d'électricité et de chaleur combinée (« Combined heat and power » ou CHP) dans les industries sont une bonne chose aux États-Unis parce qu'elles permettent une utilisation des rejets thermiques autrement gaspillés; elles permettent de hausser l'efficacité globale obtenue en brûlant du carburant fossile afin de produire de l'électricité.

L'efficacité devrait être regardée de façon intégrée indépendamment de la source d'énergie :

- Plusieurs technologies permettent de réduire la consommation énergétique totale tout en augmentant légèrement la consommation électrique. Elles sont laissées pour compte par le distributeur d'électricité parce qu'il n'y a pas économie d'électricité. Et elles sont laissées pour compte dans un mode de fonctionnement du distributeur d'électricité où les investissements nécessaires à l'implantation ne peuvent être justifiés sur une base de vente et de profit additionnel suffisant.
- Les analyses de pincement pourraient donner leurs pleins potentiels en industrie.
- Les rejets thermiques à basse température provenant de la combustion de carburants fossiles pourraient être valorisés et servir à effacer une partie de la consommation électrique.
- Les efforts seraient dirigés vers une résolution du problème plutôt qu'un déplacement de celui-ci. Par exemple; le travail sur l'enveloppe du bâtiment permettrait de réduire les pertes avant de parler du choix de la source d'énergie servant à combler ces pertes et des efficacités de ces différentes sources.

Les meilleures économies se font sur des systèmes. L'appareil miracle qui amènera une économie faramineuse n'existe pas. L'intégration des procédés, des

systèmes HVAC et des systèmes énergétiques, etc. est la voie de l'optimisation et de l'efficacité. Par exemple :

- L'enveloppe thermique d'un bâtiment et les appareils situés à l'intérieur (effets croisés)
- Moteur et charge entraînée
- Analyse de pincement sur une usine

À une échelle plus grande encore, nous gagnerions tous à envisager une vision systémique des industries et favoriser une écologie industrielle, commerciale et institutionnelle. Les mouvements d'énergie seraient possibles entre les participants dans le but de maximiser l'utilisation la plus efficace de l'énergie.

### **3. MARCHÉ RÉSIDENTIEL**

Avant de discuter de l'efficacité et de la façon dont nous prévoyons produire et transformer l'énergie, il convient de parler de la réduction de la consommation.

#### **3.1 Minimisation de l'énergie consommée**

Dans le domaine résidentiel, environ 43% de la consommation énergétique (50 TWh/an) sert au chauffage des locaux [28], 17% sert au chauffage de l'eau et le reste pour les appareils électroménagers et autres. De la consommation attribuable aux électroménagers et autres, une bonne partie de celle-ci est récupérée en chaleur et contribue au chauffage des locaux. C'est donc dire que s'il y avait moins de consommation par les électroménagers la charge de chauffage augmenterait; il s'agit des effets croisés.

Donc, vu la quantité d'énergie nécessaire au chauffage des locaux et les effets croisés, la mesure ayant le plus d'impact sur la réduction de la consommation énergétique dans le domaine résidentiel demeure l'amélioration de l'enveloppe thermique. Dans le « rapport final du projet EVAL-ISO » [19], des économies substantielles sont prévisibles pour la réfection de l'enveloppe du bâtiment. Selon cette étude, pour les maisons unifamiliales chauffées à l'électricité, le potentiel d'économie pour l'isolation des toits est de 403 GWh/an et de 384 GWh/an pour l'isolation des murs. Pour les duplex-triplex, il s'agit de 585 GWh/an pour les toits et de 280 GWh/an pour les murs. De ce potentiel total pour les unifamiliales et des duplex-triplex (1652 GWh/an), 2 GWh/an ont été réalisés [14], il s'agit de 0.1%.

De plus, dans ce rapport, les multiplex n'ont pas été traités et correspondent en nombre à environ 40% des duplex-triplex. En postulant des techniques de construction similaires et une distribution selon les âges de construction similaire, nous pouvons estimer le potentiel à 234 et 112 GWh/an pour les mêmes items. Cette évaluation est une limite inférieure compte tenu des consommations plus

grandes associées à ce type de bâtiment. Pour les unifamiliales, duplex-triplex et multiplex, il s'agit d'un potentiel total d'environ 1.2 TWh/an pour l'isolation des toits et de 0.8 TWh/an pour les murs.

L'isolation des murs constitue souvent un investissement majeur compte tenu de l'ampleur des travaux nécessaires. Cependant, l'isolation des toits est plus facile à effectuer et constitue le potentiel le plus élevé. Selon l'étude [19], l'isolation du toit d'un duplex-triplex typique pourrait représenter environ 5000 kWh/an d'économie. Des coûts estimés par un entrepreneur en construction [21] pour l'isolation de toits plats oscilleraient autour de 2000\$ pour le bâtiment typique considéré. Il s'agit donc d'un coût de 0.40\$/kWh annuel économisé. Pour un coût de 0.06\$/kWh, il s'agit d'une période de recouvrement simple de 6.7 années. Il s'agit d'une période de recouvrement qui commence à être intéressante. De plus, lors de réfection de toiture, le coût marginal est beaucoup plus bas et il est alors très avantageux d'isoler l'entretoit.

L'examen de la figure 1, tirée de la référence [28], montre une diminution drastique du potentiel d'économie dans le domaine résidentiel. Une des causes citée est « la meilleure connaissance des paramètres ». Est-ce une majoration des coûts associés à la réfection de l'enveloppe thermique ou une diminution des économies attribuables à cette réfection énergétique qui a réduit la taille du potentiel? Une étude plus approfondie des résultats des études de rénovation des enveloppes thermiques pourrait amener un éclairage à ce niveau et permettre d'augmenter et de concrétiser le potentiel d'économie d'énergie.

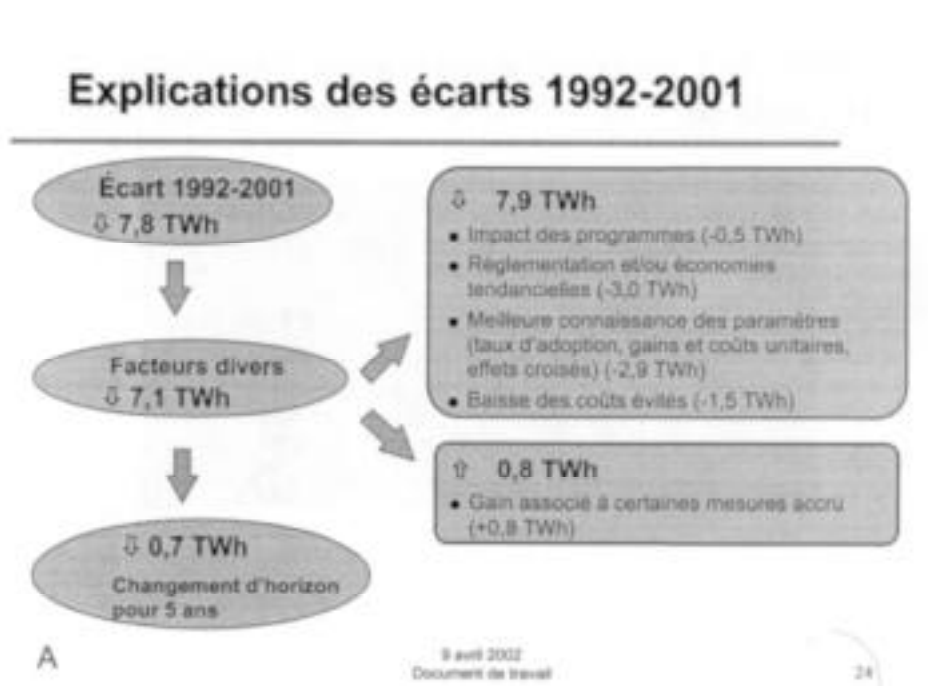


Figure 1. Explications de la diminution du potentiel entre 1992 et 2001 dans le domaine résidentiel, Tirée de [28]

La réduction de la consommation d'énergie nécessaire au chauffage de l'eau domestique passe par :

- une diminution de la quantité d'eau chaude consommée par les appareils ménagers:
  - Machine à laver à axe horizontal
  - Lave-vaisselle efficace
  - Cependant, un effort colossal a été réalisé au début des années 1990 afin de maximiser l'efficacité des appareils électroménagers [18] et le potentiel est sensiblement réduit.
  - Les manufacturiers et les organismes de normalisation sont interpellés à ce sujet.
  
- La sensibilisation et les mesures comportementales des consommateurs. Le lavage à l'eau froide, l'utilisation efficace du lave-vaisselle, ... Hydro-Québec

doit continuer à renseigner ses clients sur les coûts associés aux usages de l'eau chaude.

Une quantité importante d'énergie est nécessaire afin d'assurer la qualité de l'air dans les habitations:

- Convaincre les gens de la nécessité d'étanchéiser les habitations et contrer la perception des gens qu'une maison « doit respirer » de façon naturelle.
- Travailler à de meilleurs contrôles des ventilateurs à récupération de chaleur (VRC) , la sur-ventilation amène une surconsommation énergétique:
  - Coûts abordables des contrôles (la RDD peut aider à ce sujet et Hydro-Québec aussi en agissant comme « early adopter» afin d'aider à la transformation de marché)
  - En présence de polluants : filtrer l'air plutôt que la rejeter à l'extérieur.
  - En présence de CO<sub>2</sub> : effectuer un changement d'air
  - Pour le contrôle de l'humidité : sonde extérieure de température combinée à un hygrostat stable et peu coûteux
  - Les lasers à faible prix et faible puissance pourraient être utilisés afin de compter les poussières dans l'air de ventilation et assurer une ventilation adéquate.

Une grande quantité d'énergie dans le domaine du chauffage pourrait être économisée en adoptant de nouveau design pour les nouvelles habitations, à la fois pour les bâtiments résidentiels et commerciaux. En fait il s'agit des plus gros potentiels estimés selon l'étude [7]:

- Solaire
- Contrôle et meilleure disposition de la ventilation

Tel que discuté, les barrières à l'efficacité sont le manque d'information, le capital nécessaire à la réalisation des travaux, le faible prix de l'énergie, le risque de ne pas se voir concrétiser les économies et l'invisibilité des économies. Examinons le rôle de chacun afin de palier à ces barrières .

### 3.2 Rôle d'Hydro-Québec :

- Connaître l'état du parc immobilier et faire connaître aux gens l'état de leur habitation par le biais :
  - Site Internet :
    - ◆ Ségrégation de la consommation facturée des usagers selon les usages (chauffage, eau chaude, autres appareils majeurs)
    - ◆ Évaluation de la qualité de l'enveloppe de leur habitation à l'aide de leurs consommations facturées.
  - Audit énergétique sur site, test d'infiltrométrie, caméra infra-rouge
  - D'une banque constituée des données recueillies par le site Internet, les audits et des mesures sur différents sites.
  - Comparaison entre les consommations réelles des abonnés et la moyenne représentative de leur groupe. Comparaison entre leur consommation et les meilleurs cas (« best cases »). Proposition d'améliorations énergétiques et calculs des économies pour leur cas précis (« what if ») par rapport au chauffage de l'espace, de l'eau et des autres gros usages.
- Appuyer les efforts de réfection de l'enveloppe des bâtiments au Québec :
  - En informant ses clients qu'il s'agit de la meilleure façon de réduire leur facture.
  - En faisant la promotion du confort accru amené par l'amélioration de l'enveloppe thermique. Les gens sont prêts à investir dans le confort sans pourtant se préoccuper du retour sur l'investissement.
  - En faisant connaître les résultats de ses projets de rénovation de l'enveloppe, à diffuser l'information sur la réfection énergétique des bâtiments en collaboration avec l'OEE et l'AEE.
  - Dans une ambiance Kyoto, Hydro-Québec pourrait être la bougie d'allumage à une rénovation majeure du parc résidentiel (publicité,

subvention, prêts sans intérêt, étalement des paiements sur la facture d'électricité, ...)

### **3.3 Rôle des organismes réglementaires, gouvernements :**

- Imposer, lors de l'émission de permis de construction pour la réfection de toiture, une inspection obligatoire concernant l'isolation de l'entretoit.
- Subventionner les coûts marginaux lors de rénovation énergétique.
- Réglementer, au point de vue énergétique, la rénovation des bâtiments résidentiels. Et ce, afin d'éviter la problématique des propriétaires non-occupants qui ne veulent pas investir dans l'efficacité énergétique parce que les frais de chauffage sont à la charge du locataire. Le client aurait le fardeau de la preuve qu'il ne peut faire d'efficacité à un coût abordable; i.e. que les coûts marginaux sont trop élevés (déjà isolée, parement difficile à enlever, ...). Les frais encourus pour les rénovations énergétiques pourraient être admissibles à la régie du loyer comme argument de hausse du loyer.

### **3.4 Production efficace de l'énergie thermique**

Une fois l'utilisation de l'énergie minimisée, l'efficacité peut s'appliquer au système de chauffage :

- Utilisation des machines thermiques pour produire la chaleur de façon plus efficace :
  - L'utilisation de l'électricité pour des fins de production de chaleur compte pour 60% de la consommation dans le domaine résidentiel [28]. Il s'agit donc d'un potentiel énorme pour l'utilisation de machines thermiques et la récupération des rejets de chaleur à basse température.
  - Thermopompes géothermiques pour le chauffage de l'eau sanitaire et de l'espace. Les thermopompes géothermiques permettent de conserver un coefficient de performance entre 3 et 4, i.e. pour 1 kWh d'énergie

électrique consommée, entre 3 et 4 kWh de chauffage sont fournis. Les thermopompes air-air conventionnelles sont inefficaces sous nos climats. [22]

- Manitoba Hydro prête jusqu'à 15 000\$ sur 15 ans pour l'achat et l'installation d'une thermopompe géothermique quel que soit le système existant (gaz, bois, électrique, neuf, ...) [23]
  - L'utilisation d'un système géothermique commun pour un développement domiciliaire permettrait de réduire les coûts d'achat et amortir l'investissement plus rapidement.
- Lorsque l'enveloppe est isolée et étanche, la taille des systèmes de chauffage peut être réduite d'où une économie lors du remplacement des équipements [6].

### **3.5 Avantages connexes**

La meilleure connaissance par Hydro-Québec de son parc immobilier a plusieurs avantages pour celle-ci dans sa mission de base:

- Aide au dimensionnement de son réseau de distribution : reprise après panne, pointe journalière, impact sur les tarifs.
- Mise sur pied de programme d'efficacité énergétique plus adéquat en pouvant quantifier les économies, les impacts sur les réseaux de distribution (par exemple, l'introduction de thermostats programmables sur la pointe de consommation lors de la reprise simultanée de tous les thermostats.)

## **4. MARCHÉ COMMERCIAL, INSTITUTIONNEL**

Ce marché compte pour 26.7 TWh par an [29]. Le chauffage de l'espace compte pour 7.3 TWh, le chauffage de l'eau pour 1.3 TWh, l'éclairage pour 8.7 TWh, la ventilation pour 6.2 TWh . La rubrique HVAC compte donc pour 55% de la consommation. C'est donc dire que les travaux sur l'enveloppe thermique des bâtiments offrent un bon potentiel d'efficacité énergétique.

### **4.1 Rôle d'Hydro-Québec :**

- Fournir aux intéressés une compréhension de leur consommation selon les différents usages afin qu'ils puissent eux-mêmes avoir une action sur leur consommation. À l'aide de:
  - Outils internet. Ségrégation de la consommation selon les usages majeurs et selon le type de commerce. Mesures d'économies proposées.
  - Audit énergétique.
  - Mesurage par usage sur le site. Il existe une grande demande de la part des intéressés de connaître la consommation par usage à l'intérieur de leur bâtiment. De plus le mesurage sur site permet :
    - ◆ Découvrir des opportunités
    - ◆ Quantifier les économies
    - ◆ Aider à la gestion quotidienne
    - ◆ De mieux dimensionner les appareils HVAC.
  - Visite d'un représentant Hydro-Québec pour faire de l'efficacité énergétique.
  - Comparaison avec des pairs et « Best cases »

### **4.2 Rôle des organismes réglementaires, gouvernements:**

- Réglementer plus sévèrement, vu la problématique des utilisateurs/locataires dans plusieurs cas, au niveau énergétique la construction et la rénovation des bâtiments commerciaux et institutionnels.

### 4.3 Technologies émergentes dans le domaine commercial et institutionnel :

À l'instar de l'étude danoise, les efforts doivent être concentrés sur les technologies émergentes et leur mise en oeuvre:

*“Priority should be shifted from theoretical feasibility studies to practical pilot projects and evaluations” [16]*

Les technologies émergentes<sup>1</sup> suivantes [6] gagneraient à être épaulées par de la RDD afin d'augmenter leur pénétration :

- Beaucoup d'efforts restent à faire sur la gestion et le contrôle des équipements CVC et l'apport d'air frais. Une vision système est à préconisée plus qu'une approche par produit.
  - Par exemple: sonde CO<sub>2</sub> pour doser l'apport d'air frais. Fermer complètement l'apport d'air frais (habituellement minimum 10%) lorsqu'il n'y a personne.
  - Admission d'air extérieur pour la climatisation (Free-cooling), lorsque celle-ci a une température humide plus basse que l'air intérieur.
  - Gestion intégrée améliorée du système HVAC. Des économies de 15% ont été reportées dans le domaine de la restauration rapide [6].
  - L'utilisation de compresseur à vitesse variable pour la climatisation permet des économies substantielles, jusqu'à 28% de l'énergie nécessaire à la climatisation dans un hôtel (mesures effectuées pendant 14 mois) [6]
  
- L'utilisation de systèmes distribués (post-chauffage en fin de course) évite un sur-dimensionnement des systèmes centraux, permet d'utiliser les

---

<sup>1</sup> Le document [6], *Emerging Technology database*, dresse une liste intéressante de près de 115 technologies émergentes concernant le bâtiment.

systèmes à leur pleine capacité et assure une efficacité saisonnière plus élevée des systèmes à combustibles fossiles.

- L'utilisation de thermopompes géothermiques est rentable dans le domaine commercial et institutionnel. Le potentiel de réduction s'applique sur 55% (HVAC) de la consommation énergétique globale de ce segment. Le coût d'investissement est rapidement amorti vu les charges de chauffage et de climatisation élevées.
  - Par exemple, « L'institut de réadaptation en déficience physique de Québec » a connu un retour sur son investissement en 3.1 années pour une thermopompe géothermique fournissant 20% de ses besoins en chauffage[24]. Pour les commerces et institutions se chauffant au carburant fossile, l'utilisation d'une thermopompe géothermique se traduirait par une augmentation de l'efficacité énergétique accompagnée d'une réduction des GES.
  - Des projets de démonstration et la promotion des résultats auprès de la clientèle CI permettraient de réduire le risque perçu de cette technologie et d'augmenter sa diffusion.
- Le scellement des conduites de chauffage par des enduits en aérosol. L'étude américaine [6] estime à plus de 25% les économies sur la charge de chauffage et climatisation d'un bâtiment en particulier. L'étude américaine [7] estime à 2.83% sur le total de la consommation des secteurs résidentiel et commercial les économies associées à cette mesure.
- Éclairage :
  - Ballast électronique à gradation et adressable (DALI, « digital adressable lighting interface»). Certains affirment que des économies de 30 à 60 % sur l'éclairage peuvent être réalisées. [25]
  - L'utilisation de fluorescent T5 à la place de T8 permet d'augmenter l'efficacité de 5% (15% si la correction en température est appliquée) [26]

- Éclairage naturel permet de réduire de 50% dans certain cas. S'applique surtout dans la nouvelle construction. Dans le domaine de la restauration rapide, des économies de 25% ont été reportées [6].
- Fermeture automatique des éclairages lorsque inoccupé par un gestionnaire (DALI)
- La présence de végétation sur les toits des édifices permet de réduire la charge de climatisation en été (de 20 à 30%), augmente la durée de vie des toits, réduit la température urbaine et absorbe le CO<sub>2</sub> [27].

## 5. MARCHÉ INDUSTRIEL

Le marché des petites et moyennes industries compte pour 9.5 TWh [29]. Les grandes industries comptent pour environ 57 TWh [30]. Ces deux secteurs représentent 43 % de la consommation totale québécoise.

### 5.1 Rôle d'Hydro-Québec :

- Effectuer des audits énergétiques en usine. Au Danemark, les utilités doivent s'assurer que les clients utilisent l'électricité le plus efficacement possible.

*“In 1994, a new electricity law put emphasis on Integrated Resource Planning as part of the utilities' obligations. The law commits the distribution utilities to help ensure that the customers use the electricity as effectively as possible. Each utility must have an IRP-plan and must report the results to the Energy Agency every second year.” [17]*

- Les utilités exécutent gratuitement des audits énergétiques chez leurs clients CI et industriels. Les audits ont permis de faire prendre conscience aux compagnies du potentiel de conservation dans le domaine de l'énergie [17]. Cette étude débat aussi de la gratuité de tels audits :

*“... for free are that the companies which lack knowledge about electricity audits cannot be expected to hire and pay for a consultant. Due to the lack of knowledge those companies do not know the potential conservation which the audit can show, and therefore they will find it too insecure to pay the price of a consultant. Conversely, it is mentioned that companies like to be in control of the activities*

*which concern themselves. If they pay for the audit themselves, they have a chance of being part of the planning of the audit.”*

- S'impliquer dans la RDD avec les entreprises afin de permettre aux technologies émergentes de finaliser leur développement, faire des projets de démonstration, recueillir et diffuser l'information. Ces actions permettent de baisser le niveau de risque perçu, de palier au manque d'information, de quantifier les économies réalisées et dans une certaine mesure contribuer à la transformation de marché en créant un groupe de « early adopters ».

## 5.2 Technologies émergentes<sup>2</sup> dans le domaine industriel :

Dans le domaine industriel, les technologies sont spécifiques aux procédés et peuvent être plus facilement ciblées. À l'aide de l'étude américaine [3], une liste de technologies applicables et favorables au contexte québécois est présentée :

- Digestion anaérobique des boues organiques (sites d'enfouissement, papetières, égout municipal, déjection animale)
  - La matière organique des boues est fermentée sans oxygène dans un réservoir. Le méthane (CH<sub>4</sub>) produit est capté, nettoyé et utilisé pour le chauffage ou la production d'électricité.
  - Consomme beaucoup moins d'électricité que la digestion aérobie (34% de moins [3]).
  - Au Québec, on enfouit les boues; donc on ne fait ni une ni l'autre.
  - Sous les auspices de Kyoto, le méthane étant un GES beaucoup plus nocif que le CO<sub>2</sub>, nous aurions avantage à capter et à brûler ce méthane plutôt que le laisser s'échapper des sites d'enfouissement. De plus, cette énergie est valorisée; il s'agit de biomasse donc ayant

---

<sup>2</sup> Le document [3], *Emerging energy-efficient industrial technologies*, dresse une liste intéressante de près de 175 technologies émergentes industrielles, dont 54 offrent un potentiel intéressant.

un bilan nul sur les GES. De plus, il n'y a pas de carburant consommé pour le transport et l'enfouissement.

- Au Québec, en 2000, 9 430 000 tonnes de matières résiduelles ont été produites [31,32]. De ces matières résiduelles, 61% ne sont pas recyclées. Sur ces matières non-recyclées, 76.5% sont enfouies [34]. Il s'agit donc d'environ 4 400 000 tonnes enfouies en 2000. Selon [33], 1 tonne de matière enfouie peut, sur une période de 10 à 40 ans, libérer 125 m<sup>3</sup> de méthane. Avec le pouvoir calorifique inférieur du méthane de 33 340 kJ/m<sup>3</sup>, il s'agit d'une puissance thermique de 582 MW seulement pour les déchets sans compter les boues de papetières, les déjections animales et les boues des usines d'épuration.
  - Ce type de projet risque de ne pas présenter un intérêt majeur pour un producteur d'électricité ou un distributeur de gaz vu les quantités minimales en jeu. Il risque de ne pas contribuer à des ventes additionnelles suffisantes d'électricité afin de justifier un intérêt.
- Compresseurs pour l'alimentation en air comprimée :
    - Amélioration des contrôles : 3.5% d'économie prévisible [3]
    - Optimisation du système (pertes, réduction de la pression d'alimentation, ...): 20 à 50 % d'économie [3]
    - Est-ce le meilleur choix énergétique pour effectuer le travail? Quelques fois, une autre source d'énergie est plus efficace et tout aussi adéquate afin d'effectuer le travail.
    - Diffusion de l'information par des réalisations particulièrement réussies où les économies et les aspects positifs de l'implantation de la mesure sont mis en évidence. (« best cases » [9])
  - Réduction des pertes dans les transformateurs d'alimentation électrique
    - Aux États-Unis, 60% des pertes sur le réseau sont dues aux transformateurs de distribution [35]. Les pertes associées aux

transformateurs de distribution sont estimées à 79 TWh [8] aux États-Unis. En faisant un ratio de la population québécoise et de celle des États-Unis, il est possible d'estimer ces pertes à 1.8 TWh pour le Québec. De ces pertes, les trois quarts se produisent dans les entrefers[35]. L'utilisation de transformateurs ayant des noyaux en matériau magnétique amorphe permet de réduire les pertes de 60 à 70%; ce qui équivaut à une économie de 0.8 à 0.95 TWh. Des matériaux à grains orientés ont récemment été utilisés afin de réduire encore les pertes et permettre une réduction des coûts.

- Ces transformateurs peuvent être utilisés à l'intérieur des industries pour augmenter l'efficacité énergétique et réduire les coûts d'opération. Des réductions de 0.3 à 1.5% de la consommation totale des entreprises sont envisageables [8].
  - Aux États-Unis, les utilités, les fabricants et les industries travaillent de concert au développement et à la mise en marché de transformateurs plus efficaces [8].
- Optimisation de l'ensemble moteur-équipement entraîné
    - Beaucoup d'efforts ont été déployés afin de remplacer les moteurs en industrie par des moteurs plus efficaces. Ensuite, des optimisations du système moteur / équipements entraînés ont été réalisées [36] et devraient se poursuivre. L'étude américaine note une amélioration d'efficacité de 20 à 50 % sur les systèmes jugés intéressants pour un audit [3, p.131].
    - Les utilités américaines offre le service d'optimisation de la performance du système moteur-équipement. (« Performance optimisation service ou POS »)
    - Sur la pertinence de l'utilité à réaliser ce service et de la difficulté à promouvoir ce service par l'entreprise privée:

- ◆ « Credibility is enhanced by the objectivity of the service provider. »[3, p.131]
- ◆ « First, the concept is complex and difficult to explain even to a technical audience. This barrier is more difficult with smaller companies, where the customer is less technically-versed than in large industries. Engineering fees account for most of a project's cost, and customers have shown a reluctance to approve these expenditures. Since limited customer demand ...engineering design community has been reluctant to develop the required specialized skills »[3, p.131]
  
- Exemple des interventions :
  - ◆ Réduction des pertes de charge dans la tuyauterie pour le pompage.
  - ◆ Opération des pompes à leur point d'opération optimale. Leurs courbes caractéristiques (leur rendement) fluctuent énormément si elle opèrent en dehors du point d'opération nominal.
  
- Utilisation de « best case » [10] et d'une équipe bien formée. Souvent les PMI n'ont pas le personnel qualifié pour faire ce genre de travail.
  
- Réfrigération dans l'alimentaire :
  - L'utilisation de nouveaux fluides de réfrigération pour l'alimentaire permet de réduire de 2 à 20% la consommation nécessaire [3].
  - La production de froid par hydrure métallique a été réalisée au Japon à l'aide de prototypes et une réduction d'énergie consommée de 20% par rapport au cycle conventionnel a été mesurée [3].
  
- L'utilisation de fluorescents efficaces :
  - T5 à la place de T8 permet d'augmenter l'efficacité de 5% (15% si la correction en température est appliquée) [26]

- Amélioration des procédés de production primaire de l'aluminium :
  - Depuis les 15 dernières années, les gouvernements du Québec ont fait un choix social important en favorisant l'implantation et l'agrandissement d'alumineries afin de créer des emplois. Ce choix social s'avère déjà très coûteux et se traduit par la perte de plusieurs centaines de million de dollars par année pour Hydro-Québec.
  - La production de l'aluminium par le procédé Hall-Héroult demande environ 14.5 kWh/kg. La consommation énergétique représente de 20 à 30% du coût de production total de l'aluminium. [3, p.118]
  - Il existe actuellement plusieurs technologies émergentes qui permettent des économies majeures. Entre autres, les anodes inertes, les cathodes mouillables et les cellules bipolaires. Ces technologies combinées peuvent réduire la consommation énergétique jusqu'à 25% et éliminer les émissions de gaz à effet de serre du procédé Hall-Héroult [3]. Avec ces technologies, la consommation énergétique passe de 14.5kWh/kg à 11kWh/kg. Il s'agit d'environ 4.3 TWh/an d'économie pour la seule industrie de l'aluminium.
  - Les institutions de recherche et développement québécois sont peu impliquées dans les activités axées sur la commercialisation des technologies qui présentent le plus grand potentiel d'efficacité énergétique dans ce domaine. Actuellement les efforts de RDD sont orientés sur la ré ingénierie des cellules Hall-Héroult existantes. A long terme, ces efforts ont un potentiel limité par rapport aux nouvelles technologies d'électrodes inertes. Les centres de recherche du gouvernement, des industries(Alcoa et Alcan) ainsi que d'Hydro-Québec doivent être pro-actifs dans ce domaine afin de s'assurer que ces technologies soient implantées rapidement au Québec lorsqu'elles seront au point.
  - Les principaux intervenants : Alcoa, Alcan, Hydro-Québec et le gouvernement devraient mettre en place un programme conjoint de

RDD qui aurait pour but de développer les technologies d'électrodes inertes offrant le plus grand potentiel de réduction de consommation énergétique (hydraulique et fossile).

- Ces intervenants devraient rendre compte de l'état d'avancement de leurs travaux devant la régie de l'énergie. Les institutions de RDD québécoises doivent être à l'avant-garde dans ce domaine si nous voulons éviter que le choix social de nos gouvernements s'avère être un mauvais choix d'ici quelques années .
  
- Électro-obtention du Zinc à faible énergie
  - L'électro-obtention est un procédé d'électroplacage où un courant est appliqué directement dans une cellule d'électrolyse et les ions métalliques sont alors réduits et déposés sur la cathode [37].
  - L'utilisation d'anode à recouvrement catalytique permet d'abaisser le potentiel électrochimique nécessaire et de réduire d'autant la consommation énergétique. Des réductions de 0.45V [38] ont été mesurées comparativement à une tension normale d'environ 3.0V. Il s'agit donc d'une diminution de 15%. Les travaux se poursuivent et des réductions supplémentaires sont prévisibles.
  - Au Québec, la production annuelle de zinc est de 250 000 t/an [40]. Il faut environ 3.82 kWh/kg de zinc pour effectuer l'électro-obtention [39]. Il s'agit donc d'une consommation québécoise d'environ 955 GWh/an. Une réduction de 15% du potentiel électrochimique correspond à une économie de 143 GWh. Une réduction de 50% correspond à presque 0.5 TWh/an.
  
- Analyse de pincement en usine
  - L'analyse de pincement devrait être effectuée sur l'ensemble de l'énergie plutôt que seulement sur l'électricité afin de produire des résultats intéressants.

- Beaucoup de rejets thermiques sont générés par des industries et ne sont pas valorisés. Le concept pourrait s'étendre sur plusieurs industries; permettant des flux d'énergie entre les industries et maximisant l'utilisation de l'énergie.

Les rejets thermiques en industrie devraient faire l'objet d'une déclaration obligatoire. Une liste de la quantité et de la qualité des rejets thermiques devrait être constituée. Il s'agit de la première étape dans la valorisation de ces rejets thermiques. Ultérieurement, des incitatifs pourraient être offerts pour l'utilisation de ces rejets thermiques.

## 6. CONCLUSION

Suite à l'examen du PGÉE déposé par Hydro-Québec, nous estimons qu'elle limite beaucoup le potentiel technico-économique de l'efficacité énergétique au Québec. En ne considérant que les technologies « éprouvées » et en ne s'impliquant pas activement dans la transformation de marché et dans la promotion des technologies émergentes, elle prive la société québécoise :

- d'une opportunité intéressante de rendre ses industries plus compétitives,
- de réduire les GES,
- de prendre avantage de l'efficacité de notre parc de production électrique en n'utilisant pas les économies d'électricité générées afin d'alimenter des technologies émergentes plus efficaces au niveau énergétique mais consommant plus d'électricité.

Nous suggérons donc qu'Hydro-Québec répertorie et favorise l'implantation des technologies émergentes par la R&D, la démonstration, l'information et la transformation de marché orientée autour de celles-ci. Les exemples de technologies émergentes citées dans ce rapport ne constituent pas une liste exhaustive de ce qui existe et/ou est intéressant. Il s'agissait de démontrer qu'il existe un potentiel réel et qu'un travail soutenu doit être fait dans ce domaine.

Compte tenu des impacts majeurs sur l'économie québécoise du domaine de l'aluminium, une action concertée des industries, du gouvernement et d'Hydro-Québec concernant les technologies émergentes dans ce domaine devrait être mise sur pied.

Avec seulement 0.1% de réalisation du potentiel, nous considérons que le plus grand impact dans le domaine résidentiel se situe encore au niveau de la réfection de l'enveloppe thermique. Les solutions sont cependant autres que l'application de technologies émergentes dans ce domaine. Hydro-Québec devrait faire des efforts

supplémentaires afin de bâtir et diffuser l'information pour aider à transformer ce marché.

Dans le domaine commercial et institutionnel, l'enveloppe thermique est aussi cruciale. Cependant, la problématique des propriétaires non occupants devrait laisser place à une réglementation plus sévère concernant l'efficacité énergétique des bâtiments. L'optimisation et de meilleurs contrôles des systèmes HVAC, les thermopompes géothermiques et la gestion de l'éclairage présentent les meilleurs potentiels d'économie. Hydro-Québec devrait favoriser l'implantation des technologies émergentes dans ce domaine, conduire des audits énergétiques et épauler ces clients qui ont moins de ressources techniques disponibles.

De plus, l'efficacité énergétique devrait s'effectuer en considérant toutes les sources d'énergie confondues afin de livrer son plein potentiel. Comme premier jalon dans la valorisation des rejets thermiques, une liste des rejets thermiques industriels au Québec devrait être constituée.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Rapport annuel 2001* Hydro-Québec
- [2] Vine, E., *Promoting emerging energy-efficiency technologies and practices by utilities in a restructured energy industry: a report from California*. LBNL, juillet 2000 [ies.lbl.gov/iespubs/45303.pdf](http://ies.lbl.gov/iespubs/45303.pdf)
- [3] Martin, N. Worrell, E. Ruth, M. Price, L., *Emerging energy-efficient industrial technologies*. LBNL, octobre 2000 [eande.lbl.gov/ea/IES/iespubs/46990.pdf](http://eande.lbl.gov/ea/IES/iespubs/46990.pdf)
- [4] The Canadian Energy Efficiency Alliance, *The benefits of energy efficiency investment: Creating jobs and supporting the economy while addressing climate change*. CEEA, novembre 2002  
[www.energyefficiency.org/eecentre/eecentre.nsf/eee9ec7bbd630126852566c40052107b/3631977b49e0909985256c72006526d0/\\$FILE/Economics%20Benefits%20Paper.pdf](http://www.energyefficiency.org/eecentre/eecentre.nsf/eee9ec7bbd630126852566c40052107b/3631977b49e0909985256c72006526d0/$FILE/Economics%20Benefits%20Paper.pdf)
- [5] *Powergen annual report 2002*, [www.powergen.co.uk](http://www.powergen.co.uk)
- [6] *Emerging Technology database*, Emerging Technologies Coordinating Council (ETCC) of California, octobre 2000, [www.ca-etcc.com/Database/ETdatabase.pdf](http://www.ca-etcc.com/Database/ETdatabase.pdf)
- [7] Nadel, S. Rainer, L. Shepard, M. Suozzo, M. Thorne, J. *Emerging energy-savings technologies and practices for the buildings sector*, ACEEE, Californie, décembre 1998, [www.aceee.org](http://www.aceee.org)
- [8] deLaski, A. Gauthier, J. Shugars, J. Suozzo, M. Thigpen, S. *Transforming the market for commercial and industrial distribution transformers: A government, manufacturer, and utility collaboration*, ACEEE, Août 1998, [www.aceee.org](http://www.aceee.org)
- [9] Office of industrial technologies, *Best practices on compressed air* [www.oit.doe.gov/bestpractices/compressed\\_air/](http://www.oit.doe.gov/bestpractices/compressed_air/)
- [10] Office of industrial technologies, *Best practices on motors* [www.oit.doe.gov/bestpractices/motors/](http://www.oit.doe.gov/bestpractices/motors/)
- [11] Office of industrial technologies, *Summary of program results 2002* [www.oit.doe.gov/aboutoit/pdfs/02impacts\\_forward.pdf](http://www.oit.doe.gov/aboutoit/pdfs/02impacts_forward.pdf)
- [12] Cate, A.t. Harris, J. Shugars, J. Westling, H. *Technology procurement as a market transformation tool*, LBNL, 2000
- [13] Logiciel HOT2000 V8.5, RNCAN

- [14] *Cause 3473, Session #4 d'échanges et d'information 8 mai 2002 – Concepts et critères entourant la conception de programmes et intervention pour la clientèle résidentielle*, Hydro-Québec
- [15] N/A
- [16] *Interdisciplinary Analysis of Successful Implementation of Energy Efficiency in the industrial, commercial and service sector*, volume 1, chapitre 4.6, Commission européenne, [www.nordlicht.uni-kiel.de/sme/d0.htm](http://www.nordlicht.uni-kiel.de/sme/d0.htm)
- [17] *Interdisciplinary Analysis of Successful Implementation of Energy Efficiency in the industrial, commercial and service sector*, volume 2, chapitre 2, Commission européenne, [www.nordlicht.uni-kiel.de/sme/b2.htm](http://www.nordlicht.uni-kiel.de/sme/b2.htm)
- [18] *Consommation d'énergie des gros appareils ménagers expédiés au Canada-tendances 1990-1999*, RNCAN, novembre 2001
- [19] *Rapport final sur le potentiel d'amélioration de l'enveloppe thermique des habitations du Québec*, Hydro-Québec, juillet 1994
- [20] *Cause 3473, Demande d'information #20, Bilan des programmes d'économies d'énergie (1990-2000)*, Hydro-Québec
- [21] Conversation avec un entrepreneur en isolation
- [22] *Le chauffage et le refroidissement à l'aide d'une thermopompe*, RNCAN, [oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/home\\_f/Chauffage\\_thermopompe.cfm](http://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/home_f/Chauffage_thermopompe.cfm)
- [23] *Manitoba Hydro geothermal pump*, [www.hydro.mb.ca/saving\\_with\\_ps/geothermal.shtml](http://www.hydro.mb.ca/saving_with_ps/geothermal.shtml)
- [24] *Optimum choice of technology for heating and air conditioning*, CADDET, [www.caddet-ee.org](http://www.caddet-ee.org)
- [25] DiLouie, C. *Could DALI Be Lighting's Next Breakthrough?* [www.energyusernews.com/CDA/ArticleInformation/features/BNP\\_Features\\_Ite m/0,2584,76083,00.html](http://www.energyusernews.com/CDA/ArticleInformation/features/BNP_Features_Ite m/0,2584,76083,00.html)
- [26] Borg, N. *T5 Lamps Boost Fluorescent Lighting Efficiency*, IAEEL newsletter, janvier 1997 [www.iaeel.org/IAEEL/NEWSL/1997/ett1997/LiTech\\_b\\_1\\_97.html](http://www.iaeel.org/IAEEL/NEWSL/1997/ett1997/LiTech_b_1_97.html)
- [27] *Temple University Green Roof Proposal*, [www.temple.edu/env-stud/seniorsem/section3C.htm](http://www.temple.edu/env-stud/seniorsem/section3C.htm)
- [28] *Cause 3473, Session #2 d'échanges et d'information 9 avril 2002 – Potentiel technico-économique d'économies d'énergie au marché résidentiel*, Hydro-Québec

- [29] *Cause 3473, Session #3 d'échanges et d'information 10 avril 2002 – Potentiel technico-économique d'économies d'énergie aux marchés commercial et institutionnel*, Hydro-Québec
- [30] *Cause 3473, Session #3 d'échanges et d'information 10 avril 2002 – État de la situation et potentiel en efficacité énergétique pour les grandes entreprises*, Hydro-Québec
- [31] Fradette, L. *Le bilan de la gestion des matériaux secs au Québec*, Recyc-Québec, Présentation au 3<sup>e</sup> rendez-vous sur les matériaux sec, mars 2000, [www.recyc-quebec.gouv.qc.ca](http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca)
- [32] Chamard, J.L Desgagnés, N. *L'utilisation des données de la caractérisation des matières résiduelles pour la confection des plans de gestion*, Vecteur environnement, vol. 34, numéro 5, Réseau Environnement, pp. 34-39
- [33] OCETA, *Landfill gas recovery*, ETF 2030 Technology perspective, août 1998
- [34] Recyc-Québec, *Gestion des matières résiduelles au Québec. Bilan 1998*, Plan d'action québécois sur la gestion des matières résiduelles 1998-2008, [www.recyc-quebec.gouv.qc.ca](http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca)
- [35] *Project RP1522, report EL3261*, EPRI [www.epri.com/OrderableItemDesc.asp?product\\_id=TR-100295-V2&targetnid=249807&value=02T029.0&marketnid=249635&oitype=1&searchdate=4/1/1992](http://www.epri.com/OrderableItemDesc.asp?product_id=TR-100295-V2&targetnid=249807&value=02T029.0&marketnid=249635&oitype=1&searchdate=4/1/1992)
- [36] *Cause 3473, Session #3 d'échanges et d'information 10 avril 2002 – Potentiel technico-économique d'économies d'énergie pour les petites et moyennes industries*, Hydro-Québec
- [37] *Description de la technique d'électro-obtention*, Institute of Advanced Manufacturing Sciences [www.iams.org/iamsorg/p2iris/metalfinish/1098-w.htm](http://www.iams.org/iamsorg/p2iris/metalfinish/1098-w.htm)
- [38] [www.hydrometallurgysection.org/2001electro/paperno10a-1.pdf](http://www.hydrometallurgysection.org/2001electro/paperno10a-1.pdf)
- [39] [voltaicpower.com/Training/electrowinning1.htm](http://voltaicpower.com/Training/electrowinning1.htm)
- [40] [www.mining.snclavalin.com/new-adding/cezinc.pdf](http://www.mining.snclavalin.com/new-adding/cezinc.pdf)