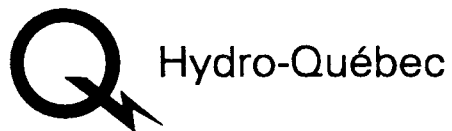


# *Progrès technologiques et utilisation efficace de l'électricité*

## **PLAN DE** **DÉVELOPPEMENT 1993**

### **PROPOSITION**



# *Progrès technologiques et utilisation efficace de l'électricité*

## **PLAN DE** **DÉVELOPPEMENT 1993**

### **PROPOSITION**

# Table des matières

INTRODUCTION	5
<b>1. LE BÂTIMENT</b>	9
1.1 L'ENVELOPPE THERMIQUE	9
1.1.1 <i>Les matériaux peu commercialisés : l'isolant efficace</i>	9
1.1.2 <i>Les matériaux en développement</i>	9
1.2 LE CHAUFFAGE, LA VENTILATION ET LA CLIMATISATION (CVC)	11
1.2.1 <i>Les appareils et les accessoires peu commercialisés</i>	11
1.2.2 <i>Les appareils et les accessoires en développement : les pompes à chaleur chimiques</i>	12
1.3 LES AUTRES USAGES	13
1.3.1 <i>Les appareils et les accessoires peu commercialisés</i>	13
1.3.2 <i>Les appareils et les accessoires en développement</i>	14
1.4 LES CONCEPTS ET LES SYSTÈMES INTÉGRÉS	15
1.4.1 <i>Les concepts peu commercialisés</i>	16
1.4.2 <i>Les concepts en développement: l'Immeuble C-2000</i>	18
<b>2. LES PROCÉDÉS INDUSTRIELS</b>	19
2.1 LES PROCÉDÉS PEU COMMERCIALISÉS : LA SÉPARATION PAR MEMBRANES	19
2.2 LES PROCÉDÉS EN DÉVELOPPEMENT	19
2.2.1 <i>Les plasmas</i>	19
2.2.2 <i>Les cellules bipolaires</i>	20
2.2.3 <i>Les autres procédés</i>	20
<b>3. LE TRANSPORT ÉLECTRIQUE EN DÉVELOPPEMENT</b>	21
3.1 LE TRAIN À SUSTENTATION MAGNÉTIQUE	21
3.2 LE VÉHICULE ÉLECTRIQUE	21
<b>4. LES AUTRES FORMES D'ÉNERGIE DE FAIBLE TAILLE PEU COMMERCIALISÉES</b>	23
4.1 LE SOLAIRE	23
4.2 LE PHOTOVOLTAÏQUE	24
4.3 LES PILES À COMBUSTIBLE	24
4.4 LES ÉOLIENNES DE FAIBLE TAILLE	25
CONCLUSION	27



# Introduction

Les percées technologiques des 50 dernières années ont influé de façon significative sur la consommation globale d'énergie de notre société et plus particulièrement sur son électrification.

Le progrès technologique se poursuivra dans les années futures avec une ampleur et une intensité grandement tributaires des montants investis en recherche et développement. De plus, l'intérêt que porte actuellement la société nord-américaine à l'efficacité énergétique et les efforts de recherche qui y sont consacrés favoriseront l'émergence de nouveaux produits présentant une meilleure performance énergétique.

Hydro-Québec surveille de près l'arrivée d'innovations technologiques qui modifieront la demande d'électricité et pourront influencer sur la performance énergétique des futurs équipements, appareils et accessoires électriques. Par ailleurs, la diffusion commerciale de véhicules électriques ou encore l'électrification des procédés industriels de plus en plus performants sur le plan environnemental augmenteront la demande d'électricité. Enfin, le progrès technologique pourrait ouvrir la voie à de nouvelles façons de satisfaire aux besoins actuels.

Ce document présente les technologies émergentes en décrivant les matériaux de construction, les appareils et les accessoires efficaces, les électrotechnologies, les utilisations nouvelles de l'électricité ainsi que les nouvelles sources d'énergie qui pourraient pénétrer le marché québécois après l'an 2000.

Une part importante de ce document est donc prospective et ne s'appuie pas sur une technologie actuellement disponible sur les marchés. Elle traite surtout des technologies encore à l'essai ou envisagées dans l'esprit créateur des chercheurs ainsi que des technologies développées ou en voie de l'être. Il est donc important de lire ce document en gardant à l'esprit que, entre les promesses d'une innovation et son acceptation commerciale, il existe plusieurs filtres économiques et commerciaux, comme la faisabilité de la production, la rentabilité économique, les avantages concurrentiels, les barrières à l'entrée ainsi que les besoins et les goûts des consommateurs.

Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), un organisme de l'OCDE, les technologies peuvent être regroupées, selon leur avancement technologique et commercial, en quatre catégories : les technologies actuellement disponibles et déployées sur le marché ; celles dont la démonstration technologique et commerciale a été réalisée mais qui n'ont pas encore saturé le marché ; celles dont la viabilité technique est démontrée mais qui n'ont pas encore fait l'objet d'une démonstration commerciale ; et, enfin, les technologies potentiellement disponibles à long terme, mais encore au stade de la recherche et développement<sup>1</sup>. Compte tenu de cette typologie et de la définition de ce document, les deux dernières catégories de l'AIE serviront de canevas aux catégories technologiques décrites dans cette annexe (voir tableau 1).

Dans ce document, les technologies dont la viabilité technique est démontrée, mais qui n'ont pas fait l'objet d'une démonstration commerciale (peu de vendeurs) sont regroupées dans la catégorie des technologies peu commercialisées. Les technologies potentiellement disponibles à long terme sont présentées comme des technologies en développement. Ces catégories ne sont pas tout à fait étanches, puisqu'elles résument un processus temporel continu ; certaines technologies, certains équipements ou appareils peuvent en réalité appartenir à deux catégories.

Hydro-Québec alloue d'importantes ressources à la recherche et développement dans plusieurs domaines d'activité. Quand c'est possible, elle favorise la formule du partenariat en s'associant à des firmes privées ou à d'autres centres de recherche.

Les budgets consacrés aux recherches sur les accumulateurs à électrolyte polymère (ACEP) témoignent de l'implication à long terme d'Hydro-Québec dans la recherche sur l'utilisation efficace de l'électricité. Par ailleurs, son programme de recherche et développement à court et à moyen terme a porté principalement sur la performance des chauffe-eau et l'utilisation des électrotechnologies dans l'industrie québécoise. Au cours des prochaines années, l'accent sera mis sur la démonstration en matière d'économie d'énergie et d'électrotechnologies. Cependant, le champ de recherche à long terme sera élargi pour faire place à des projets pouvant avoir une incidence particulière sur les économies d'énergie reliées aux utilisations de l'électricité par la clientèle.

1. BRADY, John, MAASS, Gudun, "Energy technology options for limiting emissions of Greenhouse Gases", *Next Generation Technologies for Efficient Energy End Uses and Fuel Switching*, International Energy Agency, Aril 1992.

**Tableau 1**

**Progrès technologique et cycle de vie des marchés**

	Commercialisation limitée (peu de vendeurs)	En développement
Le bâtiment		
Enveloppe thermique	Isolant efficace	Isolant superefficace Fenêtre superefficace
Chauffage, ventilation et climatisation	Infrarouge Climatiseur solaire Mur solaire	Pompe à chaleur chimique
Autres usages	Éclairage efficace Chauffe-eau solaire Chauffe-eau efficace	Électroménager superefficace Éclairage superefficace
Concepts et systèmes intégrés	Au-delà de la Maison R-2000 Stockage thermique Domotique, immotique et gestion de la consommation	Immeuble C-2000
Les procédés industriels	Séparation par membranes	Plasmas <sup>2</sup> Cellules bipolaires Autres procédés
Le transport		Train à sustentation magnétique <sup>2</sup> Véhicule électrique <sup>2</sup>
Les autres formes d'énergie de faible taille	Solaire Pile à combustible Éolienne Photovoltaïque	

2. Les plasmas, le train à sustentation magnétique et le véhicule électrique sont des technologies qui accroissent l'électrification





## 1

Les progrès et les innovations qui modifieront la consommation énergétique des bâtiments regroupent toutes les technologies relatives à l'enveloppe thermique ainsi que les appareils, les accessoires et les contrôles favorisant l'efficacité énergétique.

### 1.1

#### **L'ENVELOPPE THERMIQUE**

L'électricité destinée au chauffage des locaux occupe une place importante dans le bilan énergétique des marchés. En effet, 30,4 TWh étaient nécessaires en 1991 pour combler les besoins de chauffage des marchés résidentiel et commercial, ce qui représentait 48 % et 27 % de leur demande respective. On prévoit que cette demande sera, après les économies d'énergie, de 37,7 TWh en l'an 2000 et de 41 TWh en l'an 2010. L'amélioration de l'enveloppe thermique contribue beaucoup à la réduction de la demande, d'où l'intérêt d'Hydro-Québec pour les matériaux performants. Au cours des prochaines années, l'entreprise investira dans le développement de matériaux performants et de méthodes d'installation appropriées qui tiennent compte des contraintes architecturales des bâtiments et de l'efficacité énergétique.

#### 1.1.1

##### **LES MATÉRIAUX PEU COMMERCIALISÉS : L'ISOLANT EFFICACE**

L'isolation du parc existant des maisons du Québec pose un problème de rentabilité pour les clients, puisqu'elle nécessite souvent la reconstruction de murs. Dans un contexte d'efficacité énergétique, la disponibilité d'un isolant qui puisse être infiltré ou injecté entre les murs sans travaux majeurs est nécessaire. Cet impératif ne peut qu'accélérer le développement et la commercialisation d'un isolant efficace et rentable. Bientôt, il sera possible de trouver sur le marché des produits d'installation facile. Il existe déjà un nouvel isolant, constitué d'un mélange mousseux d'adhésifs, d'air et de fibres, qui sèche rapidement et devient un corps robuste. Celui-ci permet de remplir les cavités situées entre les montants des murs<sup>3</sup>.

#### 1.1.2

##### **LES MATÉRIAUX EN DÉVELOPPEMENT**

##### **L'isolant superefficace**

La recherche et le développement dans le domaine de l'isolation restent en effervescence. Que ce soit pour diminuer la consommation d'électricité pour la climatisation ou encore pour réduire les frais de chauffage, la disponibilité d'un isolant superefficace intéresse les compagnies d'électricité, et leur intérêt ne peut qu'activer les recherches et faciliter le développement, la conception et l'introduction commerciale d'un produit superperformant. Par exemple, un panneau isolant de grande résistance thermique et exempt de CFC a été développé par le *Lawrence Berkeley Laboratory*, en Californie. Sa performance énergétique serait de deux fois supérieure à celle d'un isolant de fibre de verre conventionnel<sup>4</sup>.

3. CRIQ, *Potentiel envisageable et probabilité de développement pour la période 2000 à 2010 des utilisations nouvelles de l'énergie*, septembre 1991.

4. GRIFFITH, Brent et al, *Gas Filled Panel High Performance Thermal Insulation*, Lawrence Berkeley Laboratory, Rapport 30160, Berkeley, April 1991.

## **Les fenêtres superefficaces**

On estime qu'actuellement la fenestration est responsable d'environ 20 % des pertes thermiques des résidences ; l'installation de fenêtres performantes permettrait donc un gain énergétique considérable.

Après la fenêtre double conventionnelle (R2.0) et la fenêtre à faible émissivité (R3.0), la fenêtre R3.8, isolée à l'argon est la fenêtre la plus performante et la plus diffusée sur le marché<sup>5</sup>. Les fenêtres de haute résistance thermique sont également accessibles aux marchés résidentiel et commercial. Grâce à des enduits appropriés, elles peuvent s'adapter au rayonnement solaire et ainsi répondre aux besoins précis de chauffage ou de climatisation.

La documentation et les études récentes annoncent déjà la fenêtre de demain, qui fonctionnera sur le principe de l'opacité variable (lunettes photochromiques) ou de l'oeil humain et pourra capter et diriger les rayons solaires vers les endroits sombres d'une pièce.

La recherche sur les fenêtres efficaces montre des signes constants de progrès. Selon le *Lawrence Berkeley Laboratory*, il est déjà possible de produire des fenêtres R9. Le même organisme prévoit également la production de fenêtres isolées au krypton, présentant un espacement de 2,5 cm entre les vitres et une résistance thermique de R16.7, soit la résistance thermique d'un mur et une résistance d'environ huit fois supérieure à celle des fenêtres les plus couramment utilisées.

Dans le contexte actuel, l'ajout de krypton entre les vitres augmenterait d'environ 50 dollars le coût d'une fenêtre, auquel s'ajouteraient les coûts supplémentaires de fabrication et de construction. Cependant, quelques problèmes concernant l'étanchéité et le phénomène de convection à l'intérieur des fenêtres présentent encore un défi technique<sup>6,7</sup>.

5. GROUPE DE RECHERCHE EN ÉCONOMIE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES NATURELLES, *Les effets sur la demande québécoise d'électricité de certains changements technologiques*, Université Laval, mars 1992.

6. Energy Design Update, *Thicker Windows Versus Better Windows Challenging the Common Wisdom*, Vol. 11, No 11, November 1991.

7. Energy Design Update, *Amazing Krypton*, Vol. 12, No 3, February 1992.

## **1.2**

### **LE CHAUFFAGE,**

### **LA VENTILATION ET**

### **LA CLIMATISATION (CVC)**

#### **1.2.1**

#### **LES APPAREILS ET LES**

#### **ACCESSOIRES PEU**

#### **COMMERCIALISÉS**

#### **L'infrarouge**

Les systèmes de chauffage par rayonnement infrarouge chauffent directement les gens ou les objets sans, pour autant, chauffer l'air ambiant. Ces systèmes offrent un confort égal ou supérieur à celui des systèmes de chauffage conventionnels. Le chauffage à infrarouge est de plus en plus utilisé pour chauffer de grandes surfaces dont les plafonds sont élevés et les portes sont souvent ouvertes (entrepôts, usines, certains endroits commerciaux).

Le chauffage à infrarouge peut être produit à partir de l'électricité ou du gaz naturel, la rentabilité de chacune des sources étant particulière aux conditions d'utilisation. Hydro-Québec consacre des budgets de recherche aux applications du chauffage à infrarouge.

#### **Les climatiseurs solaires**

La coïncidence naturelle entre les besoins de climatisation et les périodes d'ensoleillement fait des climatiseurs solaires une technologie attrayante. En effet, l'énergie contenue dans les photons des rayons solaires peut être transformée en énergie électrique par des panneaux photovoltaïques<sup>8</sup> et alimenter un climatiseur.

Il existe une relation directe entre les besoins de climatisation d'un bâtiment et son volume. On note également une relation directe entre la quantité d'énergie électrique produite grâce aux panneaux photovoltaïques installés sur le toit ou les murs d'un bâtiment et la surface ou la taille de l'édifice. La question est de savoir si l'énergie produite sera suffisante pour répondre aux besoins de climatisation et si elle sera produite de façon rentable.

Certaines études ont démontré la faisabilité technique et la rentabilité des climatiseurs solaires aussi bien dans le domaine résidentiel que commercial<sup>9</sup>. Cependant, la rentabilité de ce système reste d'abord tributaire des conditions d'ensoleillement. C'est pourquoi il est difficile d'appliquer les résultats de certains projets à l'ensemble des situations possibles.

#### **Les murs solaires**

Le mur solaire est un revêtement métallique qui s'applique devant un mur conventionnel à une distance telle que l'air puisse circuler entre les deux. Le mur solaire est poreux et peint de couleur sombre. Il laisse donc pénétrer l'air frais de l'extérieur dans l'espace qui le sépare du mur conventionnel.

8. La technologie photovoltaïque est présentée au chapitre 4.

9. CANMET, *Photovoltaic Power Supply for Air Conditioning*, May 1992.

Durant l'hiver, le mur métallique capte les rayons solaires auxquels il est exposé ainsi que les rayons solaires réfléchis par la neige pour réchauffer l'air extérieur aspiré à travers ses pores par des ventilateurs. Le mur solaire permet également de recycler à l'intérieur du bâtiment les déperditions thermiques du mur conventionnel. Ce recyclage de chaleur procure au mur une résistance thermique supérieure à R50.

S'il est bien conçu, le système permettra également de réduire ou même de supprimer la stratification thermique au niveau du plafond avant que l'air ne soit acheminé vers les occupants ou les espaces de travail. Par temps couvert et durant la nuit, le rendement du système est diminué, mais les pertes thermiques du mur conventionnel sont tout de même récupérées.

En période estivale, le mur solaire sert de barrière thermique et réduit les besoins de refroidissement ou de climatisation. Cette technologie fait présentement l'objet d'une évaluation poussée dont les résultats pourraient déterminer les conditions essentielles à sa rentabilité pour les diverses zones climatiques du Québec.

### **1.2.2**

#### **LES APPAREILS ET LES ACCESSOIRES EN DÉVELOPPEMENT : LES POMPES À CHALEUR CHIMIQUES**

Le principe de base de la pompe à chaleur chimique ne diffère pas du principe de base d'une pompe à chaleur air-air ou sol-air. Ces dernières puisent la chaleur dans le sol ou dans l'air, tandis que les pompes à chaleur chimiques tirent leur énergie de réactions chimiques.

Le fonctionnement d'une pompe à chaleur chimique est basé sur des réactions chimiques réversibles, comme celle d'un sel avec de l'ammoniac. Cette réaction chimique absorbe de la chaleur d'une source et la transmet à une autre source. Une pompe à chaleur chimique peut fonctionner en deux modes, soit en production de froid ou en production de chaleur.

En plus des applications traditionnelles de chauffage, de réfrigération et de climatisation, on prévoit utiliser la pompe à chaleur chimique pour récupérer la chaleur de certains procédés industriels et pour stocker le froid ou la chaleur. La pompe à chaleur chimique pourrait éventuellement utiliser l'énergie solaire comme source de chaleur.

### 1.3

#### LES AUTRES USAGES

##### 1.3.1

#### LES APPAREILS ET LES ACCESSOIRES PEU COMMERCIALISÉS

#### L'éclairage efficace

L'éclairage compte pour 27 % de la consommation d'électricité du marché commercial, 6 % de la consommation du marché résidentiel et 5 % de la consommation du marché industriel, bien qu'il faille tenir compte des effets croisés dans la consommation. En effet, durant l'hiver, la chaleur qui se dégage des ampoules électriques contribue au chauffage des locaux. Ainsi, une portion des kWh consommés par l'éclairage sert directement à satisfaire des besoins de chauffage. En somme, si on diminue l'éclairage d'un local on doit le chauffer un peu plus.

Le rayonnement solaire est la première source d'éclairage à privilégier. La répartition de la lumière solaire directe qui traverse 1 m<sup>2</sup> de vitrage permet d'éclairer une surface pouvant atteindre jusqu'à 200 m<sup>2</sup><sup>10</sup>. Puisque l'intensité lumineuse du soleil varie au fil des jours et des saisons, l'éclairage naturel exige l'utilisation de divers équipements. Des stores munis de capteurs photosensibles et de moteurs pourront automatiquement régler la quantité de lumière qui entrera dans un local. L'installation de réflecteurs et de systèmes optiques aux fenêtres permettra à la lumière d'atteindre des surfaces qui, autrement, sont hors de portée.

Les technologies d'éclairage évoluent à un rythme continu : fluorescent compact, halogénure métallique, sodium, ballast électronique. En juin 1992, une entreprise californienne présentait une ampoule électrique d'une durée de vie de 20 000 h, utilisant quatre fois moins d'électricité qu'une ampoule ordinaire incandescente et produisant la même intensité lumineuse. Certaines technologies performantes, déjà disponibles, devraient être introduites sur le marché commercial au cours des prochaines années. Par exemple, des cellules photoélectriques jumelées à un gradateur d'intensité et à un détecteur de mouvement permettraient des économies substantielles d'électricité tant pour l'éclairage fluorescent que pour les autres sources d'éclairage.

10. "L'énergie et le bâtiment", *Pour la science*, No 157, novembre 1990.

### **Les chauffe-eau solaires**

Le chauffage de l'eau en mode bi-énergie, solaire et conventionnel, dans les marchés commercial et industriel est une application envisageable lorsque les conditions d'ensoleillement sont suffisantes pour assurer la rentabilité d'un double système. L'énergie solaire pourrait fournir de l'eau chaude à bon compte durant les périodes d'ensoleillement, tandis que le chauffage conventionnel prendrait la relève par temps couvert. Une étude pilote portant sur 10 systèmes de chauffe-eau solaires installés dans des résidences de la région montréalaise a déjà démontré la fiabilité du concept<sup>11</sup>. Un projet de chauffe-eau solaires résidentiels est également en cours en Nouvelle-Écosse.

### **Les chauffe-eau efficaces**

Le chauffage de l'eau dans le marché commercial compte pour 8 % de la consommation d'électricité. Hydro-Québec vise, pour le chauffage de l'eau dans le secteur commercial, le développement de systèmes et d'équipements électriques performants qui garantiront la qualité de l'eau tout en offrant la possibilité de gérer la consommation.

#### **1.3.2**

### **LES APPAREILS ET LES ACCESSOIRES EN DÉVELOPPEMENT**

Les pressions gouvernementales, les incitatifs financiers ou les labels de performance favoriseront à moyen terme l'entrée sur le marché d'appareils électroménagers performants. Le tableau 2 montre le rendement énergétique prévu de cinq générations de réfrigérateurs.

### **Les électroménagers superefficaces**

La consommation électrique des réfrigérateurs étant plus prononcée l'été que pendant le reste de l'année, on note un effet croisé négatif moindre que dans le cas de l'éclairage des locaux. Déjà appréciables pour les prochaines décennies, les économies engendrées par les nouvelles générations de réfrigérateurs se poursuivent au-delà de l'an 2020 pour tous les marchés.

11. INRS-ÉNERGIE, *Poursuite de l'évaluation, conception et suivi de systèmes en énergie solaire active : rapport final sur le monitoring de 10 chauffe-eau solaires Micro-flow*, juin 1989.

**Tableau 2**

**Prévision de la consommation moyenne de cinq générations de réfrigérateurs<sup>12</sup>**

Génération	Période	Technologie	Consommation ( kWh / an )	Amélioration
		<i>Modèle courant</i>	1 400	
1 <sup>re</sup>	1990-2000	<i>Amélioration de l'isolation et des joints</i>	980	30 %
2 <sup>e</sup>	2000-2020	<i>Compresseurs et ventilateurs à haut rendement</i>	780	44 %
3 <sup>e</sup>	2010-	<i>Évaporateurs doubles ou hybrides</i>	500	64 %
4 <sup>e</sup>	2020-	<i>Ajout de panneaux isolés genre thermos )</i>	300	79 %

## L'éclairage superefficace

Dans les marchés commercial et institutionnel, des systèmes intégrés d'éclairage sont en phase de développement technologique et devraient être commercialisés dans quelques années. Ces technologies permettront de réduire la consommation d'énergie pour l'éclairage. C'est le cas des systèmes de diffusion de la lumière qui multiplient l'effet d'une lampe grâce à des prismes et à des miroirs distribuant la lumière dans un réseau de tubes semi-ouverts. Ainsi, une salle d'environ 20 m<sup>2</sup> pourrait être éclairée par une seule lampe halogénure de 70 W. De plus, au cours de la journée, l'éclairage diffusé par cette unique lampe pourrait être remplacé automatiquement, en tout ou en partie, par l'éclairage solaire si ce système est muni d'un gradateur et d'une cellule photoélectrique<sup>13</sup>.

### 1.4

#### LES CONCEPTS

#### ET LES SYSTÈMES INTÉGRÉS

Les concepts et les systèmes intégrés sont un ensemble d'appareils et d'accessoires performants ou efficaces qui s'intègre à un bâtiment construit selon des techniques et des normes favorisant l'efficacité énergétique. Ainsi, une isolation supérieure des murs et des plafonds, des fenêtres étanches et de résistance thermique élevée, une orientation du bâtiment qui permet de bénéficier au maximum des avantages de la chaleur solaire durant l'hiver et même l'utilisation de végétaux pour contrer la froideur du vent peuvent s'ajouter aux appareils performants.

12. ASSOCIATION CANADIENNE DE L'ÉLECTRICITÉ, *Incidence des technologies montantes sur les besoins en électricité jusqu'à l'an 2010*, 1988.

13. Discussion avec des représentants de Xenergy, Boston, 1992.

#### 1.4.1

#### LES CONCEPTS PEU COMMERCIALISÉS

#### Au-delà de la maison R-2000

Une maison unifamiliale R-2000 doit respecter un critère de performance énergétique en matière de chauffage, critère déterminé par les conditions climatiques des régions. Par exemple, annuellement, une maison R-2000 située à Montréal ne doit pas utiliser plus de  $4,27 \text{ kWh/pi}^2$  ( $46 \text{ kWh/m}^2$ ) <sup>14</sup> pour le chauffage. Selon certaines estimations, une maison R-2000 exigerait près de 50 % moins d'énergie pour le chauffage qu'une maison construite selon la *Loi sur l'économie de l'énergie dans le bâtiment du Québec* qui régit les normes actuelles de la construction.

Le concept de la Maison R-2000 ne représente pas une limite technique impossible à dépasser. Il existe déjà d'autres concepts, toujours plus performants, qui permettent de réduire la facture d'énergie des résidences. Les maisons performantes, au-delà de la Maison R-2000, ne visent pas uniquement la réduction de la facture de chauffage. Elles rassemblent les meilleures technologies en matière d'enveloppe thermique, de fenestration, de ventilation, de chauffage, de climatisation, de plomberie, d'électroménagers et d'éclairage.

Par exemple, l'*Ontario Advanced House*, construite en banlieue de Toronto au début de la décennie 90, incorpore les technologies les plus performantes en matière énergétique. Par rapport à une maison conventionnelle, l'*Ontario Advanced House* permet une réduction de plus de 70 % de la consommation énergétique annuelle tandis qu'une Maison R-2000 ne diminue cette consommation que de 37 %<sup>15</sup>.

Hydro-Québec participe à un projet de maisons performantes mis en place par Énergie, Mines et Ressources Canada. L'objectif de ce projet est la construction et l'évaluation de maisons dont la consommation énergétique totale sera de 50 % inférieure à la consommation totale d'énergie d'une Maison R-2000<sup>16</sup>.

#### Le stockage thermique

Lorsqu'il y a un décalage temporel entre la période à laquelle une source d'énergie est le plus disponible techniquement ou économiquement et la période où l'on désire l'utiliser, le stockage thermique mérite d'être sérieusement considéré.

L'énergie thermique peut être emmagasinée selon trois méthodes : la méthode de la chaleur sensible, la méthode de la chaleur latente et la méthode thermochimique.

14. CANMET, *Advanced Houses Program - Technical Requirements*, June 1992.

15. MOHR, Marilyn, "Down the road - The Future of Energy-Efficient Housing", *Harrowsmith*, No. 91, May-June 1990.

16. CANMET, *Advanced Houses Program - Technical Requirements*, June 1992.



La méthode de la chaleur sensible consiste à augmenter ou à abaisser la température d'un matériau. Lorsque les besoins se feront sentir, ce matériau pourra fournir de la chaleur ou du froid, selon le cas.

La deuxième méthode fait appel à la chaleur latente, dégagée ou absorbée lors du changement de phase du matériau, normalement entre sa phase solide et sa phase liquide, comme le changement d'eau en glace ou inversement. La densité énergétique de la chaleur latente d'un matériau est de beaucoup supérieure à celle de la chaleur sensible.

Enfin, la méthode thermochimique, sur laquelle se fonde le fonctionnement de la pompe à chaleur chimique<sup>17</sup>, permet d'emmagasiner la chaleur ou le froid.

Le stockage thermique se prête particulièrement bien à l'utilisation de sources d'énergie traditionnellement délaissées à cause de l'inadéquation de leur disponibilité et des besoins à combler, ce qui est souvent le cas de l'énergie solaire et des rejets de vapeur, d'eau chaude ou d'air chaud.

Cette méthode est intéressante pour diminuer la demande de pointe du client ou du réseau, plus particulièrement durant les périodes de forte demande en besoins de chauffage, de climatisation et de réfrigération. De nouveaux matériaux de construction, comme les panneaux de gypse imprégnés d'un matériau à changement de phase (MCP), font l'objet de recherches intensives et devraient être sur le marché d'ici deux à trois ans. On a déterminé expérimentalement que la capacité d'emmagasiner thermique des panneaux traités au MCP est de beaucoup supérieure à celle des panneaux standard.

**La domotique,  
l'immatique et la  
gestion de la  
consommation**

La domotique dans le secteur résidentiel et l'immatique dans le secteur commercial portent sur l'automatisation du contrôle des équipements liés à l'éclairage, au chauffage, à la ventilation et à la climatisation. L'automatisation de ces équipements vise une meilleure synchronisation des besoins des consommateurs avec le fonctionnement des appareils.

17. Voir la section 1.2.2.

Hydro-Québec s'intéresse au développement de modules et d'interfaces destinés à la domotique. Ces appareils et accessoires utiliseront des systèmes de communication normalisés pour la gestion informatisée des équipements et des composantes des bâtiments résidentiels en vue d'accroître leur rendement énergétique actuel.

L'immotique présente des caractéristiques intéressantes pour la pénétration des instruments de contrôle automatisés, compte tenu de l'importance de l'éclairage et de la qualité de l'air dans le secteur commercial.

D'autres concepts d'efficacité énergétique s'appliqueront aux immeubles du marché commercial. Des procédés de gestion de la consommation seront mieux adaptés à la durée des pointes d'hiver et permettront de diminuer la demande d'électricité. Ainsi, Hydro-Québec entend participer à l'adaptation ou au développement de systèmes de gestion de l'ensemble des appareils électromécaniques d'un édifice ainsi que des systèmes d'interface entre les gestionnaires de son réseau et les gestionnaires d'édifices commerciaux.

Hydro-Québec prévoit également concevoir et développer au cours des prochaines années des technologies permettant de déplacer et d'écarter la demande d'électricité, tant dans le marché résidentiel que dans le marché commercial. L'entreprise prévoit participer au développement d'accumulateurs thermiques, d'appareils et de logiciels de contrôle, d'accumulateurs de froid locaux ainsi que de nouveaux matériaux d'accumulation thermique.

#### **1.4.2**

##### **LES CONCEPTS EN DÉVELOPPEMENT : L'IMMEUBLE C-2000**

Le programme C-2000 d'Énergie, Mines et Ressources Canada a pour objectif le développement d'immeubles commerciaux d'avant-garde en matière de rendement et de technologie. Il s'agit d'un programme pilote qui favorisera le rendement global optimum d'un bâtiment, notamment en diminuant la quantité d'énergie consommée. Les principaux bâtiments visés par le programme C-2000 sont, par ordre de priorité, les immeubles à bureaux, les immeubles résidentiels à unités multiples et les immeubles mixtes. Le rendement énergétique des bâtiments touchera aussi bien la construction ou la modernisation d'un immeuble que sa mise en service, son entretien et sa gestion<sup>18</sup>.

18. CANMET, *Programme C-2000*, Octobre 1991.

## 2

Au cours des prochaines décennies, de nouveaux procédés s'imposeront afin de répondre aux exigences des clients industriels qui cherchent à accroître leur productivité grâce à une plus grande mécanisation ou automatisation, liées à l'électrification, et grâce aux efforts d'Hydro-Québec pour favoriser l'efficacité énergétique. Ainsi, une usine québécoise de chlore et de soude caustique utilisant une électrotechnologie de pointe a déjà enregistré une réduction de 30% de sa consommation d'énergie électrique. La facture énergétique de cette usine représentait 33 % des coûts de production.

### 2.1

#### LES PROCÉDÉS

#### PEU COMMERCIALISÉS :

#### LA SÉPARATION PAR

#### MEMBRANES

Les membranes sont des filtres assurant le passage préférentiel de certains liquides et gaz. Cette technologie remplacera des procédés conventionnels de séparation, électriques et autres, utilisés pour la distillation, l'évaporation et la filtration, et pourra réduire jusqu'à 66 % la consommation d'énergie<sup>19</sup>.

Le prix élevé des membranes limitera le taux de pénétration de cette technologie aux industries dont les produits ont une valeur ajoutée de moyenne à grande, comme l'alimentation, certaines industries chimiques, la transformation de produits dérivés du pétrole et les industries dont les produits doivent présenter un degré de pureté optimal. Hydro-Québec investit dans la recherche sur la séparation par membranes afin de répondre aussi bien aux besoins des grandes entreprises qu'aux exigences des petites et des moyennes industries.

### 2.2

#### LES PROCÉDÉS EN

#### DÉVELOPPEMENT

#### 2.2.1

#### LES PLASMAS

Hydro-Québec participe à divers projets de recherche, de développement et de démonstration de technologies utilisant le plasma. Celui-ci regroupe un ensemble de nouveaux procédés industriels à gaz ionisé. Ces nouvelles technologies utilisent une chaleur intense dans les procédés de production, et le gaz ionisé sert de conducteur de chaleur. Le plasma sera principalement employé dans deux domaines : la réduction (fours au plasma), la soudure et le découpage (torche au plasma). Les fours au plasma devraient s'infiltrer massivement dans l'industrie sidérurgique.

Les entreprises de sidérurgie emploient actuellement des fours à charbon, à coke ou à arc électrique. L'introduction des fours à plasma augmentera non seulement le rendement des fours mais également la demande d'électricité pour la production d'une mesure unitaire d'acier.

19. GROUPE DE RECHERCHE EN ÉCONOMIE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES NATURELLES, *Les effets sur la demande québécoise d'électricité de certains changements technologiques*, Université Laval, mars 1992.

### **2.2.2**

#### **LES CELLULES BIPOLAIRES**

Les découvertes relatives aux cellules bipolaires, qui réduisent de 30 % la demande d'électricité pour la production d'aluminium par rapport aux électrodes conventionnelles, inspirent d'autres recherches industrielles en vue d'améliorer la performance énergétique des procédés d'électrolyse utilisés au Québec.

L'utilisation de matériaux composites pour les cathodes mouillables et de céramiques pour les anodes inertes contribue globalement à réduire de 16 % l'électricité requise pour produire une quantité donnée d'aluminium<sup>20</sup>.

De façon combinée, ces technologies en développement pourraient, sur un horizon de quelques décennies, réduire la demande des futures alumineries de plus de 45 %.

### **2.2.3**

#### **LES AUTRES PROCÉDÉS**

Hydro-Québec participera à la promotion de procédés performants, comme l'amélioration des procédés de chauffe à basse température qui utilisera de nouvelles électrotechnologies à haute performance, telles l'induction, les micro-ondes, les pompes à chaleur et la recompression mécanique de la vapeur.

Hydro-Québec investit dans la recherche et la démonstration des fours à arc à courant continu, un procédé en développement qui permettra également des économies d'énergie substantielles.

20. CRIQ, *Potentiel envisageable et probabilité de développement pour la période 2000 à 2010 des utilisations nouvelles de l'énergie*, septembre 1991.

### 3.1

#### LE TRAIN À

#### SUSTENTATION

#### MAGNÉTIQUE

Les trains à sustentation magnétique ont été étudiés et développés de façon extensive au Japon, en Allemagne et en Grande-Bretagne. Comme son nom l'indique, ce train se déplace dans le vide grâce à la force créée par un puissant champ magnétique. Guidé par un rail surélevé, le train à sustentation magnétique peut atteindre une vitesse de croisière de près de 400 km/h. Ce moyen de transport offre des avantages considérables par rapport au train conventionnel ou encore aux autres moyens de transport : dans certains cas, il permet de réduire la consommation d'énergie, en particulier l'énergie fossile ; il élimine la congestion le long des autoroutes et diminue la circulation aérienne aux alentours de nombreux aéroports ; il est moins bruyant qu'un train conventionnel, plus confortable et son entretien est moins coûteux. La commercialisation du train à sustentation magnétique reste cependant tributaire des développements technologiques de la supraconductivité<sup>21</sup>.

### 3.2

#### LE VÉHICULE

#### ÉLECTRIQUE

Depuis le tout début du XX<sup>e</sup> siècle, la recherche sur les véhicules électriques s'est faite de façon sporadique. À cause du coût élevé de ce type de véhicule et de sa performance inférieure à celle du véhicule conventionnel, le véhicule électrique a toujours échoué dans sa tentative d'arracher une part de marché intéressante. Or, les nouvelles réglementations américaines en matière d'environnement laissent entrevoir une percée significative des véhicules électriques sur le marché à la fin de la présente décennie.

Les efforts des gouvernements américains pour réduire les émissions polluantes des véhicules au combustible auront un effet certain sur le marché des véhicules électriques. Déjà l'*Air Resources Board* de Californie exige que, d'ici à 1998, 2 % des voitures vendues sur son territoire ne produisent aucune émission. Les États de New York et du Massachusetts ont également emboîté le pas et il est prévu que huit autres États du Nord-Est américain adopteront des lois similaires<sup>22</sup>. Les véhicules électriques ne sont pas les seuls à répondre aux restrictions des gouvernements quant aux émissions polluantes. L'utilisation d'un combustible comme l'hydrogène est également envisageable. Cependant, compte tenu des coûts de production actuels de l'hydrogène, l'option électrique semble la plus rentable.

21. IREQ, *Impact technologique de la supraconductivité à la température de l'azote liquide*, décembre 1989.

22. CHANDLER, David, "For electric cars, future's here", *The Boston Globe*, JULY 13th 1992.

La diffusion du véhicule électrique sera cependant limitée par la disponibilité d'un accumulateur respectant des exigences particulières de densité d'énergie, d'absence d'autodécharge, d'effet de mémoire, de faible température d'opération et d'utilisation de matériaux moins polluants. Sans cet accumulateur, le véhicule électrique demeurera un objet de luxe et une curiosité technique. Or, depuis plus de 10 ans, Hydro-Québec mène une activité de recherche et de développement d'accumulateur de haute densité d'énergie. Cette technologie, dénommée ACEP (accumulateur à électrolyte polymère), assure justement une densité énergétique suffisante pour les véhicules électriques.

La diffusion du véhicule électrique sera également limitée par la nature même de cette technologie. En effet, à cause du poids des accumulateurs, seuls les véhicules de promenade et les véhicules utilitaires ou les camions légers électriques seront avantageux. La pénétration du secteur des camions légers devrait devancer celle du secteur automobile, car les déplacements commerciaux typiques sont caractérisés par de fréquents arrêts et des trajets de courte distance. Et c'est là précisément que réside la force comparative du véhicule électrique.

## 4

Hydro-Québec considère dans une perspective globale tout moyen alternatif de production d'énergie et de production d'électricité qui permette aux clients de satisfaire leurs besoins tout en conservant le même confort. Le présent chapitre concerne donc la production d'énergie et d'électricité sur une petite échelle qui comblera, en tout ou en partie, les besoins d'un client résidentiel, commercial ou industriel, et qui n'est aucunement destinée à la vente ou la revente<sup>23</sup>.

### 4.1

#### LE SOLAIRE

Il existe deux types de système pour capter les radiations du soleil : le solaire actif et le solaire passif. Le solaire actif fait appel à des systèmes électromécaniques et est destiné à produire uniquement de la chaleur par le biais de capteurs solaires. Le solaire passif procure aussi de la chaleur, mais principalement par le biais de la fenestration et du design approprié des immeubles en fonction du soleil.

Même si le solaire passif est la forme d'énergie solaire la plus connue, cela ne veut pas dire qu'il est bien utilisé. En effet, les principaux intervenants connaissent mal les méthodes d'application de cette source d'énergie. C'est pourquoi Hydro-Québec entend promouvoir les avantages du solaire passif. Des efforts de sensibilisation auprès des architectes, des ingénieurs, des promoteurs et des constructeurs immobiliers ainsi qu'auprès des municipalités afin qu'elles revoient leur plan d'urbanisme en faveur de l'utilisation maximale de l'énergie solaire font partie des interventions d'Hydro-Québec.

Le système d'énergie solaire actif transforme l'énergie solaire en énergie thermique. Le cœur du système est donc un capteur qui convertit les rayons solaires en chaleur. Chaque type de capteur est conçu pour des applications particulières. Le type de capteur le plus simple est celui qui est utilisé pour chauffer les piscines. Il s'agit d'un panneau de polymère noir renfermant une multitude de canaux à l'intérieur desquels circule l'eau de la piscine.

Pour des applications nécessitant des températures plus élevées (de 70° C à 80° C), on utilise des capteurs à plaque en thermoplastique ou en métal dans un bâti vitrifié, qui réduisent les pertes par radiation et par convection. D'ici à l'an 2010, il est prévu que les applications rentables seront limitées au chauffage de l'eau ou de l'air à basse température<sup>24</sup>.

23. L'annexe *Moyens de production* aborde la production d'électricité sur une grande échelle.

24. HYDRO-QUÉBEC, *Prospectons*, Vol. 1 No 4.

## **4.2**

### **LE PHOTOVOLTAÏQUE**

Les cellules photovoltaïques sont des semi-conducteurs qui transforment l'énergie solaire en courant électrique. Dans des conditions normales d'ensoleillement, la puissance du soleil atteint environ  $1 \text{ kW/m}^2$ . Puisque l'énergie solaire n'est disponible qu'en période d'ensoleillement, l'utilisation du photovoltaïque doit être jumelée à l'utilisation d'une autre source d'énergie ou encore au stockage d'énergie, ce qui touche grandement la rentabilité du système.

L'énergie produite par les cellules photovoltaïques actuelles coûte de cinq à dix fois plus cher que l'électricité conventionnelle. Or, le développement de semi-conducteurs à couche mince pourrait réduire le coût des cellules par un facteur de 10 et permettre à long terme une plus grande diffusion du photovoltaïque au Québec.

## **4.3**

### **LES PILES À**

#### **COMBUSTIBLE**

La première pile à combustible a été conçue à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, mais ses applications commerciales sont beaucoup plus récentes. Utilisées principalement pour les missions spatiales, les piles à combustible peuvent transformer, sans recourir à la combustion, l'énergie chimique contenue dans un combustible en énergie électrique en combinant chimiquement l'hydrogène contenu dans le combustible avec l'oxygène de l'air<sup>25</sup>.

La démonstration technologique des piles à combustible n'est maintenant plus à faire ; cependant, une démonstration commerciale sur une grande échelle, qui garantira la rentabilité et les avantages du produit comparativement à d'autres énergies, doit être réalisée. Bien que les piles à combustible puissent être utilisées par les entreprises d'électricité pour produire de l'électricité à grande échelle<sup>26</sup>, une application prometteuse semble être la production combinée de faible taille : la pile à combustible est installée chez le client et fournit de l'énergie électrique et de l'énergie thermique.

25. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, *Comparative Assessment of Residential Energy Supply Systems that Use Fuel Cells*, June 1979.

26. Voir l'annexe *Moyens de production*.



Dans le secteur commercial, l'utilisation de la pile à combustible est intéressante, puisque les deux types d'énergie sont utilisés en quantité suffisante pour profiter d'économies d'échelle. Des systèmes de piles à combustible pourraient répondre aux besoins énergétiques d'immeubles à bureaux, de restaurants, de commerces, de motels, d'immeubles multilogements et d'hôpitaux pour des usages aussi variés que l'éclairage, le chauffage de l'eau et des locaux, la production de vapeur et la réfrigération.

Les piles à combustible pourraient également être utilisées dans le secteur industriel, notamment par l'industrie chimique, la métallurgie, les pâtes et papiers et l'alimentation<sup>27</sup>.

#### 4.4

##### LES ÉOLIENNES DE

##### FAIBLE TAILLE

L'éolienne de faible taille est une petite éolienne de quelques dizaines de kilowatts qui sert uniquement à répondre aux besoins d'un client. L'énergie produite n'est pas destinée à la vente.

Le vent peut produire deux types d'énergie : l'énergie mécanique et l'énergie électrique. L'énergie mécanique des éoliennes sert principalement au pompage de l'eau, tandis que l'énergie électrique peut être utilisée pour alimenter tout appareil fonctionnant à l'électricité s'il y a coïncidence entre la capacité de production de l'éolienne et la puissance appelée par l'appareil. La puissance des éoliennes varie d'un appareil à l'autre, allant de quelques dizaines de watts à plusieurs centaines de kilowatts.

Il existe deux modèles d'éolienne : le modèle à axe horizontal, le plus courant, dont les pales s'apparentent à celles de l'hélice d'un avion, et le modèle à axe vertical, dont les pales ressemblent à un batteur à oeufs. L'installation d'une éolienne exige beaucoup d'espace. Il faut en effet un dégagement latéral de 100 m et un dégagement en hauteur de 10 m<sup>28</sup>, ce qui limite la diffusion de tels appareils.

27. HAGEY, Graham, MARINETTI, Daryl, "Status of fuel cell systems development/ commercialisation and futur systems energy, environmental, and economic benefits", *Next Generation Technologies for Efficient Energy End Uses and Fuel Switching*, International Energy Agency, April 1992.

28. US DEPARTMENT OF ENERGY, *Homemade Electricity*, 1984.

La capacité de production d'une éolienne est étroitement liée à la vitesse du vent. Il faut un vent d'au moins 16 km/h pour produire de l'électricité de façon efficace. De plus, la puissance maximum d'une éolienne est proportionnelle au cube de la vitesse du vent, ce qui signifie que des vents de 25 km/h produisent presque deux fois plus d'énergie que des vents de 20 km/h<sup>29</sup>. Cette variation de la puissance produite constitue l'un des principaux désavantages de l'éolienne, tout comme les coûts élevés de production lorsque cette dernière est faite à petite échelle. En 1991, les coûts de production de l'électricité à partir d'une éolienne d'une puissance de 10 kW étaient estimés à près de 0,11 \$ le kilowattheure<sup>30</sup>.

29. MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE DE L'ONTARIO, "Énergie éolienne" *Infoénergie*, février 1992.

30. ONTARIO HYDRO, *Alternative Energy Review*, September 1991.

## Conclusion

Qu'elle se rattache à une électrification accrue, en raison de nouvelles utilisations de l'électricité, ou aux économies d'énergie, la vigie technologique qu'exerce Hydro-Québec aura toujours pour but premier la recherche des produits les plus performants.

Les efforts de recherche et développement d'Hydro-Québec sont donc nécessaires, puisqu'ils auront un effet catalyseur sur le développement de technologies performantes.

Par conséquent, Hydro-Québec s'engage directement dans des projets de développement et de démonstration de technologies performantes, comme le plasma, le chauffage à infrarouge et les chauffe-eau performants. L'entreprise doit également déterminer les axes de développement technologiques les plus prometteurs qui s'intègrent à ses diverses activités. Cette veille technologique permet ainsi d'assurer une meilleure allocation des sommes investies par Hydro-Québec dans la recherche, le développement et la démonstration. Les champs de recherche à long terme de l'entreprise seront élargis pour faire place à des projets pouvant avoir une incidence particulière sur les économies d'énergie reliées aux utilisations de l'électricité par la clientèle.



Ce document est imprimé sur du  
papier recyclé fabriqué au Québec.

## **ANNEXES**

1. Rapport de consultation
2. Efficacité énergétique
3. Moyens de production
4. Contribution au développement économique du Québec
5. Exportations à long terme et utilisation des interconnexions
6. Prévission de la demande d'électricité au Québec
7. Orientations tarifaires à long terme

## **DOCUMENTS DE TRAVAIL**

Combinaisons d'options – Impacts  
Combinaisons d'options – Méthodologie d'analyse des impacts  
Amélioration du réseau existant  
Environnement  
Progrès technologiques et utilisation efficace de l'électricité

Pour obtenir ces documents,  
adresser une demande écrite à :

Hydro-Québec  
Centre d'information  
4<sup>e</sup> étage  
680, rue Sherbrooke ouest  
Montréal (Québec)  
H3A 2M7  
Télécopieur : (514) 289-3674

ou téléphoner à : 1-800-Énergie



© Hydro-Québec, 1992

Reproduction autorisée avec mention de la source

Dépôt légal – 4<sup>e</sup> trimestre 1992

Bibliothèque nationale du Québec

Bibliothèque nationale du Canada

ISBN 2-550-26727-3

92-181-F-10

*This document is available in English.*