Institut des sciences de l'environnement
Université du Québec à Montréal

150 **DB25**

Projet d'aménagement hydroélectrique
de la Toulnustouc par Hydro-Québec

Côte-Nord **6211-03-061**

LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES AU QUÉBEC

M. RAYMOND
G. LEDUC
J-F. LÉONARD
J. PRADES
P. ROUSSEAU
C. TESSIER

Rapport final
préparé pour le

Ministère de l'Environnement du Québec
Direction des Affaires nordiques et autochtones

Juin 1993

REMERCIEMENTS

Ce projet de recherche n'aurait pu être réalisé sans les efforts concertés de plusieurs personnes. Au Ministère de l'Environnement du Québec (direction des Affaires nordiques et autochtones) nous exprimons toute notre gratitude à monsieur Normand Trempe, responsable du projet ainsi qu'à madame Mireille Paul pour leur étroite collaboration.

Nous tenons également à remercier les membres du comité externe de lecture, composé de messieurs:

Jean-Thomas Bernard		
Université Laval	GREEN	Groupe de recherche en économie de l'énergie et des ressources naturelles
Taoudfik Boudchiche		
	IEPF	Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français
Richard Loulou		
Université Mc Gill	GERAD (HEC)	Groupe d'études et de recherche en analyse de décisions
Normand Thérien		
Université Sherbrooke	PROFESSEUR	Département génie chimique, Faculté des sciences appliquées
Jean-Philippe Waaub,		
	GERAD HEC	Groupe d'études et de recherche en analyse de décisions

Leurs commentaires avisés et les critiques constructives, aux différentes étapes de la démarche, ont permis d'améliorer la version préliminaire de ce document.

Des remerciements sincères s'adressent aussi à **madame Marie Viau**, bibliothécaire au Bureau d'Efficacité Énergétique du Ministère de l'Énergie et des Ressources ainsi qu'à **monsieur Jean-Marc Carpentier** pour ses commentaires judicieux sur la méthodologie.

Nous ne saurions passer sous silence la collaboration de **madame Nathalie Fleurent**, qui a grandement contribué à la saisie de données des fiches d'impact et celle de **monsieur Félix Blackburn**, pour ses conseils techniques concernant la conception des matrices et des graphiques couleur.

RÉSUMÉ

Cette étude a été réalisée par l'Institut des Sciences de l'environnement de l'Université du Québec à Montréal suite à l'octroi d'un contrat par la Direction des Affaires nordiques et autochtones du Ministère de l'Environnement du Québec.

Les impacts environnementaux des diverses filières énergétiques sont multiples et complexes au point de susciter un certain nombre de controverses quant aux actions à poser dans le cadre d'une saine gestion de l'énergie. L'évaluation de ces impacts et l'analyse de certains phénomènes connexes comme la substitution énergétique ou le potentiel d'économies d'énergie s'avèrent cependant nécessaires à une compréhension globale du domaine énergétique et à la justification de mesures visant la protection de l'environnement.

Néanmoins, cette évaluation comporte un certain nombre de limitations sérieuses. Parmi celles-ci, soulignons l'incertitude scientifique qui entoure certains impacts environnementaux de l'utilisation de l'énergie, la difficulté de comparer les impacts des différentes filières sur une base commune et la prise en compte du contexte spatial et de la notion de temps au sein de ces diverses évaluations.

Ce rapport présente une synthèse de la littérature canadienne, américaine et étrangère en relation avec la problématique générale des impacts environnementaux attribuables aux diverses filières énergétiques. L'analyse a été effectuée en utilisant la méthodologie de l'évaluation des impacts environnementaux (EIE) et en regroupant l'ensemble des impacts sous quatre thèmes: les impacts liés au flux d'énergie fourni par les diverses ressources, les impacts à incidence environnementale globale, les impacts ayant un effet sur des éléments du patrimoine mondial et les impacts spécifiques à portée plus restreinte.

Après avoir dressé le bilan énergétique du Québec, cette analyse a permis de définir les principaux impacts environnementaux attribuables aux différentes filières énergétiques et de classer ces dernières les unes par rapport aux autres. Par la suite, le rapport présente une analyse des évaluations de potentiels d'économies d'énergie et de substitutions énergétiques effectuées par divers intervenants dans le domaine énergétique au Québec. Finalement le rapport présente une série de recommandations et d'orientations pour favoriser une gestion de l'énergie qui tienne compte des répercussions environnementales identifiées.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION 1

1.1 Définition et interprétation du mandat 2

1.2 Contenu du rapport 3

2. LE BILAN ÉNERGÉTIQUE DU QUÉBEC 4

2.1 La consommation énergétique au Québec 5

2.1.1 *Consommation globale* 5

2.1.2 *Les ressources et la consommation* 7

2.1.3 *Les secteurs d'activité et la consommation* 9

2.1.4 *Interactions ressources/secteurs* 10

2.2 Les approvisionnements énergétiques du Québec 12

2.2.1 *Les ressources fossiles* 12

2.2.2 *L'électricité* 14

2.2.3 *Bilan des approvisionnements* 17

3. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE 19

3.1 Description générale 20

3.2 Identification des activités 22

3.2.1 *Identification des filières énergétiques* 22

3.2.2 *Liste des filières énergétiques* 23

3.2.3 *Classification des activités relatives aux filières énergétiques* 24

3.3 Prévision des effets 24

3.3.1 *Identification et regroupement des interactions* 24

3.3.2 *Liste des critères environnementaux* 26

3.3.3 *Évaluation des impacts* 28

3.3.3.1 État et normes de référence 28

3.3.3.2 Identification des indicateurs 29

3.3.3.3 Fiches d'impacts et tableaux comparatifs 31

3.4 Évaluation synthétique 33

3.4.1 *Identification des thèmes d'analyse* 34

3.4.2 *Classement des filières* 35

3.4.3 *Comparaison des filières* 36

4. ANALYSE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX 37

4.1 Les impacts énergétiques 38

4.2 Les impacts globaux 39

4.2.1 *Changement climatique global* 39

4.2.1.1 Description de l'impact et choix des indicateurs 39

4.2.1.2 Analyse de l'impact 40

4.2.1.3 Classement des filières 44

4.2.2 *Déperdition de la couche d'ozone* 45
4.2.2.1 Description de l'impact et choix des indicateurs 45
4.2.2.2 Analyse de l'impact 46
4.2.2.3 Classement des filières 47
4.2.3 *Précipitation acide* 47
4.2.3.1 Description de l'impact et choix des indicateurs 47
4.2.3.2 Analyse de l'impact 48
4.2.3.3 Classement des filières 49
4.2.4 *Risque de catastrophe* 50
4.2.4.1 Description de l'impact et choix des indicateurs 50
4.2.4.2 Analyse de l'impact 50
4.2.4.3 Classement des filières 52
4.3 Les impacts sur le patrimoine mondial 52
4.3.1 *Modification d'écosystèmes* 53
4.3.1.1 Description de l'impact et choix des indicateurs 53
4.3.1.2 Analyse de l'impact 53
4.3.1.3 Classement des filières 54
4.3.2 *Modification de l'aménagement* 54
4.3.2.1 Description de l'impact et choix des indicateurs 54
4.3.2.2 Analyse de l'impact 55
4.3.2.3 Classement des filières 55
4.3.3 *Modification du paysage* 56
4.3.3.1 Description de l'impact et choix des indicateurs 56
4.3.3.2 Analyse de l'impact 56
4.3.3.3 Classement des filières 57
4.3.4 *Modification du mode de vie* 57
4.3.4.1 Description de l'impact et choix des indicateurs 57
4.3.4.2 Analyse de l'impact 60
4.3.4.3 Classement des filières 60
4.4 Impacts spécifiques 62
4.4.1 *Pollution de l'air ambiant* 62
4.4.1.1 Description de l'impact et choix des indicateurs 62
4.4.1.2 Analyse de l'impact 63
4.4.1.3 Classement des filières 65
4.4.2 *Pollution des eaux* 65
4.4.2.1 Description de l'impact et choix des indicateurs 65
4.4.2.2 Analyse de l'impact 65
4.4.2.3 Classement des filières 66
4.4.3 *Pollution du sol* 66
4.4.3.1 Description de l'impact et choix des indicateurs 66
4.4.3.2 Analyse de l'impact 66
4.4.3.3 Classement des filières 67
4.4.4 *Pollution thermique* 68
4.4.4.1 Description de l'impact 68
4.4.4.2 Analyse de l'impact 68
4.4.4.3 Classement des filières 70
4.4.5 *Pollution radioactive* 70
4.4.5.1 Description de l'impact et choix des indicateurs 70
4.4.5.2 Analyse de l'impact 71
4.4.5.3 Classement des filières 71

4.4.6 *Pollution sonore et olfactive* 72
4.4.6.1 Description de l'impact 72
4.4.6.2 Analyse de l'impact 72
4.4.6.3 Classement des filières 73
4.4.7 *Santé et sécurité* 73
4.4.7.1 Description de l'impact et choix des indicateurs 73
4.4.7.2 Analyse de l'impact 73
4.4.7.3 Classement des filières 75
Matrice des impacts potentiels 76
Matrice comparative des diverses filières énergétiques 77

5. ÉVALUATION GLOBALE DES FILIERES ÉNERGÉTIQUES 78

5.1 Impacts énergétiques 79
5.2 Impacts globaux 81
5.3 Impacts sur le patrimoine mondial 82
5.4 Impacts spécifiques 83
5.5 Évaluation globale 84

6. POTENTIEL D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE AU QUÉBEC 86

6.1 Définition d'économies d'énergie 88
6.1.1 *Économies d'énergie tendancielles* 88
6.1.2 *Économies d'énergie induites* 88
6.2 Objectifs des économies d'énergie 90
6.3 Moyens de réaliser des économies d'énergie 91
6.3.1 *Efficacité énergétique* 91
6.3.2 *Utilisation rationnelle de l'énergie* 92
6.3.3 *Autres moyens de réaliser des économies d'énergie* 92
6.3.4 *Autres éléments à considérer* 93
6.4 Évaluation des potentiels d'économies d'énergie 94
6.4.1 *La mesure du potentiel* 94
6.4.2 *Quelques évaluations du potentiel d'économies d'énergie* 96
6.5 Évaluation des potentiels au Québec 100
6.5.1 *Estimations du* MER 100
6.5.2 *Estimations d'*Hydro-Québec 102
6.5.3 *Estimations d'*EMR 105

6.6 De l'évaluation des potentiels aux objectifs de réalisation 111
6.6.1 *Objectifs de la Stratégie d'efficacité énergétique du* MER 111
6.6.2 *Objectifs du programme d'efficacité énergétique d'*Hydro-Québec 111
6.7 Conclusion 112

7. POTENTIEL DE SUBSTITUTION ÉNERGÉTIQUE AU QUÉBEC 114

7.1 Définition de la substitution énergétique 115
7.2 Objectifs de la substitution énergétique 116
7.3 Mesures d'interventions de substitution énergétique 116
7.3.1 *Substitution intégrale (complète)* 117
7.3.2 *Substitution partielle (incomplète)* 117
7.4 Évaluation des potentiels de substitution énergétique 117
7.5 Évaluation des potentiels au Québec 118
7.5.1 *Évaluation du* MER 118
7.5.2 *Évaluation d'*Hydro-Québec 119
7.5.3 *Évaluation de Gaz Métropolitain* 119
7.5.4 *Évaluation d'*Ontario-Hydro 120
7.5.5 *Évaluation des bénéfices environnementaux* 120
7.6 Conclusion 120

8. CONCLUSION ET ORIENTATIONS 122

8.1 Principales conclusions 123
8.2 Orientation globale: les économies d'énergie 124
8.3 Orientations générales 125
8.3.1 *Ressources durables* 125
8.3.2 *Ressources renouvelables* 126
8.4 Politique de développement énergétique durable 126

BIBLIOGRAPHIE 127

ANNEXE 1 FICHES D'IMPACTS DOCUMENT D'ACCOMPAGNEMENT

Liste des tableaux

Tableau 2.1 Utilisation des principales ressources énergétiques au Québec par secteur d'activité (1991), en pourcentage (%).....11

Tableau 3.1 Liste des critères utilisés lors d'évaluations environnementales dans le domaine énergétique. 25

Tableau 4.1 Viabilité de chaque filière énergétique. 39

Tableau 4.2 Rôle des différents gaz dans l'effet de serre 40

Tableau 4.3 Facteurs d'émissions de CO_2 42

Tableau 4.4 Facteurs d'émissions du CH_4 43

Tableau 4.5 Émissions de CO_2 estimées pour une centrale thermique produisant 1 TWh par année (en tonnes). 43

Tableau 4.6 Émissions de CO_2 pour l'exploitation de différentes filières. 44

Tableau 4.7 Évaluation des émissions de CO_2 et de CH_4 par les filières énergétiques québécoises. 45

Tableau 4.8 Facteurs d'émission du N_2O 46

Tableau 4.9 Facteurs d'émission de NO_x. 48

Tableau 4.10 Émissions de SO_2 et de NO_x estimées pour une centrale thermique produisant 1 TWh par année (en tonnes). 49

Tableau 4.11 Indices d'évaluation pour le risque de catastrophe. 51

Tableau 4.12 Espace du territoire nécessaire à l'exploitation de différentes filières.....57

Tableau 4.13 Indices d'évaluation pour la modification du paysage. 58

Tableau 4.14 Indices d'évaluation pour la modification du mode de vie. 61

Tableau 4.15 Facteurs d'émission de composés organiques volatiles (COV)...63

Tableau 4.16 Indices d'évaluation pour la qualité de l'air ambiant.....64

Tableau 4.17 Quantité de chaleur rejetée par unité de puissance produite pour différents types de centrales.....69

Tableau 4.18 Consommation d'eau pour l'exploitation de différentes filières.....69

Tableau 4.19 Estimations des doses collectives de radiation pour différentes centrales électriques. 71

Tableau 4.20 Indices d'évaluation de la santé et sécurité. 74

Tableau 4.21 Résumé des taux de décès (décès/1 000MW année) pour les filières à combustion fossile pour la production électrique. 75

Tableau 5.1 Évaluation globale des impacts environnementaux des différentes filières énergétiques. 80

Tableau 6.1 Évaluation des potentiels et des barrières aux économies d'énergie au Canada. 98
Tableau 6.2 Évaluation des potentiels d'économies d'énergie dans les pays de l'AIE. 99
Tableau 6.3 Potentiel technico-économique d'efficacité énergétique, volet économies d'énergie, ensemble des marchés d'Hydro-Québec. 104
Tableau 6.4 Potentiel canadien d'économies d'énergie en 2020, selon les secteurs et par ressources. 108
Tableau 6.5 Répartition du potentiel d'économies d'énergie au Canada en l'an 2000, selon les ressources et les régions. 110

Liste des figures

Figure 2.1 Évolution de la consommation énergétique totale et du produit intérieur brut (PIB) du Québec, 1972-1991 6

Figure 2.2 Évolution historique de la consommation énergétique au Québec, selon les ressources (1972-1991). 7

Figure 2.3 Répartition canadienne de la consommation énergétique selon les ressources commerciales utilisées en 1991. 8

Figure 2.4 Répartition par région canadienne de l'utilisation finale des ressources énergétiques en 1989. 9

Figure 2.5 Évolution historique de la consommation énergétique totale au Québec par secteur d'utilisation (1972-1991). 10

Figure 2.6 Évolution historique du mode de chauffage principal, secteur résidentiel, par ressources énergétiques au Québec (1972-1990). 11

Figure 2.7 Importations et exportations des ressources énergétiques du Québec, 1990 (en térajoules). 13

Figure 2.8 Ressources primaires utilisées dans la production d'électricité au Québec en 1991 14

Figure 2.9 Répartition de la production d'électricité par ressources énergétiques en 1989. 15

Figure 2.10 Évolution historique de la production d'électricité au Québec selon les producteurs (1972-1992). 16

Figure 2.11 Évolution des exportations et des importations d'électricité (incluant la production de Churchill Falls) du Québec, 1972-1991. 17

Figure 2.12 Répartition des approvisionnements globaux selon les ressources énergétiques en 1989, divers États. 18

Figure 3.1 Concept méthodologique 22

Figure 6.1 Typologie des économies d'énergie. 89

Figure 6.2 Évaluation du potentiel d'économies d'énergie en électricité aux États-Unis, 1990. 96

Figure 6.3 Évaluation du potentiel d'économies d'énergie en pétrole aux États-Unis, 1990 97

Figure 6.4 Répartition du potentiel d'économies d'énergie au Québec, par secteur et par ressource, selon les travaux du GREPE. 100

Figure 6.5 Le potentiel d'efficacité énergétique du Québec, répartition par secteur de consommation et par forme d'énergie, 1990 (en énergie finale). 102
Figure 6.6 Potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique pour l'ensemble des marchés d'Hydro-Québec. 103
Figure 6.7 Comparaison entre divers scénarios pour l'utilisation future de l'énergie et potentiel d'économies d'énergie au Canada 106
Figure 6.8 Émissions de dioxide de carbone au Canada selon deux scénarios énergétiques différents, 1988-2020. 107
Figure 6.9 Répartition du potentiel canadien d'économies d'énergie, selon les ressources en 2020. 109
Figure 6.10 Répartition canadienne des économies d'énergie selon les régions et les principales ressources, 2020. 109

1. INTRODUCTION

1- INTRODUCTION

1.1 DÉFINITION ET INTERPRÉTATION DU MANDAT

Le mandat confié à l'Institut des sciences de l'environnement de l'Université du Québec à Montréal par le Ministère de l'environnement du Québec est de réaliser une étude bibliographique sur les impacts environnementaux des différentes filières énergétiques, étude portant principalement sur les six aspects suivants:

1. le bilan énergétique du Québec
2. l'impact environnemental de la production d'électricité
3. l'impact environnemental de la production et de l'utilisation des autres ressources énergétiques
4. les économies d'énergie
5. les substitutions d'énergie
6. les orientations possibles de la gestion de l'énergie au Québec, compte tenu des impacts environnementaux et des technologies disponibles.

Les éléments de ce mandat nous amènent donc à concevoir cette étude d'abord comme une synthèse des informations disponibles et ensuite comme un outil permettant d'identifier un certain nombre d'avenues quant à une gestion de l'énergie qui soit consciente des contraintes environnementales liées à l'exploitation des différentes ressources.

Si certains aspects de ce mandat peuvent facilement être limités au contexte québécois, d'autres par contre ont des répercussions qui en débordent largement les frontières. Les grands courants atmosphériques ou les réseaux hydrographiques. par exemple, peuvent rapidement transformer une émission polluante locale en pollution transfrontalière. De telles considérations nous ont conduit à aborder le mandat d'une façon globale et à analyser les divers éléments de manière à tenir compte de l'ensemble de leurs répercussions tout au long du cycle d'utilisation des ressources, de l'extraction ou de la production au rejet final.

Par contre, cette approche globale ne doit pas nous faire perdre de vue les limites et les contraintes locales. Elle nous servira donc plutôt à situer le contexte énergétique du Québec dans un ensemble plus large pour nous permettre de saisir les implications de nos activités dans le domaine énergétique. En ce sens, le mandat différencie l'analyse des impacts environnementaux des filières de production d'électricité de celle des autres filières énergétiques. Cette particularité de la situation énergétique au Québec constituera un aspect important de l'analyse.

Bien que les aspects humains soient spécifiquement traités par quelques-uns des critères choisis, l'emphase a surtout été mise sur le caractère biophysique des impacts environnementaux des filières énergétiques. Ce choix n'a pas comme

objectif d'éviter certains enjeux économiques, politiques ou sociaux mais plutôt de concentrer les efforts sur un aspect particulier du problème de la gestion énergétique. En fait, les critères retenus rendent compte d'effets directs sur l'environnement, effets qui peuvent à leur tour engendrer des répercussions diverses et variées autant sur les caractéristiques biophysiques des écosystèmes que sur les aspects sociaux ou encore sur la santé humaine. En ce sens, les conclusions ne pourront être que sectorielles et cette recherche devrait être considérée comme un des éléments nécessaires à une gestion rationnelle de l'énergie.

Malgré ces dernières limitations, nous avons tout de même situé notre approche dans une perspective de développement durable en intégrant un certain nombre de notions qui se dégagent de ce concept (durabilité, intégrité des systèmes biophysiques et humains, interdépendance entre les systèmes d'où, par exemple, les phénomènes d'accumulation dans le temps et dans l'espace, etc.).

De façon plus concrète, nous nous sommes fixé deux objectifs principaux:

1- Présenter une synthèse comparative des impacts environnementaux des filières énergétiques plutôt qu'une compilation exhaustive de leurs effets.

2- Déterminer des orientations possibles de la gestion de l'énergie au Québec dans une perspective de développement durable, en fonction des impacts environnementaux et des possibilités technologiques.

1.2 CONTENU DU RAPPORT

Ce rapport comporte sept grands volets. Le premier traite du bilan énergétique du Québec et présente la consommation énergétique de même que les approvisionnements en énergie, ce dernier aspect incluant la production, l'importation et l'exportation des diverses ressources énergétiques. Le second volet décrit l'approche méthodologique utilisée pour évaluer les impacts environnementaux, le choix des filières énergétiques, la définition des critères environnementaux et le choix des thèmes d'analyse retenus dans une perspective de développement durable. Le troisième volet présente l'analyse des impacts attribuables à chacune des filières énergétiques tandis que le quatrième offre une évaluation synthétique des impacts des filières les unes par rapport aux autres tout en faisant ressortir le contexte énergétique québécois. Les économies d'énergie sont traitées dans le cinquième volet; nous y présentons une analyse et une critique des principales évaluations du potentiel d'économies d'énergie au Québec. Le sixième volet traite des potentiels de substitution énergétique et le dernier présente les principales orientations et recommandations qui découlent de la recherche.

2. LE BILAN ÉNERGÉTIQUE DU QUÉBEC

2- LE BILAN ÉNERGÉTIQUE DU QUÉBEC

La présentation du bilan énergétique du Québec est divisée en deux grandes parties: d'abord la consommation énergétique puis les approvisonnements énergétiques. L'utilisation de l'énergie est un domaine fort dynamique et complexe. En ce sens, l'aspect factuel de tout bilan demeure incomplet sans une perspective temporelle et spatiale suffisante. C'est pourquoi chacune des deux grandes divisions du bilan énergétique retrace l'évolution historique au Québec depuis les vingt dernières années et compare la situation énergétique québécoise à celle d'autres sociétés développées.

L'année 1972 a été choisie comme point de départ de la comparaison historique d'abord parce qu'elle procure un recul suffisant et ensuite parce que la majorité des données disponibles depuis cette date sont comparables entre elles. En outre, elle précède le premier choc pétrolier de 1973, phénomène qui est à l'origine de changements notables dans les politiques énergétiques des pays dont l'économie était largement dépendante du pétrole comme source principale d'approvisionnement énergétique.

La mise en perspective de la situation québécoise par rapport aux autres provinces canadiennes ou à d'autres pays développés permet elle aussi un éclairage propice à une meilleure compréhension du bilan énergétique du Québec. Elle permet de comprendre d'abord les modifications qui sont survenues dans notre schème de consommation d'énergie, d'en dresser le bilan actuel et ensuite de situer nos performances et nos possibilités de développement.

L'ensemble des renseignements sur le bilan énergétique du Québec provient essentiellement des documents suivants: *L'énergie au Québec*, édition 1992 (MER, 1992a), *Politiques énergétiques des pays de l'*AIE (AIE/IEA, 1992) et *L'énergie au Canada: Offre et demande* 1990-2010 (ONE, 1991).

2.1 LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE AU QUÉBEC

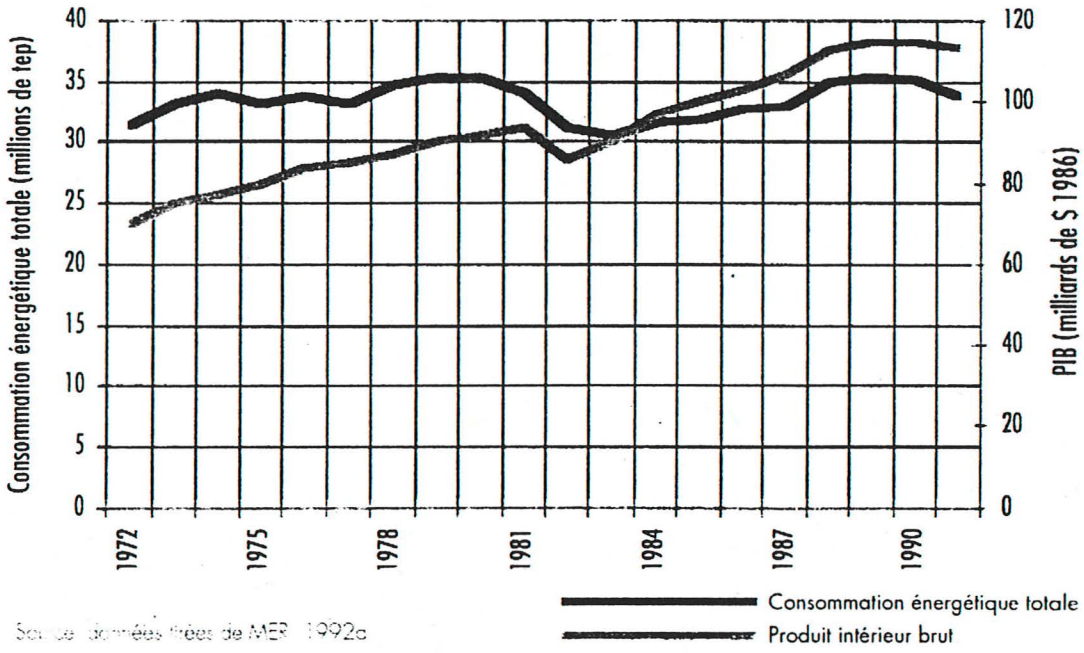
2.1.1. *Consommation globale*

Au cours des deux dernières décennies, la consommation totale[1] d'énergie au Québec est demeurée relativement stable; en fait, la consommation des dernières années est semblable à celle qui avait cours au milieu des années 70. Les fluctuations de la consommation depuis 1972, dont les valeurs extrêmes ont varié de 30,5 (1983) à 35,5 millions de tep[2] (1980 et 1989), sont représentées à la figure 2.1. Après

[1]La consommation totale inclut la biomasse.
[2]Tonne équivalent pétrole (tep).

une remontée de la croissance au milieu des années 80 la consommation semble se maintenir à la baisse depuis 1989. Compte tenu cependant du ralentissement économique survenu depuis 1989 et surtout des conditions climatiques fort clémentes (-507 et -158 degrés-jours de chauffe en 1990 et 1991 par rapport à la moyenne des trente dernières années) cette réduction de la consommation d'énergie pourrait ne représenter qu'une pause conjoncturelle de la croissance de la demande énergétique.

Figure 2.1 Évolution de la consommation énergétique totale et du produit intérieur brut (PIB) du Québec, 1972-1991.



Source : données tirées de MER, 1992a

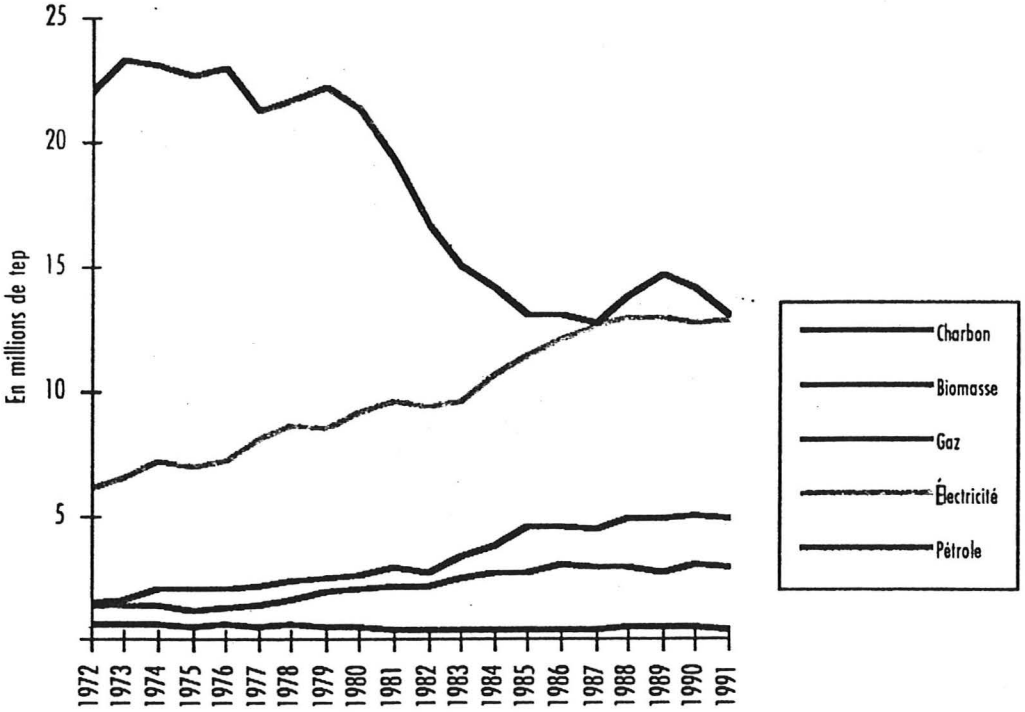
La corrélation entre la croissance économique, représentée ici par la progression du produit intérieur brut (PIB), et celle de la consommation énergétique ne tient plus depuis le choc de 1973. Depuis lors, la croissance économique ne suppose plus nécessairement une croissance correspondante de la consommation énergétique.

La consommation totale d'énergie au Québec est actuellement comparable à ce qu'elle était au cours des années 70 et légèrement en hausse par rapport à la situation au début des années 80. Par contre, la consommation par habitant et la consommation par milliers de dollars de production sont aujourd'hui inférieures aux valeurs enregistrées au cours de la décennie 70 et traduisent donc, du moins partiellement, une amélioration de l'efficacité énergétique de l'ensemble du bilan énergétique québécois. Cependant la consommation per capita au Québec demeure une des plus élevées au monde. Elle peut s'expliquer, du moins en partie, par les besoins en chauffage, par la faible densité de la population et surtout par la structure industrielle forte consommatrice d'énergie (MENVIQ, 1993).

2.1.2 *Les ressources et la consommation*

Si en 1972 le Québec dépendait du pétrole dans une proportion de plus de 70 % pour assurer ses besoins énergétiques, la situation est maintenant tout autre. En effet, à la suite des chocs pétroliers la part de l'utilisation du pétrole comme ressource énergétique a continuellement diminué pour ne plus représenter aujourd'hui qu'environ 40 % de la consommation totale d'énergie. Sans le marché captif représenté par le secteur du transport la part du pétrole serait sans doute encore plus faible. Cette forte réduction a été compensée avant tout par l'augmentation de la consommation d'électricité qui est passée d'une part de moins de 20 % à environ 40 % du bilan et, ensuite, par les hausses respectives du gaz naturel (de 5 à 14 %) et de la biomasse (de 4 à 8,5 %) (Figure 2.2). La chute quasi ininterrompue de la consommation de pétrole depuis 1973 et particulièrement depuis 1980 a été spectaculaire mais semble maintenant connaître un certain ralentissement. Par la substitution énergétique la consommation d'électricité est maintenant pratiquement aussi importante que celle du pétrole dans le bilan énergétique du Québec. Ces deux ressources représentent désormais environ 80 % de la consommation énergétique. La consommation du gaz naturel et de la biomasse ont également connu une croissance continue depuis le début des années 1970 mais leur part relative demeure de moindre importance. Le charbon quant à lui ne représente plus qu'une ressource résiduelle par rapport à ce qu'il était avant le milieu des années 60.

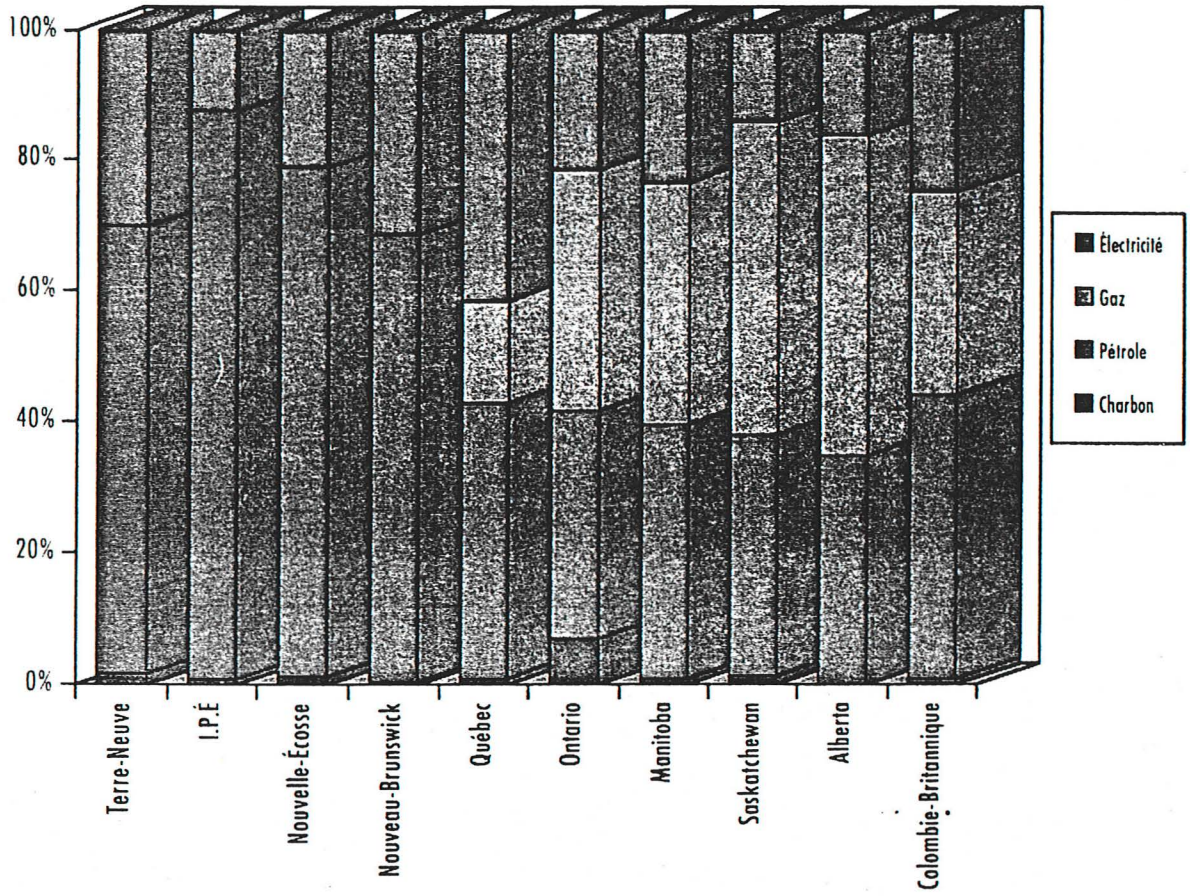
Figure 2.2 Évolution historique de la consommation énergétique au Québec, selon les ressources (1972-1991).



Source : données tirées de MER 1992a

De façon globale donc la consommation énergétique au Québec repose essentiellement sur le pétrole et l'électricité et, dans une moindre mesure sur le gaz naturel. Cette situation contraste avec l'utilisation des ressources faite dans les autres provinces canadiennes (Figure 2.3). Le Québec occupe une place intermédiaire entre les diverses régions canadiennes. Les provinces de l'Atlantique consomment principalement du pétrole (au-moins 70 %), une ressource importée, avec une part relativement importante pour l'électricité, tandis que les provinces à l'ouest du Québec consomme une part importante de gaz naturel (40 %) complétée par le pétrole et l'électricité. Nulle part le charbon ne représente plus de 10 % du bilan.

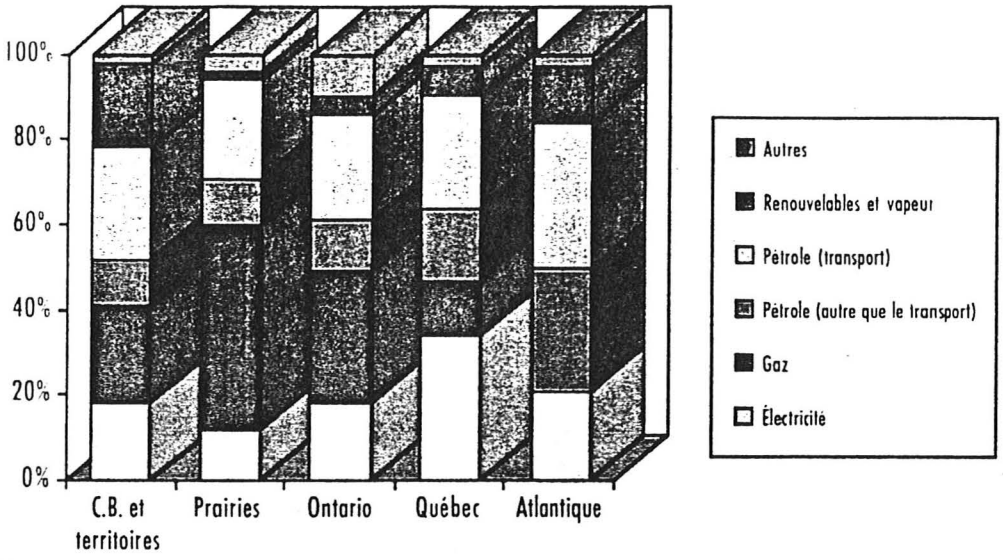
Figure 2.3 Répartition canadienne de la consommation énergétique selon les ressources commerciales utilisées en 1991.



Source: données tirées de Statistique Canada, catalogue 57-003, 1992

La figure 2.4 permet plus de précision concernant l'utilisation des produits pétroliers par les diverses régions canadiennes. Le pétrole servant au secteur du transport est séparé des autres utilisations. Les provinces atlantiques, fortes consommatrices de pétrole, utilisent presque autant de produits pétroliers pour les autres usages que pour leurs besoins de transport, ce qui n'est pas le cas ailleurs.

Figure 2.4 Répartition par région canadienne de l'utilisation finale des ressources énergétiques en 1989.



Source : données tirées du Gouvernement du Canada, 1991

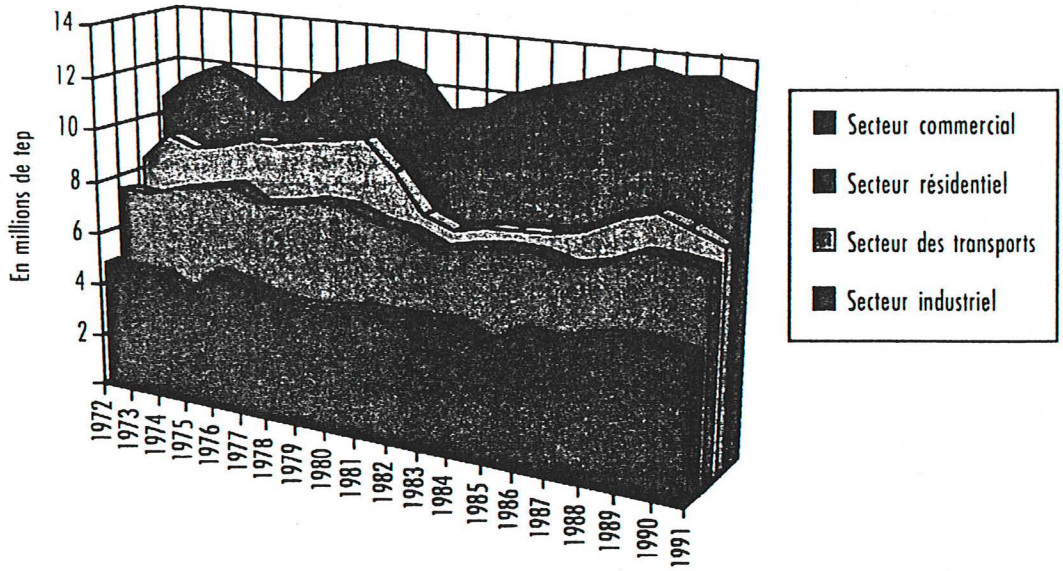
2.1.3 *Les secteurs d'activité et la consommation*

L'évolution historique de la consommation énergétique québécoise par les différents secteurs d'utilisation, contrairement à la situation qui prévalait au sujet des ressources, présente une certaine stabilité, le rang et la part respective de chacun ne se modifiant pratiquement pas au cours des deux dernières décennies. La figure 2.5 montre l'évolution des consommations des différents secteurs depuis 1972. L'impact des chocs pétroliers y apparaît nettement, particulièrement pour les secteurs industriel et du transport.

Pour l'ensemble des deux décennies le secteur industriel est responsable de la plus grande part de la consommation totale d'énergie au Québec avec environ 35 % du bilan. Le secteur des transports occupe le second rang (25 %) tandis que les secteurs résidentiel et commercial représentent respectivement 24 % et 16 % de la consommation totale. En 1991, la part respective des différents secteurs était de 38,3 % pour l'industriel, 24 % pour le transport, 22,6 % pour le résidentiel et 15,1 % pour le secteur commercial.

Le secteur industriel présente la plus importante augmentation de la consommation d'énergie depuis 1972, et plus particulièrement depuis 1982, quoique les deux dernières années aient été relativement stables. Au contraire, les trois autres secteurs ont enregistré de faibles croissances au cours des deux ou trois dernières années après quelques années de stabilité relative. La consommation dans le domaine des transports demeure toutefois inférieure à ce qu'elle était avant 1982 tout comme d'ailleurs celle du secteur résidentiel.

Figure 2.5 Évolution historique de la consommation énergétique totale au Québec par secteur d'utilisation (1972-1991).



Source : données tirées de MER, 1992a.

2.1.4 *Interactions ressources/secteurs*

L'utilisation des ressources ne présente pas nécessairement la même répartition selon les secteurs. Ainsi le secteur du transport et celui de l'industrie consomment respectivement près des deux tiers des ressources en pétrole et en gaz.

En fait, la consommation d'énergie du secteur industriel accapare maintenant près des deux tiers de la consommation de gaz naturel au Québec et près de la moitié de celle de l'électricité (Tableau 2.1). Le domaine des transports quant à lui dépend presque totalement du pétrole et, en 1991, il était responsable de plus de 60 % de la consommation de cette ressource. À lui seul, le transport routier représentait plus de 83 % de la consommation énergétique dans ce secteur. La consommation dans le secteur résidentiel s'est profondément modifiée au cours des 20 dernières années. En fait, le secteur résidentiel est le principal responsable de l'augmentation de la consommation d'électricité au Québec avec les industries fortes consommatrices (fonte et affinage). En 1972, le chauffage résidentiel au Québec était assuré à 82 % par le pétrole contre 8 % pour l'électricité. En 1991, la situation était nettement inversée, le pétrole ne représentant plus que 20,5 % tandis que l'électricité suppléait 68,6 % de l'énergie nécessaire au chauffage (Figure 2.6). La consommation d'électricité du secteur résidentiel représente actuellement environ le tiers (32 % en 1991) de la consommation totale d'électricité au Québec.

Selon les secteurs, l'utilisation de l'énergie montre quelques particularités importantes. C'est ainsi que le secteur du transport n'utilise pratiquement qu'une seule

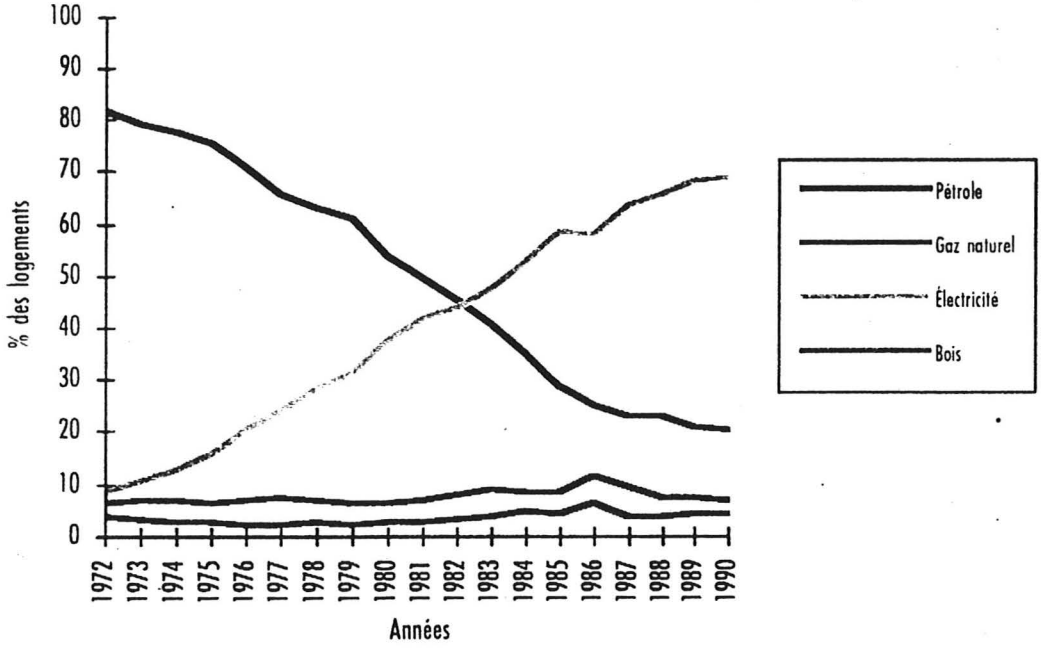
ressource à savoir le pétrole. Il s'agit en fait d'un marché captif n'ayant recours qu'exceptionnellement à d'autres ressources énergétiques. D'autre part, le secteur industriel emploie de manière importante chacune des ressources, il s'agit alors d'un marché versatile et flexible. Les ajustements à diverses conjonctures peuvent être rapides et importants.

Tableau 2.1 Utilisation des principales ressources énergétiques au Québec par secteur d'activité (1991), en pourcentage (%).

RESSOURCE:	RÉSIDENTIEL	COMMERCIAL	TRANSPORT	INDUSTRIEL	TOTAL
Électricité[1]	32,33	20,23	0,22	47,22	100,00
Pétrole	13,57	9,80	62,54	14,09	100,00
Gaz naturel	10,84	25,41	0,08	63,67	100,00
Biomasse	42,13	0,87	0,00	57,00	100,00

[1] Comprend de l'hydro-électricité (96 %), du nucléaire (3 %) et du pétrole (1 %).
Source: données tirées de MER 1992a

Figure 2.6 Évolution historique du mode de chauffage principal, secteur résidentiel, par ressources énergétiques au Québec (1972-1990).



Source: données tirées de MER 1992a

En résumé, les trois quarts de la consommation énergétique au Québec repose sur le pétrole et l'électricité, ce qui traduit un important phénomène de substitution énergétique depuis 1972 puisque, à ce moment, la consommation de pétrole à elle seule atteignait cette proportion. Le chauffage dans le secteur résidentiel est l'un des principaux responsables de ce changement. Le reste de la consommation

québécoise repose sur le gaz naturel et dans une moindre mesure sur la biomasse; l'utilisation du charbon comme ressource énergétique au Québec est à peu près inexistante. Le secteur industriel est le principal consommateur énergétique, s'accaparant des proportions importantes de la consommation du gaz naturel et de l'électricité tandis que le secteur des transports est, quant à lui, le principal utilisateur des ressources pétrolières.

La consommation énergétique est relativement stable depuis deux décennies, tout en permettant une croissance économique presque continue du Québec. L'intensité énergétique a conséquemment connu une amélioration tout aussi continue. Toutefois, l'apport des diverses ressources à grandement varié au cours de la période. Les processus de substitution énergétique ont permis un ajustement relativement rapide des consommations aux nouvelles conjonctures. Cependant, la flexibilité des différents secteurs varie énormément, tout comme d'ailleurs la versatilité des diverses ressources.

2.2 LES APPROVISIONNEMENTS ÉNERGÉTIQUES DU QUÉBEC

2.2.1 *Les ressources fossiles*

Le Québec ne compte actuellement aucune réserve importante de combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel) parmi les ressources naturelles disponibles sur son territoire et doit donc s'approvisionner à l'extérieur. Conséquemment le degré réel d'autonomie énergétique[3] du Québec qui repose essentiellement sur l'hydroélectricité québécoise n'atteint qu'une valeur d'environ 35 %. Comparativement, le degré d'autonomie énergétique du Canada se situe approximativement à 115 %, avant tout grâce aux ressources fossiles de l'ouest canadien.

En 1990, le Québec a donc dû importer près de 108 millions de barils de pétrole brut (99,4 en 1991), comparativement à environ 200 millions de barils au cours des années 1973-1976. La majorité des importations provient désormais des pays producteurs de la Mer du Nord (Royaume-Uni et Norvège), 76,8 % des importations en 1991, et en moindre partie des producteurs de l'Ouest canadien (5,6 % en 1991). Les autres zones productrices ne représentent qu'une part résiduelle des approvisionnements du Québec. La provenance des approvisionnements a varié énormément au cours des deux dernières décennies. En 1976 le Venezuela et le Moyen-Orient contribuaient chacun pour environ un tiers des approvisionnements alors que l'ouest canadien en fournissait environ 15 %. Au cours des années 80, l'ouest canadien contribua à près de 40 % des approvisionnements (56,4 % en 1980), remplasant

[3]Le degré d'autonomie énergétique est défini comme le rapport de la production interne d'énergie sur la consommation interne.

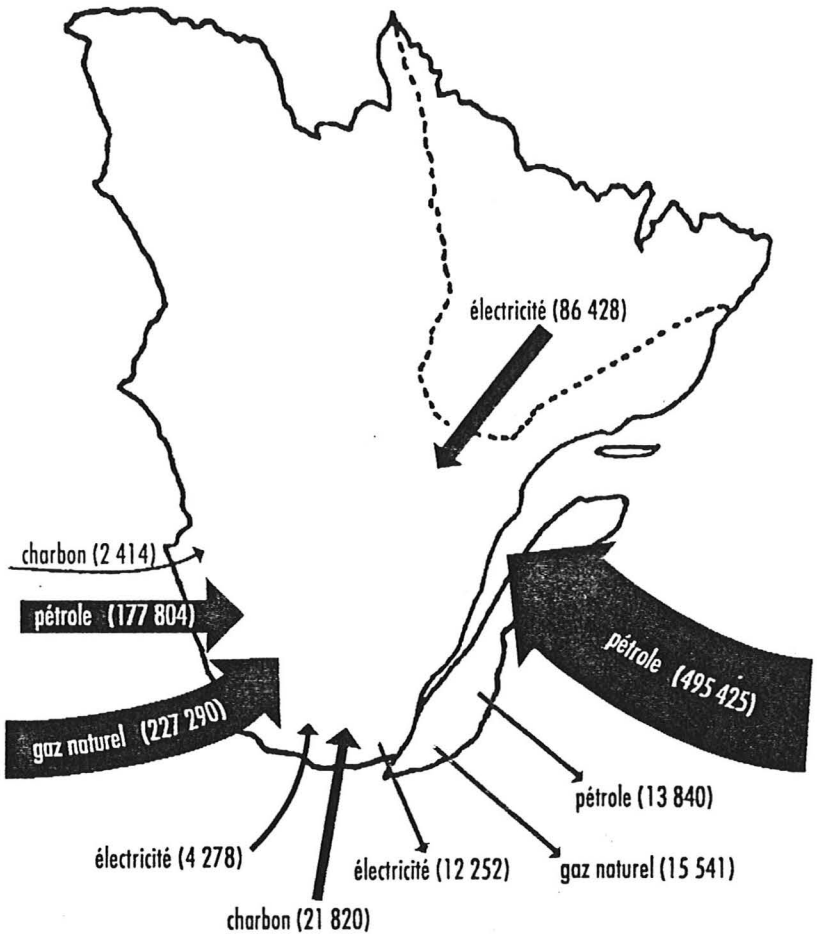
en grande partie les sources majeures antérieures. Puis vers la fin de la décennie le pétrole en provenance de la Mer du Nord se substitua aux produits canadiens.

D'autre part, pratiquement tout le gaz naturel disponible au Québec provient de l'Alberta. En 1990, le Québec a importé 6.0 milliards de m^3 de gaz (5.9 en 1991) alors que la production du gisement de St-Flavien ne fournissait que 16.8 millions de m^3 pour la même année, soit moins de 0.5% des besoins du Québec.

Le charbon utilisé actuellement au Québec est majoritairement importé des États-Unis et partiellement de l'ouest canadien.

La figure 2.7 dresse le bilan des importations et des exportations pour les diverses ressources énergétiques en 1990 au Québec. Comme le Québec importe pratiquement toutes ses ressources énergétiques fossiles, il est bien évident que les surplus exportés ne représentent qu'une très faible proportion dans le bilan énergétique.

Figure 2.7 Importations et exportations des ressources énergétiques du Québec, 1990 (en térajoules).

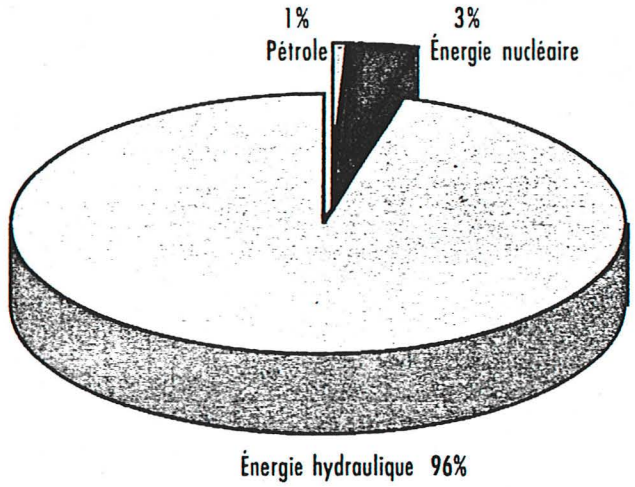


Source : données tirées de Statistique Canada, cat. 57-003, 1991

2.2.2 L'électricité

Si le pétrole, le gaz naturel et le charbon disponibles à la consommation au Québec sont importés, le cas de l'électricité est tout autre puisque le Québec est un important producteur de cette ressource énergétique secondaire. En fait, le Québec possède 16 % des réserves mondiales d'eau douce propices à l'implantation de centrales et de barrages hydroélectriques (Hydro-Québec, 1990). On compte présentement au Québec 102 centrales hydroélectriques et 34 centrales thermiques, dont une centrale nucléaire en service, pouvant fournir une puissance totale de 30 081 MW en date du 1er janvier 1992. Si on ajoute à ce total, la majeure partie de la production de la centrale des chutes Churchill, au Labrador, pour laquelle Hydro-Québec bénéficie d'un contrat à long terme, la puissance totale disponible au Québec passe alors à 35 209 MW. Au Québec, la production d'électricité (Figure 2.8) provient essentiellement de l'énergie hydraulique (96 %), le reste étant fourni par l'énergie nucléaire (3 %) et le pétrole (1 %) qui est surtout utilisé lors des périodes de pointes, dans les régions éloignées et occasionnellement en compensation de la faible hydraulicité (centrale thermique de Tracy).

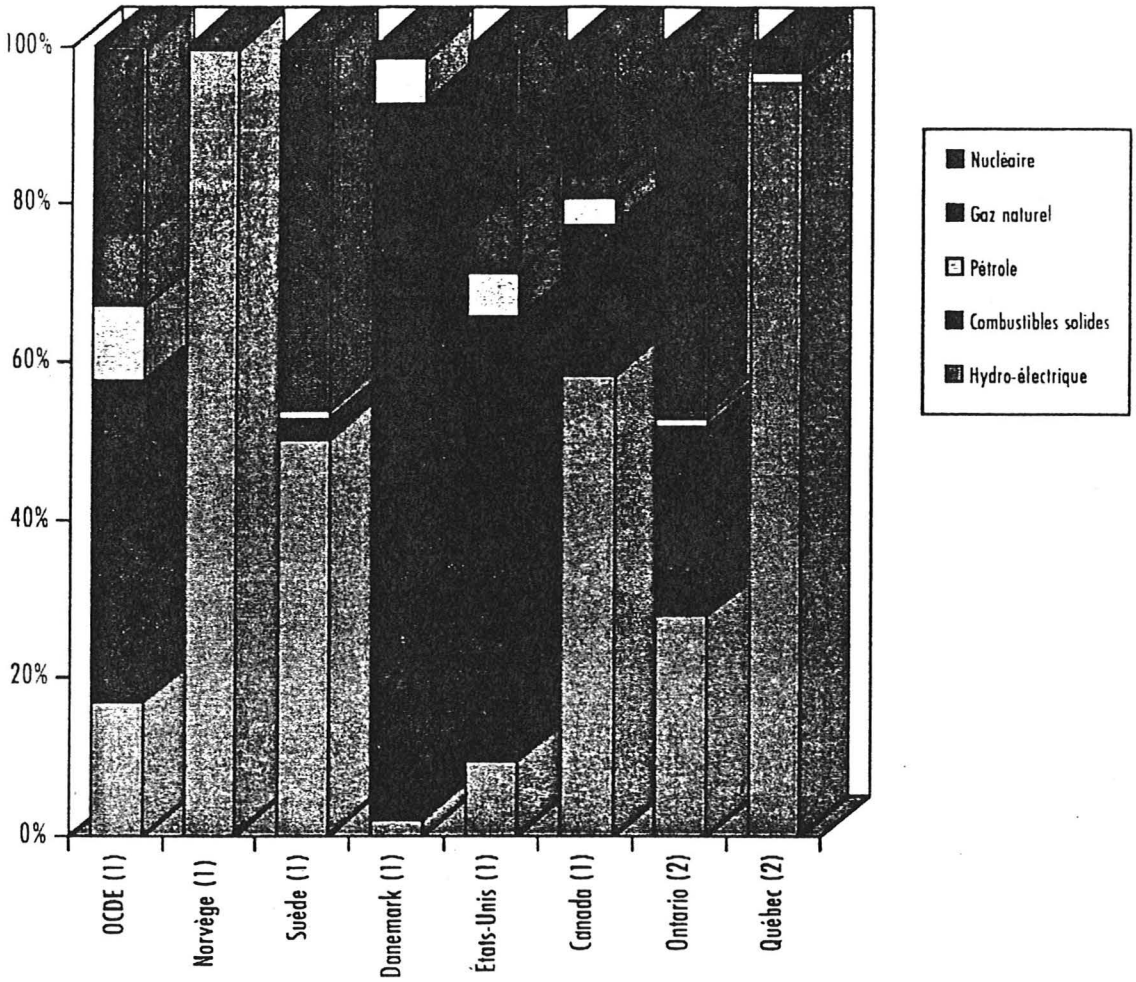
Figure 2.8 Ressources primaires utilisées dans la production d'électricité au Québec en 1991



Source : données tirées de ONÉ, 1991.

La situation du Québec en tant que producteur d'électricité s'apparente à celle de la Norvège où la quasi totalité de la production provient également des ressources hydrauliques (Figure 2.9). Pour l'ensemble du Canada, les ressources primaires commerciales utilisées pour la production d'électricité sont, par ordre décroissant d'importance, les ressources hydrauliques (58 %), les combustibles fossiles (19 %) et l'énergie nucléaire (16 %), cette dernière étant surtout utilisée en Ontario. De façon globale, la très faible utilisation des combustibles fossiles et du nucléaire dans la production d'électricité au Québec contraste nettement avec la situation qui prévaut aux États-Unis et dans la majorité des pays de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE).

Figure 2.9 Répartition de la production d'électricité par ressources énergétiques en 1989.

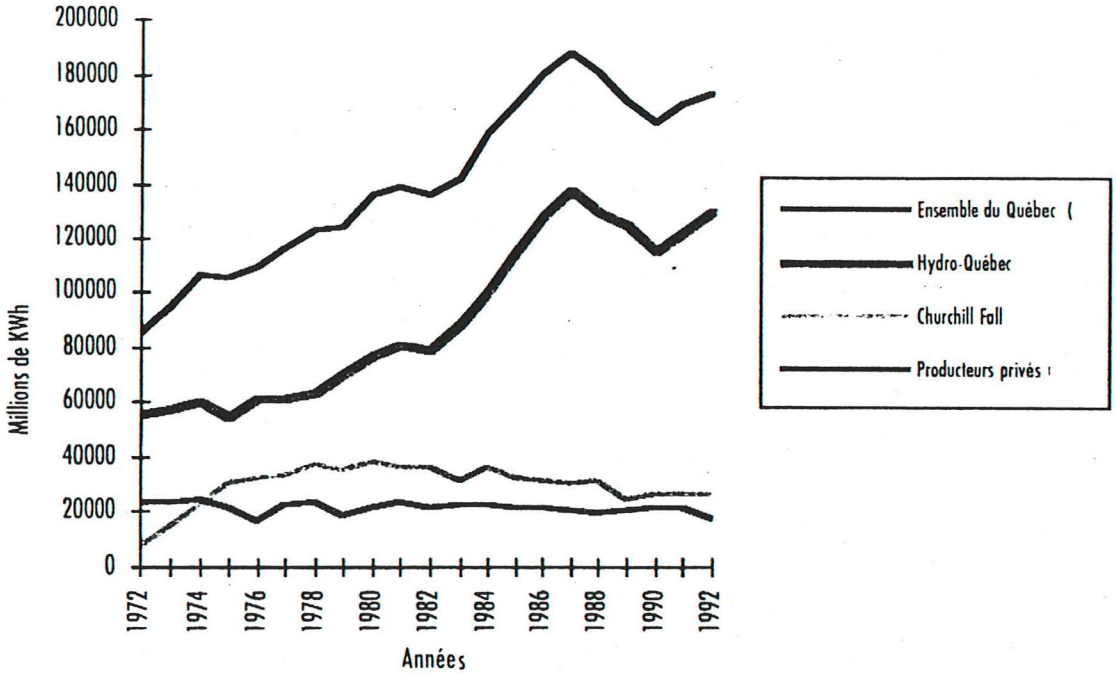


Sources : données tirées de l'AIE / EA (1992) et DOE (1991)

Le principal producteur d'électricité au Québec est la société Hydro-Québec avec une production de 130 TWh en 1992, soit 88 % de la production d'électricité québécoise. L'énergie électrique disponible au Québec est également produite par le complexe des chutes Churchill (entre 25 et 35 TWh depuis le milieu des années 70, dont 26 TWh en 1992 soit environ 16 % de la production totale) et des producteurs privés (approximativement 20 TWh annuellement, soit environ 13 % de la production totale actuelle). L'évolution au cours des deux dernières décennies, pour ces trois sources d'approvisionnements en électricité, est représentée à la figure 2.10. La part d'Hydro-Québec est en continuelle progression pour l'ensemble de la période. La production d'électricité de l'ensemble du Québec[4] a continuellement progressé de 1972 à 1987, année où l'on enregistrait un record de 188 TWh. Depuis, la production a subi une diminution importante, suite à la faible hydraulicité de la période, pour ne plus se chiffrer qu'entre 160 et 170 TWh, au cours des cinq dernières années.

[4]Incluant le production de Churchill Falls

Figure 2 10 Évolution historique de la production d'électricité au Québec selon les producteurs (1972-1992).



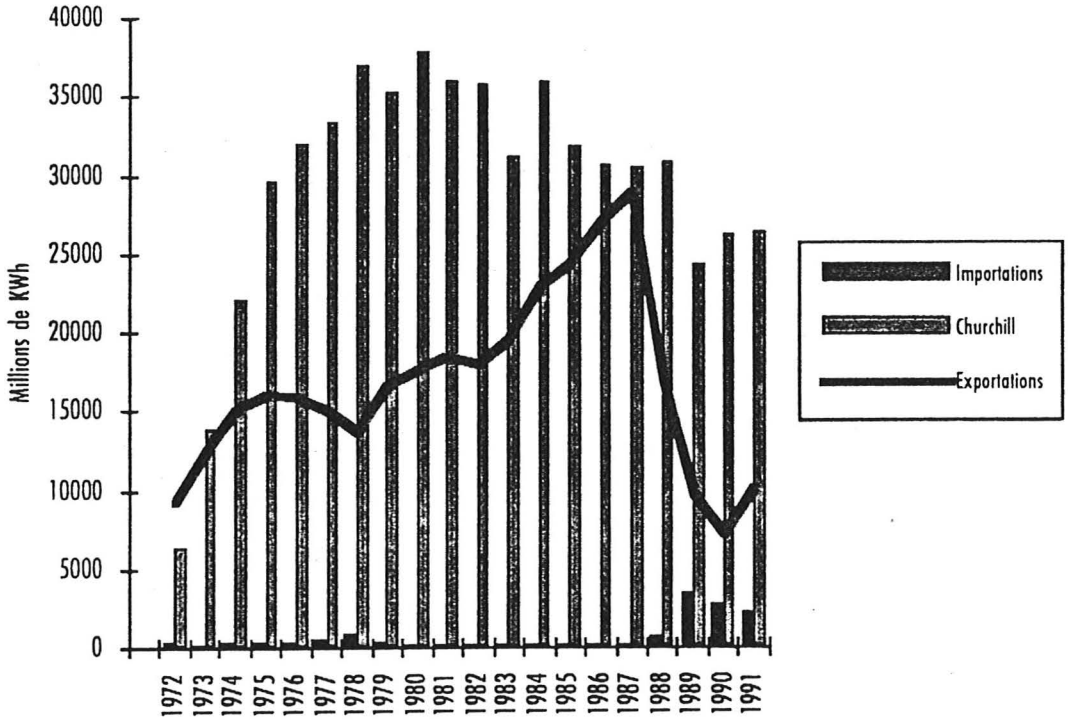
[illegible] et Statistique Canada, catalogue 57-001, 1993

Les exportations d'électricité ont conséquemment subi une baisse notable au cours de la même période (Figure 2 11). En fait, les exportations totales d'électricité en 1990 (minimum de 9,2 TWh) avaient diminué de 75 % par rapport à 1987, année pendant laquelle le maximum d'exportations (28,8 TWh) avait été atteint. En 1991, les exportations atteignaient 9,8 TWh. Les exportations vers les États-Unis ont ainsi chuté de 40 % entre 1989 et 1990. Cette diminution est principalement attribuable à la faible hydraulicité qui a obligé Hydro-Québec à réduire de façon significative ses livraisons d'électricité excédentaire. Les exportations principalement vers l'état de New York, la Nouvelle-Angleterre, l'Ontario et le Nouveau-Brunswick ne représentaient plus que 4,4 % de la production totale d'électricité disponible au Québec en 1990. Les exportations (28,8 TWh) avaient atteints en 1987, 20,8 % de la production d'Hydro-Québec (138 TWh), ou 15,3 % de la production totale d'électricité disponible au Québec (188 TWh) et représentaient une somme de 713 millions de dollars. Le pourcentage record atteint par les exportations par rapport à la production d'Hydro-Québec fut atteint en 1986 avec 21 %.

Les importations d'électricité proviennent majoritairement des chutes Churchill situées au Labrador. En excluant ces dernières, le Québec n'importait que très peu d'électricité avant 1989. L'achat d'électricité aux États-Unis et dans les autres

provinces canadiennes depuis cette date (entre 2 3 et 3,8 TWh) s'explique par la nécessité pour Hydro-Québec de subvenir aux besoins de sa clientèle pendant les périodes de pointe et de relever le stock énergétique (réserves) de ses réservoirs

Figure 2 11 Évolution des exportations et des importations d'électricité (incluant la production de Churchill Falls) du Québec, 1972-1991.



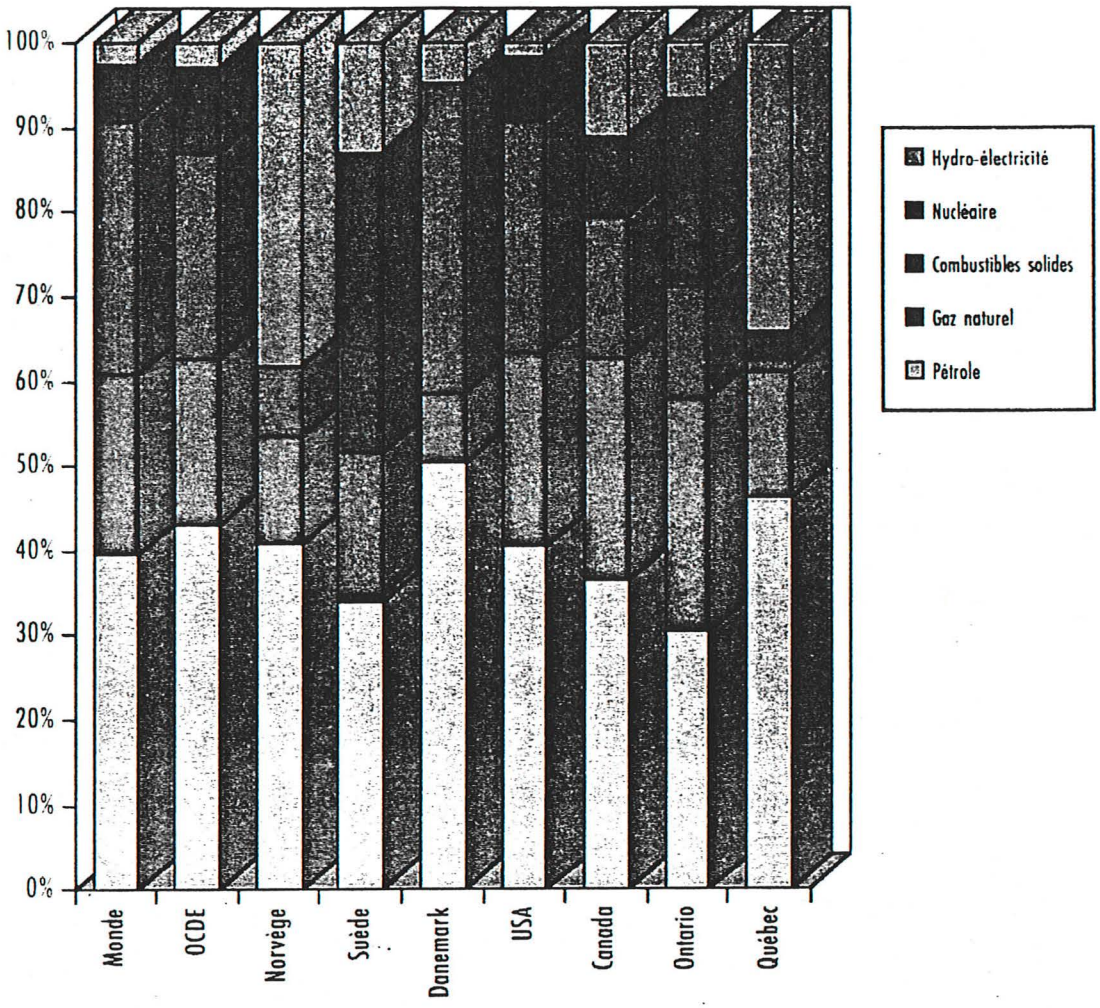
Source : données tirées de MER, 1992a.

2.2.3 *Bilan des approvisionnements*

D'un point de vue plus global, la situation énergétique du Québec en termes d'approvisionnement énergétique (1989) se caractérise par l'importance du pétrole (46 %) et de l'hydroélectricité (36 %) comme principales ressources (Figure 2.12). En fait, le Québec se retrouve au deuxième rang, derrière le Danemark (50 %), quant à l'approvisionnement en pétrole et derrière la Norvège (38 %) en ce qui concerne l'hydroélectricité. Son approvisionnement en gaz naturel pourrait être considéré comme plutôt faible et son utilisation des combustibles solides comme pratiquement nulle (1 %) lorsqu'on la compare avec la situation qui prévaut ailleurs dans le monde (30 %).

Ce qui caractérise le bilan énergétique du Québec cependant c'est, d'une part, sa totale dépendance sur l'extérieur pour ses approvisionnements en ressources fossiles et, d'autre part, son potentiel très élevé de production hydro-électrique, potentiel de production qui n'est pas complètement exploité.

Figure 2.12 Répartition des approvisionnements globaux selon les ressources énergétiques en 1989, divers États.



Source : données tirées de AIE (IEA, 1992) et ONE, 1991.

3. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE D'ÉVALUATION DES IMPACTS

3- APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE D'ÉVALUATION DES IMPACTS

L'approche méthodologique présentée ici n'est valable que pour l'analyse des impacts environnementaux des diverses filières énergétiques; elle ne s'applique pas à l'étude des potentiels d'économies d'énergie et de substitution énergétique.

Avant d'entreprendre la description de la méthodologie utilisée pour identifier et évaluer les impacts environnementaux, il nous apparaît opportun de rappeler les objectifs de la présente étude. Le premier objectif vise à effectuer une synthèse des informations disponibles, ce qui exclut de prime abord la présentation d'une compilation exhaustive des conséquences environnementales reliées à l'utilisation des ressources énergétiques. L'approche méthodologique retenue doit plutôt conduire à la production d'un aperçu d'ensemble où les filières énergétiques sont évaluées de façon relative les unes par rapport aux autres. Le second objectif consiste à déterminer des orientations possibles de la gestion de l'énergie dans une perspective de développement durable. À cet effet, la méthodologie doit permettre d'évaluer et de comparer les impacts environnementaux des diverses filières en fonction d'un certain nombre de principes qui se dégagent du concept de développement durable.

3.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE

Parmi les diverses approches d'évaluation environnementale: évaluation d'impact environnemental («environmental impact assessment») ou étude d'impact, gestion des ressources («resource management») et les différentes évaluations des risques («hazard assessment», «risk assessment», «scoring systems» et «ecological risk assessment») (Suter, 1993), nous avons retenu la première comme base de notre analyse. La méthodologie d'étude d'impact a été préférée comme outil d'analyse puisqu'elle permet d'évaluer les impacts bio-physiques et socio-économiques de diverses activités de développement (Whitney et Maclaren, 1985). De plus elle offre la latitude nécessaire pour déterminer des critères et des processus d'évaluation qui tiennent compte des notions de développement durable tout en permettant de développer une approche comparative entre les filières (Jacobs et Sadler, 1991).

La démarche suivie se résume en trois principales étapes qui sont respectivement: l'identification des actions possibles, la prévision des effets de chaque action et l'évaluation synthétique de ces effets (Figure 3.1).

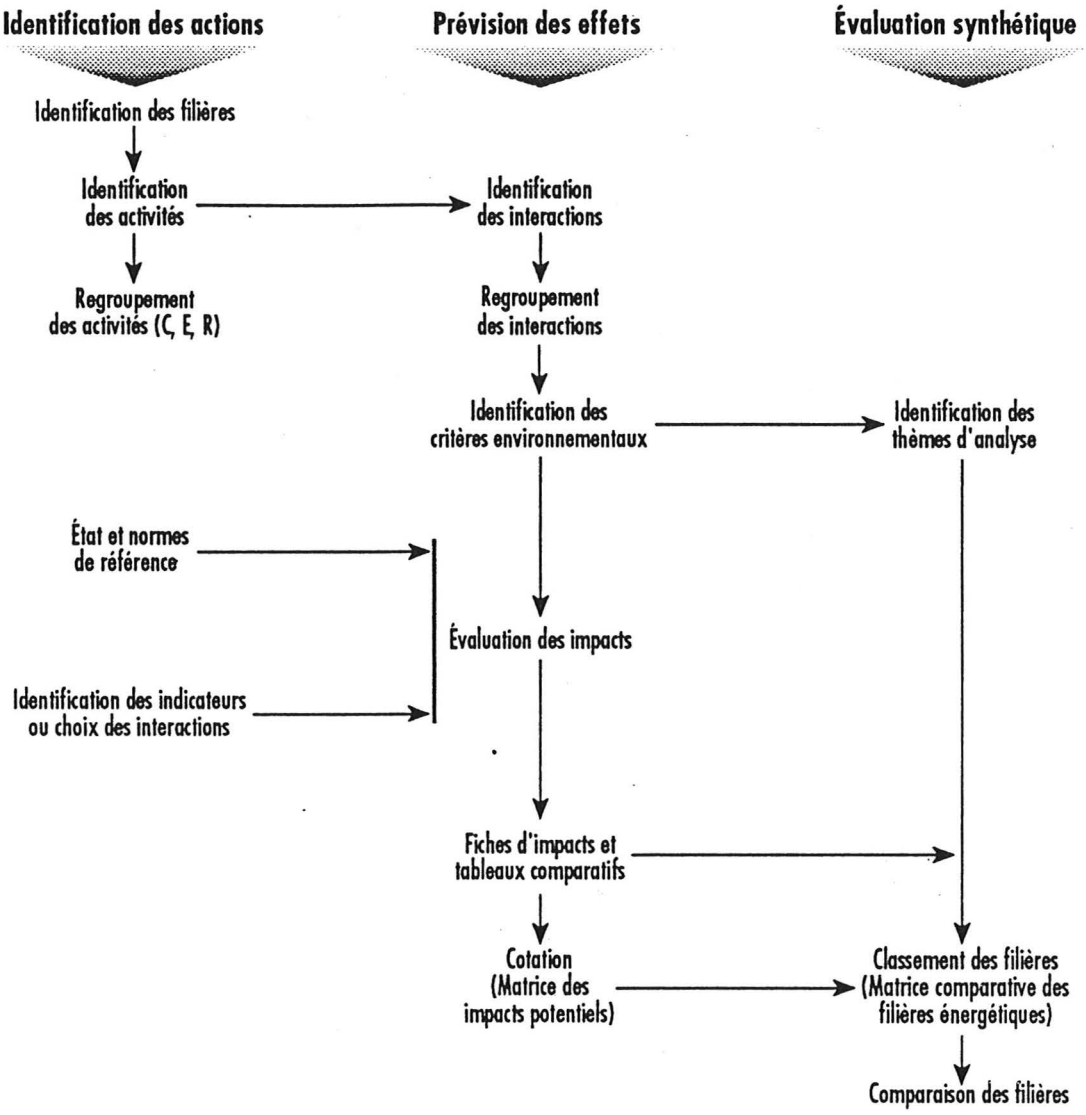
La première étape, celle de l'identification des actions possibles, est essentiellement fonction de la détermination des diverses filières énergétiques qui peuvent être considérées comme les variantes du projet ou les alternatives possibles pour l'établissement d'une politique de gestion des ressources énergétiques. L'identifica-

tion des filières permet par la suite d'inventorier les activités qui sont générées par chacune d'elles tout au long du cycle d'exploitation des ressources impliquées. Étant donné le très grand nombre d'activités identifiées, celles-ci ont été regroupées en trois principales phases (construction et intrants, exploitation active et rejet final) pour en faciliter la présentation et la compréhension.

La seconde étape, celle de la prévision des effets de chaque action, doit permettre d'abord d'identifier les interactions (activités identifiées versus environnement) puis ensuite d'en évaluer l'impact sur l'environnement. Une fois encore, le très grand nombre d'interactions identifiées conduit à un regroupement en 16 critères environnementaux, déterminés à la suite de l'analyse des critères retenus dans plusieurs travaux similaires. L'évaluation des impacts environnementaux se fait alors pour chacun de ces 16 critères à partir, soit d'indicateurs qui sont applicables à l'ensemble des filières énergétiques (ce qui facilite la comparaison entre les filières quant à leurs impacts respectifs), soit à partir d'impacts représentatifs générés par les activités de chacune de ces filières. Cette évaluation se base sur un état de référence qui est l'état actuel de l'environnement et sur des normes de référence que constituent les technologies, les processus ou les façons de faire présentement utilisés par les diverses filières. Les fiches d'impacts et les tableaux comparatifs résument les éléments utilisés pour en arriver à attribuer une cote d'impact pour chacune des étapes des diverses filières énergétiques en fonction de chacun des critères retenus. Cette cote est attribuée, soit en fonction de mesures précises, soit par consensus à l'intérieur de l'équipe de recherche puis inscrite à la matrice des impacts potentiels qui résume alors l'ensemble des impacts.

L'évaluation synthétique s'effectue en troisième étape. D'abord les 16 critères environnementaux sont regroupés en quatre thèmes d'analyse définis en fonction de principes qui se dégagent du concept de développement durable et qui serviront à établir la comparaison finale entre les filières énergétiques. Auparavant, un rang est attribué à chacune des filières pour chacun des critères environnementaux. Ce rang est attribué en tenant compte des cotes préalablement établies et des renseignements contenus dans les fiches d'impacts et les tableaux comparatifs, par consensus à l'intérieur de l'équipe de recherche. Ce premier classement permet d'intégrer les cotes émises pour les trois étapes de chacune des filières en une seule et ce de façon relative entre les filières. Le rang obtenu est alors indiqué à la matrice comparative des diverses filières énergétiques. Les rangs obtenus par les différentes filières pour chacun des critères à l'intérieur d'un thème d'analyse sont ensuite utilisés pour déterminer l'impact relatif de la filière à l'intérieur du thème d'analyse.

Figure 3.1 Concept méthodologique



3.2 IDENTIFICATION DES ACTIVITÉS

3.2.1 *Identification des filières énergétiques*

Le concept de filière énergétique peut être défini comme «l'ensemble des étapes spécifiques par lesquelles une ressource énergétique circule afin de se transformer et de cheminer de son site d'exploitation à celui de sa consommation, puis éventuellement à son rejet final» (Leduc, 1992).

C'est donc à partir des ressources énergétiques connues et utilisées actuellement, même en faible quantité, que nous avons établi une liste de filières énergétiques potentielles dont la technologie est actuellement au moins au stade de la démonstration. Il s'agit donc de filières reconnues dont les incidences environnementales sont également connues ou du moins identifiables et prévisibles.

En outre, les filières ont été définies en fonction des principales utilisations possibles d'une même ressource. C'est ainsi, par exemple, que le pétrole a été retenu comme ressource pour deux filières différentes, soit la filière de production d'électricité et la filière chauffage-transport. De plus, étant donné l'importance de l'utilisation de l'électricité au Québec, nous avons défini une filière de production d'électricité pour chacune des ressources retenues. Nous avons également tenu compte dans la définition des diverses filières énergétiques des technologies ou des approches technologiques disponibles pour la production d'énergie à partir d'une même ressource. Par exemple, l'utilisation des ressources hydrauliques pour la production d'électricité a été divisée en deux filières différentes qui tiennent compte de la présence ou de l'absence d'un réservoir.

3.2.2 *Liste des filières énergétiques*

L'application de ces critères a permis de retenir 20 filières énergétiques qui ont été analysées en fonction de leurs caractéristiques techniques actuelles:

Charbon	- électricité: centrale thermique
Charbon	- chauffage et métallurgie
Pétrole	- électricité: centrale thermique
Pétrole	- chauffage et transport
Gaz naturel	- électricité: centrale thermique
Gaz naturel	- chauffage et transport
Uranium	- électricité: centrale thermique
Biomasse	- électricité: centrale thermique (bois et tourbe)
Biomasse	- chauffage domestique: bois
Biomasse	- déchets: centrale thermique (incinérateur)
Biomasse	- combustible de substitution: méthanol et éthanol
Hydraulique	- électricité avec réservoir
Hydraulique	- électricité sans réservoir
Solaire	- héliothermique
Solaire	- photovoltaïque
Éolien	- centralisé: parc d'éolienne
Éolien	- décentralisé: installations individuelles
Géothermique	- classique: centrale thermique conventionnelle (sans boucle)
Géothermique	- en circuit fermé: centrale thermique
Marémoteur	- électricité

3.2.3 *Classification des activités relatives aux filières énergétiques*

Les activités liées aux diverses filières énergétiques ont été regroupées en trois étapes qui tiennent compte du cycle complet d'utilisation d'une ressource:

- la phase de construction et les intrants (C): cette phase regroupe les activités nécessaires à l'implantation des installations requises pour l'exploitation d'une filière (activités de chantier, érection de structures, disposition de matériaux, etc.) de même que les activités nécessaires à l'approvisionnement de ces installations en ressources (transport, entreposage, etc.);
- la phase d'exploitation active (E): cette phase correspond à l'ensemble des activités reliées directement à l'utilisation comme telle de la ressource (procédés, usages, entreposage, etc.);
- la phase de rejet final après utilisation (R): cette phase correspond aux activités reliées au processus de disposition finale de la ressource (résidus) ou des installations à la fin du cycle d'utilisation de la ressource.

3.3 PRÉVISION DES EFFETS

3.3.1. *Identification et regroupement des interactions*

L'utilisation de la matrice de Leopold (Leopold et coll. 1971), à titre de liste de vérification, et l'analyse d'un ensemble de documents (Tableau 3.1) nous a permis d'identifier les activités des filières énergétiques susceptibles de présenter une interaction avec les éléments environnementaux et de sélectionner les effets environnementaux significatifs résultant des activités liées aux filières énergétiques. Étant donné le nombre élevé d'activités de même que la complexité des impacts sur l'environnement, nous avons ensuite procédé à un regroupement de ces interactions en 16 critères environnementaux.

Les différentes études similaires consultées (Tableau 3.1) s'inscrivent dans un contexte précis et répondent aux besoins propres de chaque analyse. L'approche du mémoire de l'Union Québécoise pour la Conservation de la Nature (UQCN) et de l'Association Québécoise de Lutte contre les Pluies Acides (AQLPA) (Gagnon, 1989) avait pour but de mettre en parallèle les impacts des diverses filières énergétiques et les avantages de la conservation énergétique comme alternative la plus souhaitable au Québec. L'approche choisie comparait, sous forme matricielle, les diverses filières selon trois niveaux d'impacts négatifs en fonction des critères retenus et présentait un portrait d'ensemble des impacts environnementaux.

Les deux approches que préconisent la Société Hydro-Québec sont axées essentiellement sur la production d'électricité. Les critères environnementaux retenus par Hydro-Québec (1991) s'appliquent essentiellement à la filière hydro-électrique et ils sont classifiés d'après leur impact sur les milieux physique, biologique et humain. Cette classification est surtout utilisée pour l'évaluation environnementale

Tableau 3.1 Liste des critères utilisés lors d'évaluations environnementales dans le domaine énergétique.

Hydro-Québec (1991)	UQCN/ AQLPA (1989)	OCDE (1989)	ONU (1985)	SESEE (1991)	Hydro-Québec (1992)	MENVIQ (1988)	Présente étude
Milieu physique • érosion des berges • climat • hydrologie • régime thermique • régime des glaces • sédimentologie • qualité de l'eau Milieu biologique • ressource aquatique • habitat aquatique • ressource et habitat faunique • mercure • végétation aquatique • végétation terrestre • végétation riveraine Milieu humain • mode de vie des populations • accès routier • utilisation du territoire • composantes économiques et sociales • chasse • pêche • pourvoirie • canot-camping • kayac • villlégiature • navigation • baignade • transport • paysage • foresterie	Acidification • SO_2 • NO_x Hydrocarbures Ozone troposphérique Particules, suies Effet de serre • CO_2/CH_4 Métaux toxiques Résidus • extraction • traitement Déforestation/érosion Destruction des habitats Incompatiblité avec forme urbaine efficace Lignes de transmission ou pipelines Pollution «intérieure» Risques d'accident environnemental Construction initiale Énergie dans l'exploitation Fiabilité en période de pointe Taxes selon le principe pollueur/payeur	Major environmental accidents Water pollution Marine pollution Land use and siting impact Radiation/radioactivity Solid waste disposal Hazardous air pollutants Ambiant air quality Acid deposition Stratospheric ozone depletion Global climate change	Human uses • food (irrigation and agriculture) • power • flood control • urban water supply • agro-industries • mineral development • navigation • recreation Human values • ressettlement • public health • socio-economics • archeology • aesthetics Ecological resources • fisheries • aquatic biology • wildlife • forests Physical resources • surface water • ground water • sediment/erosion • water quality • salinity • soils • geology/seismology • climate	Atmospheric • SO_2 • NO_x • particules • radioactive • heavy metals • VOC • CO_2 Aquatic • hydrocarbons • particulates • radioactive • acid dr. water Terrestrial • disturbance • subsidence • destruction	Qualité de l'eau, de l'air et du sol Écosystèmes naturels Conditions atmosphétiques globales Occupation et structuration du territoire Perceptions et changements sociaux Sécurité	Exploration/extraction • air • eau • sol • autres/déchets/radiation Affinage • air • eau • sol • autres/déchets/radiation Transport • air • eau • sol • autres/déchets/radiation Utilisation • air • eau • sol • autres/déchets/radiation	Qualité de la ressource Changement climatique global Déperdition de la couche d'ozone Précipitation acide Risque de catastrophe Modification d'écosystème Modification de l'aménagment Modification du paysage Modification du mode de vie Pollution de l'air ambiant Pollution des eaux Pollution du sol Pollution thermique Pollution radioactive Pollution sonore et olfactive Santé et sécurité

de projets énergétiques précis. D'autre part, les critères retenus dans l'étude d'Hydro-Québec (1992a) démontrent une volonté de synthèse des divers impacts potentiels des filières énergétiques de production d'électricité. Les six critères retenus sont avant tout des thèmes d'analyse qui regroupent chacun un grand nombre d'interactions possibles.

Dans l'Environnement au Québec (MENVIQ,1988), le Ministère de l'environnement présente une description des principaux impacts générés par les principales ressources énergétiques utilisées au Québec. Plusieurs ressources telles que le charbon, l'énergie marémotrice et la biomasse n'y sont pas spécifiquement abordées étant donné leur faible utilisation. La classification des critères environnementaux se base sur les stades d'utilisation des ressources (exploration/extraction, affinage, transport et utilisation) et l'analyse des impacts, pour chacun de ces stades, est faite en fonction des milieux récepteurs eau, air et sol tout en tenant compte d'autres impacts plus spécifiques (déchets, radiations...).

Les trois autres approches analysées soient celles de l'Agence internationale de l'énergie de l'Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE) (AIE/IEA, 1989), de l'Organisation des Nations Unies (ONU, 1985) et du Senior Expert Symposium on the Electricity and the Environment (SESEE, 1991) proviennent d'organismes internationaux. L'approche préconisée par l'AIE s'apparente à celle d'Hydro-Québec (1992a) mais retient un plus grand nombre de thèmes d'analyse. Celle de l'ONU met plus spécifiquement en évidence les interactions avec le milieu humain tandis que l'approche du SESEE vise à analyser le caractère biophysique des impacts.

Les critères environnementaux retenus dans cette étude l'ont été en fonction d'une couverture systématique de l'ensemble des éléments biophysiques et des principaux éléments humains dans une perspective de développement durable, c'est-à-dire en faisant référence à des principes comme ceux de durabilité, de diversité, d'intégrité des systèmes et d'interdépendance à l'intérieur et entre les systèmes. Ils ont donc été largement inspirés par les approches retenues par Hydro-Québec (1992a), l'AIE (1989) et Gagnon (1989) dans lesquelles on retrouve déjà ces préoccupations.

3.3.2 *Liste des critères environnementaux*

A. **Qualité de la ressource:** caractéristique générale d'une ressource énergétique en fonction de son potentiel d'utilisation à long terme ou, en fait, de sa durabilité. Ce critère environnemental ne sera pas analysé selon la procédure générale utilisée pour l'évaluation des autres critères, à savoir fiche d'impacts et séparation des stades d'utilisation (C, E et R).

B. **Changement climatique global:** critère qui englobe les diverses émissions anthropiques de gaz à effet de serre: CO_2, CH_4, N_2O et CFC.

C. Déperdition de la couche d'ozone: critère qui englobe les diverses émissions anthropiques de gaz à effet destructeur sur la couche d'ozone stratosphérique: CFC, halons et N_2O.

D. Précipitation acide: critère qui englobe les diverses émissions de gaz précurseurs des précipitations acides: SO_2, NO_x et autres.

E. Risque de catastrophe: critère qui englobe les grands accidents de l'environnement tels que définis par l'Agence internationale de l'énergie (AIE,1990): accident nucléaire, rupture de barrage, déversement majeur de pétrole, etc.

F. Modification d'écosystème: critère qui englobe les diverses modifications majeures y inclus la destruction complète d'un écosystème. Les atteintes à la biodiversité font partie de ce critère.

G. Modification de l'aménagement: critère qui englobe les divers impacts sur la structuration de l'aménagement du territoire et l'affectation des sols de même que sur la surface d'occupation au sol des installations énergétiques.

H. Modification du paysage: critère qui ne comprend que les impacts dits «esthétiques» sur le paysage naturel et le patrimoine bâti.

I. Modification du mode de vie: critère qui englobe les divers impacts sur les populations autochtones dans leur mode de vie, de la modification des habitudes jusqu'au déplacement de population.

J. Pollution de l'air ambiant: critère qui englobe les diverses émissions de polluants atmosphériques affectant les paramètres de l'air ambiant: plomb, arsenic, mercure, hydrocarbures, cadmium, HAP, dioxines, furannes, SO_2, NO_x, CO, COV, O_3 et particules.

K. Pollution des eaux: critère qui englobe les diverses émissions de polluants dans les eaux douces et maritimes autres que celles déjà incluses dans «risque de catastrophe».

L. Pollution du sol: critère qui englobe les divers impacts physiques et physico-chimiques sur les sols: érosion, structure des sols, rejets polluants autres que les dépôts de polluants d'abord atmosphériques.

M. Pollution thermique: critère qui englobe les rejets thermiques de toutes sortes en provenance de l'utilisation de l'énergie.

N. Pollution radioactive: critère qui englobe les rejets de substances radioactives lors de l'utilisation normale, sans catastrophe, des installations énergétiques.

O. Pollution sonore et olfactive: critère qui englobe les impacts sonores et olfactifs en provenance de l'utilisation de l'énergie.

P. Santé et sécurité: critère qui englobe les risques d'accident auprès des travailleurs et de la population des installations énergétiques autres que ceux identifiés au critère «risque de catastrophe» ainsi que le niveau intrinsèque de sécurité des installations.

3.3.3 *Évaluation des impacts*

L'évaluation des impacts repose toujours sur une certaine dose d'arbitraire en ce sens qu'elle constitue une transposition subjective d'un effet sur une échelle de valeurs prédéterminée (Simos, 1990; Wathern, 1988). Elle implique donc la définition de certaines normes qui serviront de référence de même que le choix d'indicateurs qui permettront sinon de quantifier du moins de qualifier correctement les impacts environnementaux avant d'en arriver à une cotation sur l'échelle de valeurs. Les différentes étapes suivies pour en arriver à cette cotation des impacts sont présentées ci-dessous.

3.3.3.1 État et normes de référence

L'évaluation des impacts nécessite obligatoirement la présence ou la définition d'un état de référence, d'un point fixe à partir duquel le jugement peut être posé. Walliser (1990) propose plusieurs types d'états de référence: l'état initial avant l'action; la projection dans le futur de l'état actuel tel qu'il aurait évolué en l'absence de l'action; l'état défini par un objectif à atteindre. L'état de référence retenu dans le cadre de ce travail est l'état initial avant l'action. Il représente les conditions qui prévalent actuellement et l'évaluation de l'impact se fait en déterminant l'importance du changement qui sera généré par l'activité énergétique, soit sur les systèmes biophysiques, soit sur les systèmes humains. Dans une telle optique, certains impacts qui pourraient éventuellement être considérés comme positifs pour l'environnement ne seront pas abordés. Par exemple, la mise en eau de grands réservoirs pour la production d'électricité ne sera analysée qu'en fonction d'un écosystème récepteur complètement modifié plutôt qu'en fonction de la création d'un nouvel écosystème aquatique. Dans un contexte québécois, par exemple, on pourrait arguer que le remplacement d'une pessière peu productive et très abondante à la surface du globe par un écosystème aquatique plus productif serait bénéfique à l'ensemble des populations concernées. Cependant, et ceci constitue une limite de notre approche, l'état de référence choisi se rapporte aux modifications subies par le milieu récepteur; nous croyons que cet état de référence reflète la très grande majorité des impacts liés aux activités énergétiques même si, à l'occasion, un autre état de référence aurait pu être plus approprié.

Par ailleurs, une des difficultés de ce mandat consiste à déterminer les impacts environnementaux de filières énergétiques et non pas les effets de projets précis sur un milieu récepteur déterminé. Les procédés, les techniques ou les façons de faire qui sont généralement utilisés aujourd'hui serviront de normes de référence pour effectuer l'évaluation des impacts en l'absence de projets et de milieux bien définis. Cette norme de référence est en fait du même type que l'état de référence qui a été retenu précédemment. Pour reprendre l'exemple de la filière hydraulique avec réservoir, l'évaluation des impacts se fera en fonction de grands projets comme ceux qui ont été mis de l'avant ou qui sont prévus au Québec. Le transport des produits pétroliers peut être présenté comme un autre exemple; la flotte des pétroliers aujourd'hui en service présente un certain nombre de caractéristiques quant à sa sécurité: âge moyen de la flotte, fréquence relative de la présence d'une double

coque, etc. L'évaluation des impacts se fera en fonction des risques générés par ces caractéristiques. Il est bien évident que des réservoirs hydro-électriques de plus petite taille ou une toute nouvelle flotte de pétroliers hautement sécuritaires auraient des impacts différents sur l'environnement.

3.3.3.2 Identification des indicateurs

Étant donné l'approche globale comparative retenue et le très grand nombre d'interactions, il devient nécessaire de choisir pour chacun des critères environnementaux des indicateurs qui seront l'objet de l'évaluation. Ces indicateurs doivent d'une part s'appliquer à toutes les filières et d'autre part répondre aux quatre caractéristiques suivantes: objectif, mesurable, précis et discriminant (Lind et coll., 1991). Il a été possible de déterminer des indicateurs précis pour 12 des 16 critères environnementaux. Dans les autres cas, la diversité des interactions ne permettait pas de retenir un nombre restreint d'indicateurs applicables à l'ensemble des filières; l'impact de chacune des filières est alors analysé selon la procédure générale des études impacts qui consiste à identifier les effets produits sur l'environnement par chacune des activités reliées à une filière énergétique pour ensuite en évaluer l'impact.

Nous présentons ci-dessous les différents indicateurs retenus pour chacun des critères environnementaux.

A. Qualité de la ressource: l'indicateur retenu est la durabilité à long terme du flux d'énergie fourni par une ressource déterminée (Leduc, 1992). Trois possibilités ont été retenues:

- ressources épuisables: ressources dont les stocks sont finis et sans possibilité de renouvellement (E)
- ressources renouvelables: ressources dont les stocks sont renouvelables mais qui doivent être exploités en tenant compte de leur taux de renouvellement (R)
- ressources durables: ressources présentant un flux d'énergie soutenu et inépuisable (D)

B. **Changement climatique global:** l'évaluation de l'impact se base essentiellement sur deux indicateurs, soit les émissions de CO_2 et celles de CH_4. Les autres gaz à effet de serre identifiés n'ont pas été retenus parce qu'ils sont utilisés comme indicateurs dans l'évaluation d'autres impacts où leur contribution est plus significative ou encore parce que leurs émissions ne pouvaient être spécifiquement identifiées à une ou plusieurs filières énergétiques précises.

C. **Déperdition de la couche d'ozone:** comme les émissions de CFC peuvent difficilement être associées spécifiquement à une ou plusieurs filières énergétiques, seules les émissions de N_2O ont été retenues comme indicateur du critère.

D. **Précipitation acide:** nous avons retenu les émissions de SO_2 et de NO_x qui sont en fait les deux principaux précurseurs des précipitations et des dépôts acides.

E. **Risque de catastrophe:** les indicateurs spécifiques qui ont été retenus sont les probabilités de risque (fréquence de l'événement et intensité de l'impact) telles que définies par les assureurs.

F. **Modification d'écosystème:** aucun indicateur spécifique d'analyse n'a été retenu pour l'évaluation de ce critère. Nous avons procédé selon la méthodologie classique d'étude d'impacts en identifiant les effets produits sur l'environnement par chacune des activités reliées à une filière énergétique pour ensuite en évaluer l'impact.

G. **Modification de l'aménagement:** l'indicateur retenu pour l'analyse de ce critère est le potentiel d'utilisation du territoire initial à d'autres fins que celles de l'utilisation énergétique qui en est faite. Nous avons tenu compte de la présence ou de l'absence d'un tel potentiel et de la diversité des utilisations concomitantes.

H. **Modification du paysage:** l'évaluation de ce critère repose sur trois indicateurs complémentaires: la taille des installations (volume et surface au sol), l'aspect esthétique des installations et l'intégration des installations et des manifestations dans le milieu récepteur.

I. **Modification du mode de vie:** quatre indicateurs ont été retenus pour l'évaluation de ce critère. Il s'agit de la flexibilité d'implantation des infrastructures nécessaires à l'extraction ou l'exploitation de la ressource, du niveau d'importation de technologie, de la durée du projet nécessitant un apport de main d'oeuvre extérieure et finalement de la compatibilité de l'exploitation avec le mode de vie traditionnel.

J. **Pollution de l'air ambiant:** l'évaluation de ce critère exclut les émissions de SO_2 et de NO_x qui ont déjà été utilisées comme indicateurs des précipitations acides et retient plutôt les 4 indicateurs suivants: les émissions de particules, les émissions de CO, les émissions d'hydrocarbures totaux (HCT) et finalement les facteurs d'émissions des composés organiques volatils (COV).

K. **Pollution des eaux:** aucun indicateur spécifique d'analyse n'a été retenu pour l'évaluation de ce critère. Nous avons procédé selon la méthodologie classique d'étude d'impacts en identifiant les effets produits sur l'environnement par chacune des activités reliées à une filière énergétique pour ensuite en évaluer l'impact.

L. **Pollution du sol:** aucun indicateur spécifique d'analyse n'a été retenu pour l'évaluation de ce critère. Nous avons procédé selon la méthodologie classique d'étude d'impacts en identifiant les effets produits sur l'environnement par chacune des activités reliées à une filière énergétique pour ensuite en évaluer l'impact.

M. Pollution thermique: les quantités d'eau prélevées pour assurer le fonctionnement des systèmes de refroidissement et les changements dans les régimes de température locale ont été retenus comme indicateurs de pollution thermique.

N. Pollution radioactive: les indicateurs retenus sont l'intensité et le type de radiations émises par les diverses filières énergétiques.

O. Pollution sonore et olfactive: aucun indicateur spécifique d'analyse n'a été retenu pour l'évaluation de ce critère. Nous avons procédé selon la méthodologie classique d'étude d'impacts en identifiant les effets produits sur l'environnement par chacune des activités reliées à une filière énergétique pour ensuite en évaluer l'impact.

P. Santé et sécurité: le degré de sécurité nécessaire au bon fonctionnement des installations, la maturité technique des installations et procédés de même que les risques d'accidents et de décès reliés à chaque filière sont les trois indicateurs retenus pour évaluer ce critère.

3.3.3.3 Fiches d'impacts et tableaux comparatifs

Chacun des impacts potentiels, obtenu à partir de la matrice des impacts, fait l'objet d'une fiche d'analyse détaillée (Annexe I). Chacune de ces fiches est identifiée en fonction des critères environnementaux et des filières énergétiques. Elle décrit ensuite l'impact en fournissant les éléments nécessaires à son évaluation subséquente.

L'évaluation de l'impact se fait à partir de trois principaux éléments d'analyse qui sont: la durée, l'intensité et l'étendue de l'impact. Une évaluation globale est ensuite effectuée en déterminant un indice qui est le résultat de l'agrégation des indices partiels obtenus pour la durée, l'intensité et l'étendue (consensus au sein de l'équipe d'analyse). Cette évaluation n'est pas effectuée de façon absolue mais plutôt de manière comparative entre les filières.

Durée de l'impact

La durée de l'impact représente une évaluation du temps pendant lequel l'impact se fera sentir ou la fréquence des impacts anticipés. Elle a été divisée en trois classes.

Durée courte: impact de type occasionnel dont l'effet est ressenti à un moment donné et sur une courte période (inférieure à une saison par exemple) (impact minimal);

Durée moyenne: impact de type temporaire dont l'effet est ressenti de façon continue et pour une période inférieure à la durée de l'activité en cause (impact moyen);

Durée longue: impact de type permanent dont l'effet est ressenti de façon continue pour au moins la durée de l'activité en cause (impact maximal).

Intensité de l'impact

L'intensité de l'impact traduit le degré de perturbation des éléments environnementaux; elle est également divisée en trois classes.

Intensité faible: impact qui affecte peu les éléments environnementaux concernés et qui n'entraîne pas de modification perceptible de son utilisation (impact minimal);

Intensité moyenne: impact qui modifie un ou des éléments environnementaux entraînant une limitation de son utilisation mais sans le ou les détruire (impact moyen);

Intensité forte: impact qui détruit un ou des éléments environnementaux ou qui menace fortement son existence (impact maximal).

Étendue de l'impact

L'étendue de l'impact détermine l'importance de la superficie affectée ou le nombre d'utilisateurs de l'élément environnemental qui seront affectés; l'étendue se divise aussi en trois classes.

Étendue locale: impact qui affecte une aire précise de faible étendue ou touche un nombre restreint de personnes (impact minimal);

Étendue régionale: impact qui affecte une aire de grande dimension ou un grand nombre de personnes (impact moyen).

Étendue générale: impact qui affecte l'ensemble de l'espace ou l'ensemble des personnes (impact maximal).

Comme il sera précisé plus loin, le regroupement des critères environnementaux en quatre thèmes d'analyse se fera en tenant compte, entre autres, des effets cumulatifs dans le temps et dans l'espace ce qui peut alors sembler faire double emploi avec les éléments de durée et d'étendue utilisés ici pour l'analyse et l'évaluation des impacts. Il ne faut cependant pas perdre de vue que l'évaluation de ces trois éléments (durée, intensité et étendue) a été effectuée non seulement en fonction du critère environnemental retenu mais aussi, de façon relative, en fonction des thèmes d'analyse. De ce fait, l'attribution par exemple d'un impact d'étendue maximale pour un critère à incidence globale signifie que l'effet sur l'environnement se fait sentir pour ainsi dire à l'ensemble de la planète. Par contre, la détermination d'un impact d'étendue maximale pour un critère à incidence spécifique signifie que l'effet se fait sentir sur l'ensemble du système spécifique impliqué.

Signification globale

La signification ou évaluation globale est le résultat de l'agrégation des trois indices partiels et constitue la cote attribuée à la filière en regard du critère examiné. Cette cote peut être minimale, moyenne ou maximale. Cette signification globale est attribuée non pas par l'utilisation d'un algorithme précis mais plutôt par consensus à l'intérieur de l'équipe de recherche ce qui permet de tenir compte des

nombreuses particularités de chacune des filières quant aux effets générés sur l'environnement par rapport aux indicateurs retenus.

Selon le même principe, des tableaux comparatifs sont présentés pour résumer les informations lorsque plusieurs indicateurs sont utilisés pour évaluer un critère environnemental. Dans ces cas, les diverses filières se voient attribuer une cote (minimale, moyenne ou maximale) en fonction de chacun des indicateurs selon la procédure de la fiche d'impact décrite précédemment. Ensuite, la signification globale pour l'ensemble du critère est attribuée encore une fois par consensus à l'intérieur de l'équipe de recherche. Il n'y a donc pas de pondération formelle quantitative des indicateurs les uns par rapport aux autres mais plutôt la compréhension et l'intégration du poids relatif de chacun.

Comme l'évaluation des impacts n'est pas faite de façon absolue mais plutôt de manière relative, les cotes émises ont été limitées à trois classes, c'est-à-dire minimale, moyenne et maximale. Tout le processus de regroupement des activités et des interactions, le choix d'un nombre d'indicateurs restreint, l'absence de pondération quantitative formelle de même que l'analyse relative des impacts conduit à la création de classes d'impacts plutôt qu'à une discrimination fine et continue entre les filières pour chacun des critères environnementaux. L'adoption de ces trois classes de cotes nous apparaît conséquente de l'ensemble de la démarche. Une échelle d'évaluation plus étendue (de 1 à 10 par exemple) impliquerait une quantification plus précise et plus complète des diverses interactions entre chacune des filières énergétiques choisies et chacun des critères environnementaux retenus.

En fin d'évaluation, les cotes émises à la fiche d'impact ou au tableau comparatif sont transposées à la matrice des impacts potentiels (page 76) qui résume ainsi l'ensemble des évaluations. En plus des trois cotes déjà décrites, une cote nulle, représentée par un tiret (-), est également utilisée dans la matrice des impacts potentiels dans le but de différencier les cas où il n'y a pas d'impact significatif de ceux pour lesquels nous ne possédons pas de renseignement, représentés par un astérisque(*).

3.4 ÉVALUATION SYNTHÉTIQUE

L'atteinte des objectifs préalablement définis implique d'une part que chacune des filières puisse être évaluée globalement en tenant compte de l'ensemble de ses impacts sur l'environnement et d'autre part que ces filières soient comparées les unes par rapport aux autres. Cette évaluation synthétique s'effectue selon trois principales étapes: la définition des thèmes d'analyse, le classement des filières et la comparaison comme telle.

3.4.1 *Identification des thèmes d'analyse*

Les 16 critères environnementaux retenus n'ont pas tous la même signification ni la même importance d'un point de vue environnemental. Leurs conséquences sont ainsi extrêmement différentes. Établir l'évaluation globale de chacune des filières pose donc le problème de la pondération de ces critères les uns par rapport aux autres.

Il n'existe pas de méthode reconnue ou universelle pour solutionner ce problème, si ce n'est l'utilisation d'un critère de comparaison unique applicable à toutes les filières ou l'atteinte d'un consensus en utilisant plusieurs critères différents. La première approche, employant par exemple les coûts environnementaux générés par les diverses filières (Ottinger et coll., 1990), a ses avantages mais, dans notre cas, sa mise en application compte tenu des difficultés que cela implique, débordait largement le cadre du mandat. La seconde approche, celle de la méthode Delphi, a donc été privilégiée.

Dans une première étape, nous avons regroupé les critères environnementaux en un nombre plus restreint de thèmes d'analyse pour en faciliter l'évaluation. Ce regroupement s'est effectué en tenant compte de notions qui se dégagent du concept de développement durable (Gardner, 1991) et quatre grands thèmes ont ainsi été retenus:

1- Le premier thème est celui des impacts énergétiques, c'est-à-dire les impacts liés à la nature de la ressource elle-même. Un seul critère, celui de la durabilité de la ressource, constitue ce thème en raison de son importance dans le potentiel d'utilisation à long terme des ressources énergétiques et de son influence sur le développement durable des sociétés humaines.

2- Le second thème, celui des impacts globaux, regroupe les critères qui rendent compte d'impacts à incidence globale sur la biosphère. Ce sont des effets qui pour la plupart se sont accumulés dans le temps et dans l'espace et qui menacent maintenant l'intégrité des processus à l'échelle de la biosphère. Les critères retenus sont: le changement climatique global, la déperdition de la couche d'ozone, les précipitations acides et les risques de catastrophes. Dans ce dernier cas, il s'agit plutôt d'effets qui pourraient menacer l'intégrité des processus de la biosphère.

3- Le troisième thème regroupe les critères qui ont ou peuvent avoir un effet sur le patrimoine mondial. Les modifications aux écosystèmes, à l'aménagement, au paysage et au mode de vie sont les quatre critères qui constituent ce thème. Le patrimoine mondial se définit ici comme les éléments ou les systèmes qui constituent actuellement la richesse et la diversité de la biosphère tels les sociétés humaines, les écosystèmes, la biodiversité, etc. Un impact à ce niveau peut par exemple être considéré comme majeur même si son étendue est relativement faible en autant qu'il menace l'intégrité d'un ou de plusieurs des éléments de ce patrimoine qui, lui, est mondial.

4- Finalement, le quatrième thème regroupe les critères qui ont un effet spécifique, c'est-à-dire, limité dans le temps ou dans l'espace, du moins en fonction des connaissances actuelles sur le sujet. On y retrouve les six formes de pollution analysées de même que le critère santé et sécurité.

Ce regroupement ou plus précisément cette hiérarchisation des incidences environnementales allant du global vers le particulier (Holmes, 1972) permet, dès le départ, de porter un jugement plus critique sur les impacts de chacune des filières considérant, par exemple, qu'une participation à une incidence globale est plus sérieuse, du moins dans l'immédiat, qu'un impact spécifique puisqu'elle intervient dans un système plus complexe dont l'influence est plus vaste.

Étant donné la structure d'analyse hiérarchisée adoptée, les indicateurs utilisés pour mesurer ou évaluer un impact ne serviront que pour un seul critère environnemental, même s'ils peuvent s'appliquer à plusieurs. Il est évident, par exemple, qu'un indicateur utilisé pour évaluer un impact global peut aussi avoir une influence sur des éléments du patrimoine et des effets spécifiques lors de son émission dans un milieu récepteur. Cependant, comme il est pratiquement impossible de bien délimiter l'impact relatif aux différents niveaux, seule la contribution au thème le plus global sera considérée d'autant plus qu'il s'agit alors de l'impact qui représente la plus grande influence.

3.4.2 *Classement des filières*

Avant d'entreprendre une comparaison entre les filières en fonction des quatre thèmes retenus, un premier classement a d'abord été effectué au niveau de chacun des critères environnementaux. À partir des cotes émises pour chacune des filières aux trois stades d'exploitation des ressources et des renseignements supplémentaires contenus dans les fiches d'impacts (section: valeur comparative de l'impact), un rang comparatif a été attribué aux différentes filières. Le rang vingt (20) correspond toujours à la filière dont l'impact environnemental est le plus grand sur le critère évalué; deux ou plusieurs filières ayant un impact similaire se voient assigner le même classement et le classement de la filière suivante est décalé en conséquence. Ce classement est résumé à la matrice comparative des diverses filières énergétiques (page 77). Cette première comparaison permet d'abord d'obtenir un rang qui tient compte de l'ensemble des trois phases d'exploitation de la ressource. Elle permet, de plus, de différencier des filières qui, dans la matrice des impacts potentiels, présentaient des cotes de même valeur. Il est en effet possible de discerner entre certaines filières en utilisant d'une manière plus discriminante le matériel utilisé pour la détermination des diverses cotes. Par exemple, toutes les filières des ressources fossiles ont obtenu une cote d'impact majeur pour le critère du changement climatique global. Cependant, étant donné que les facteurs d'émissions de CO_2 et de CH_4 sont connus et différents pour chacune de ces filières, il devient alors possible de les classer les unes par rapport aux autres et ainsi obtenir un rang comparatif qui tiennent compte de leurs différences.

La principale limite de ce type de classement est qu'il ne rend pas nécessairement compte de l'écart réel qui peut exister entre différentes filières, spécialement lorsque les cotes d'impacts appartiennent à deux catégories différentes, mais aussi à l'intérieur d'une même catégorie de cote. Par exemple, cinq filières pourraient ne pas avoir d'impact significatif pour un critère environnemental déterminé; dans un tel cas, elles occuperaient toutes le premier rang. La filière qui suit, que son impact soit minime ou maximal, obtiendra tout de même le 6^{ième} rang.

3.4.3 *Comparaison des filières*

La comparaison finale entre les filières s'effectue ensuite en utilisant la méthode Delphi à l'intérieur de l'équipe de recherche et en procédant thème d'analyse par thème d'analyse. Cette comparaison se fait en utilisant d'une part les rangs obtenus par les filières pour l'ensemble des critères composant le thème d'analyse (matrice comparative des diverses filières) et d'autre part les cotes obtenues pour les différents impacts (matrice des impacts potentiels) ce qui permet alors d'établir l'écart réel entre les rangs.

4. ANALYSE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

4- ANALYSE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Les impacts environnementaux, une fois identifiés, ont été évalués à partir des renseignements contenus dans les fiches d'impacts (annexe 1) et les tableaux comparatifs; cette évaluation a été transposée sur la matrice des impacts potentiels (page 76) et le classement relatif des filières a été reporté sur la matrice comparative des diverses filières énergétiques (page 77). Le texte qui suit présente et résume les principaux éléments déjà contenus dans les fiches et synthétisés dans les matrices. Chacun des 16 critères environnementaux fait l'objet d'une présentation en trois points: description de l'impact et choix des indicateurs, analyse de l'impact et classement des filières.

4.1 LES IMPACTS ÉNERGÉTIQUES

Contrairement aux autres critères, la procédure d'analyse des impacts décrite au chapitre précédent n'a pas été appliquée dans le cas de la qualité de la ressource. Nous avons plutôt établi une classification des ressources par type de flux d'énergie fournie et en fonction de la disponibilité temporelle de la ressource. Le tableau 4.1 présente la classification des différentes filières énergétiques qui découle de l'application de ces définitions. Les filières des ressources fossiles et de l'uranium forment le groupe des ressources épuisables tandis que celles de la biomasse et de la géothermie sont considérées comme renouvelables. Il est à noter que la filière biomasse - électricité (centrale thermique) fait référence à deux ressources distinctes qui sont le bois et la tourbe. Par définition, la tourbe devrait plutôt être associée aux ressources fossiles mais pour des raisons de commodité elle a été incluse avec la biomasse. Les autres filières, c'est-à-dire les filières hydraulique, solaire, éolienne et marémotrice, constituent les ressources durables.

Tableau 4.1 Viabilité de chaque filière énergétique.

VIABILITÉ DE LA RESSOURCE	RESSOURCE	UTILISATION OU FORME D'EXPLOITATION
Ressources épuisables	Charbon	Électricité (centrale thermique) Chauffage et métallurgie
	Pétrole	Électricité (centrale thermique) Chauffage et transport
	Gaz naturel	Électricité (centrale thermique) Chauffage et transport
	Uranium	Électricité (centrale nucléaire)
Ressources renouvelables	Biomasse	Électricité (centrale thermique) Chauffage domestique Déchets (incinérateur) Combustible de substitution
	Géothermique	Classique Circuit fermé
Ressources durables	Hydraulique	Centrale avec réservoir Centrale au fil de l'eau
	Solaire	Héliothermique Photovoltaïque
	Éolien	Centralisé Décentralisé
	Marémoteur	Électricité

4.2 LES IMPACTS GLOBAUX

4.2.1 *Changement climatique global*

4.2.1.1 Description de l'impact et choix des indicateurs

Le système climatique terrestre est constitué de l'interaction d'un ensemble complexe d'éléments qui lui assure sa relative stabilité dans le temps. Les gaz à effet de serre représentent une de ces composantes essentielles. Ils sont formés surtout par la vapeur d'eau et d'autres gaz d'origine naturelle comme le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), l'ozone (O_3) et l'oxyde nitreux (N_2O). Ces gaz sont transparents au rayonnement solaire mais relativement opaques au rayonnement terrestre. Ils emprisonnent donc la chaleur réémise par la surface terrestre et contribuent ainsi à maintenir la température moyenne de la planète à 15°C; en leur absence, cette température moyenne serait plutôt de -18°C (Levi, 1990). Des modifi-

cations aux concentrations de ces gaz à effet de serre constituent l'un des facteurs qui peuvent entraîner des changements climatiques à long terme (Mitchell, 1989).

Les activités humaines auront contribué depuis le début de l'ère industrielle, d'une part à augmenter la concentration de certains gaz participant naturellement à l'effet de serre et, d'autre part, à émettre de nouveaux gaz purement d'origine anthropique comme les CFC et les halons qui viennent ajouter leur action aux précédents (tableau 4.2).

Chacun de ces gaz possède un pouvoir d'absorption des radiations et une durée de vie qui lui est spécifique. Cependant, les évaluations de ces paramètres peuvent parfois varier de façon notable d'une étude à l'autre et doivent donc être utilisées comme indicateurs plutôt que comme valeurs absolues. Par exemple, l'ONE (1991) considère que l'aptitude du méthane à retenir le rayonnement infrarouge, comparée à celle du CO_2 est de 70, celle de l'oxyde nitreux de 160 et celle des CFC de 4 700-6 200. Les valeurs correspondantes au tableau 4.2. sont respectivement 25, 250 et 17 500-20 000. Ces différences notables entre études sont parfois le résultat de travaux qui n'utilisent pas un même point de comparaison dans l'établissement du rapport. Par exemple, un facteur de 25 pour le CH_4 sur une base molaire correspond à un facteur d'environ 70 sur une base massique. Il n'en demeure pas moins que des variations existent entre les évaluations même lorsqu'elles sont effectuées sur une base commune de référence.

Tableau 4.2 Rôle des différents gaz dans l'effet de serre

GAZ	A	B	C	D	E	F
CO_2	1	275	346	0.4%	71%	50±5%
Méthane	25	0.75	1.65	1%	8%	15±5%
Fluorocarbone 12	20000	0	0.0004	5%	2%	13±3%
Fluorocarbone 11	17500	0	0.00023	5%	1%	
N_2O	250	0.25	0.35	0.2%	18%	9±2%

A. Aptitude à retenir le rayonnement infrarouge comparée à celle du CO_2.
B. Concentration pré-industrielle (en ppm).
C. Concentration actuelle (en ppm).
D. Taux de croissance annuelle.
E. Pourcentage de l'effet de serre dû aux activité humaines.
F. Pourcentage de l'accroissement de l'effet de serre dû aux activités humaines.

Source : Données tirées de Scientific and Technical Arguments for the Optimal Use of Energy, B. Aebischer, B. Giovannini et D. Pain, Genève, octobre 1989, citées par AIE/IEA, 1990.

4.2.1.2 Analyse de l'impact

De façon globale, la combustion des ressources énergétiques fossiles contribue pour environ 75 % des émissions anthropiques de CO_2; le pétrole est responsable de 45 % de cette contribution, la part du charbon est de 40 % et celle du gaz naturel de 15 % (AIE, 1990). L'autre quart des émissions de CO_2 est surtout attribuable à la

combustion de la biomasse. Les émissions en provenance des réservoirs hydrauliques sont relativement faibles en comparaison (Thérien, 1992a, 1992b).

Par ailleurs, les activités énergétiques seraient responsables d'environ 15 à 40 % des émissions de CH_4 d'origine anthropique. Les pertes de gaz naturel représenteraient de 20 à 40 % de ces émissions et la combustion de la biomasse entre 30 et 50 % (AIE, 1990).

Le CO_2 est la cause d'environ 70 % de l'effet de serre dû aux activités humaines et devrait constituer de 50 à 75 % de toute intensification future de cet effet. Le méthane par ailleurs piège de 25 à 30 fois plus de rayonnement infrarouge par molécule que le CO_2. Dans l'atmosphère, le méthane a une durée de vie relativement courte (10 ans) mais, comme il est finalement transformé en CO_2, il continue de contribuer à l'effet de serre longtemps après avoir été libéré (Gouvernement du Canada, 1991). Le rôle du CH_4 au niveau du changement climatique global semble en progression puisqu'il présente un taux de croissance annuel de 1 % comparativement à 0,4 % pour le CO_2 (tableau 4.2.).

L'évaluation de l'impact pour les filières énergétiques a été effectuée à partir des facteurs d'émissions[1] de CO_2 et des facteurs d'émissions de CH_4 (tableaux 4.3 et 4.4).

Les filières énergétiques utilisant les ressources fossiles et la biomasse présentent toutes un impact d'importance majeure en raison de la combustion qui produit d'importantes quantités de CO_2 et de CH_4. De plus, des fuites importantes de gaz naturel, composé à 95 % de méthane, sont observées spécialement lors de l'extraction du gaz et, en moindre partie, lors de sa distribution. Bien que la quantification de ces fuites ne soit pas encore complètement établie, il apparaît évident que les fuites à la production sont de beaucoup supérieures à celles qui surviennent dans le réseau de distribution (Jacques, 1992). En fait, les fuites de l'exploitation pétrolière et gazière d'amont sont responsables d'environ 29 % des émissions anthropiques des émissions de CH_4 (Jacques, 1992). La production et l'emploi des combustibles fossiles comptent pour près de 97 % de toutes les émissions de CO_2 d'origine anthropique au Canada (Jacques, 1992). La filière hydraulique avec réservoir présente un impact mineur puisque ses émissions de CO_2 sont très faibles en comparaison des filières précédentes. Les autres filières ne présentent pas d'impact significatif en terme d'émission de CO_2.

---

[1] Les facteurs d'émission du CO_2, du CH_4 et de plusieurs autres indicateurs seront régulièrement utilisés dans ce travail. Le facteur d'émission se définit comme une mesure standard de la quantité d'émissions d'un même gaz produite par chacune des ressources énergétiques pour une valeur énergétique donnée.

Tableau 4.3 Facteurs d'émission de CO_2.

	CARBONE	CONTENU CALORIFIQUE	CARBONE TONNES/TJ	CO_2 TONNES/TJ
gaz naturel	512,46 g/m3	37,88 MJ/m^3	13,53	49,61
essence pour moteur	642,60 g/l	34,66 GJ/m^3	18,54	67,98
kérosène	695,20 g/l	37,68 GJ/m^3	18,45	67,65
essence d'aviation	634,20 g/l	33,53 GJ/m^3	18,92	69,37
propane (GPL)	416,65 g/l	25,53 GJ/m^3	16,32	59,84
carburant diesel	745,75 g/l	38,68 GJ/m^3	19,28	70,69
mazout léger	771,28 g/l	38,68 GJ/m^3	19,94	73,11
mazout lourd		41,73 GJ/m^3	20,18	74,00
carburéacteur	694,17 g/l	35,93 GJ/m^3	19,32	70,84
coke de pétrole	898,92 g/kg	32,96 GJ/tonne	27,27	100,00
autre produits pétroliers				67,50
bois	400,00 g/kg	19,80 GJ/tonne	20,20	74,08
déchets de bois	400,00 g/kg	18,00 GJ/tonne	22,22	81,48
liqueur de pâte	410,00 g/kg	14,00 GJ/tonne	29,29	107,38
charbon				
bitumineux importé	702,97 g/kg	29, 00 GJ/tonne	24,24	88,88
bitumineux canadien	692,95 g/kg	27,60 GJ/tonne	25,11	92,06
subbitumineux	507,63 g/kg	18,80 GJ/tonne	27,00	99,10
lignite	425,66 g/kg	14,40 GJ/tonne	29,56	108,39
anthracite	702,97 g/kg	27,70 GJ/tonne	25,38	93,05
facteurs d'émission estimés				
déchets municipaux	250,00 g/kg	14,00 GJ/tonne	17,86	65,48
coke et gaz de cokéfaction		28,83 GJ/tonne		86,04
		18,61 GJ/m^3		

Source: Tableau adapté de ONE, 1991.

Tableau 4.4 Facteurs d'émission du CH_4

	CH_4 KG/TJ
Gaz naturel	
électricité	0,13
autres usages	1,14-1,27
Pétrole	
électricité	0,16-0,72
chauffage et transport	0,67-2,88
Biomasse	
bois de chauffage	0,01-0,03
électricité-déchets de bois	77,0
déchets municipaux	0,02
Charbon	0,25-1,05

Source: Tableau adapté de Environnement Canada, 1992.

En ce qui concerne le domaine plus particulier des filières de production d'électricité, les contributions aux émissions de CO_2 sont très variables (tableaux 4.5 et 4.6). Les centrales au charbon et au bois sont celles dont les émissions sont les plus importantes, suivies de celles utilisant du pétrole et du gaz naturel.

La production de CO_2 correspondante pour un réservoir de centrale hydroélectrique varierait de 25 à 250 Kg CO_2 MWh^{-1} selon les estimations. Cependant, certaines de ces évaluations font appel à des hypothèses parfois considérées comme irréalistes. En fait, la production de CO_2 correspondante pour les complexes hydro-électriques et réservoirs du territoire de la Baie de James varieraient de 0,9 à 42,1 Kg CO_2 MWh^{-1} (Thérien, 1992b) ce qui est nettement inférieur aux autres ressources.

Tableau 4.5 Émissions de CO_2 estimées pour une centrale thermique produisant 1 TWh par année (en tonnes).

CHARBON	PÉTROLE	GAZ NATUREL	DÉCHETS DOMESTIQUES	NUCLÉAIRE
1 075 000	790 000	670 000	25 619	négligeable

Source : Données tirées de Hydro-Québec, 1992a.

Tableau 4.6 Émissions de CO_2 pour l'exploitation de différentes filières.

TYPE DE CENTRALE	ÉMISSIONS DE CO_2 (KG/KWH)
Charbon	1,13
Pétrole	0,68
Gaz naturel	0,41 - 0,59
Biomasse- Centrale au bois	0,91 - 1,18
Géothermique	0,05 - 0,07

Source: Données tirées de DiPippo, 1991.

4.2.1.3 Classement des filières

Comparativement les unes aux autres, neuf filières se voient donc attribuer le premier rang étant donné leur absence d'impact. Les filières du charbon, du bois et du pétrole occupent les six derniers rangs en raison de leurs facteurs d'émissions de CO_2 très élevés qui sont respectivement de l'ordre de 100, 85 et 70 tonnes/TJ, en plus de leur contribution importante aux émissions de CH_4. Malgré l'importance de leurs émissions de méthane, les filières du gaz naturel sont classées aux $12^{ième}$ et $11^{ième}$ rangs, compte tenu de leurs facteurs d'émissions de CO_2 nettement plus faibles que les filières précédentes. La filière hydro-électrique avec réservoir se classe au $10^{ième}$ rang mais doit cependant être associée aux filières de rang 1 plutôt qu'être comparée aux filières du gaz naturel qui la suivent immédiatement dans le classement. En fait, en ce qui concerne ce critère environnemental, deux groupes se distinguent nettement. Un premier groupe est formé des neuf filières qui ne présentent pas d'impact significatif et de la filière hydro-électrique avec réservoir qui n'a qu'un impact mineur. L'autre groupe est formé des filières de la biomasse et des ressources fossiles qui présentent toutes un impact majeur.

L'analyse plus spécifique de l'impact des diverses filières énergétiques dans un contexte de consommation locale est présentée au tableau 4.7. À partir de la consommation des ressources observée au Québec en 1991 (voir bilan énergétique), une estimation des émissions de CO_2 de chaque ressource a d'abord été établie en multipliant la consommation de chacune par leur facteur d'émission respectif. La même démarche a ensuite été suivie pour estimer les émissions de méthane. En utilisant un coefficient de transformation (coefficient d'aptitude à retenir le rayonnement infrarouge comparé à celui du CO_2; voir tableau 4.2), les émissions de méthane ont été transformées en émissions équivalentes de CO_2. Les émissions totales ont ensuite été calculées. De cette approche, on peut d'abord observer que les émissions de CO_2 sont beaucoup plus importantes que celles de CH_4; la différence est d'un facteur de l'ordre de 1 000 à 10 000. Au Québec, l'utilisation du pétrole pour le transport est responsable de la plus grande proportion des émissions des deux gaz à effet de serre retenus dans notre analyse. Cependant, les émissions en provenance des filières du gaz naturel et, spécialement de celles du charbon, sont tout de même très importantes compte tenu qu'elles ne représentent respectivement que 16 % et 1 % de la consommation énergétique au Québec (tableau 4.7).

Tableau 4.7 Évaluation des émissions de CO_2 et de CH_4 par les filières énergétiques québécoises.

FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES	CONSOMMATION SPÉCIFIQUE AU QUÉBEC TJ	FACTEUR DE CONVERSION D'ÉMISSION DE CO_2 T/TJ	ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE CO_2 T	FACTEUR DE CONVERSION D'ÉMISSIONS DE CH_4 KG/TJ	ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE CH_4 T	FACTEUR DE CONVERSION CH_4 EN CO_2 X 25[a]	EVALUATION DES ÉMISSIONS TOTALES T DE CO_2
Charbon	$1,36 \times 10^4$	88,9	$1,2 \times 10^6$	0,52-1,05	7-14	175-350	$1,2 \times 10^6$
Pétrole élect. et chauf.	$2,04 \times 10^5$	74,0	$1,5 \times 10^7$	0,16-0,72	32-150	800-3750	$1,5 \times 10^7$
Pétrole transport	$3,4 \times 10^5$	68,0-70,7	$2,3 \times 10^7$-$2,4 \times 10^7$	0,67-2,88	230-980	$5,8 \times 10^3$-$2,5 \times 10^4$	$2,4 \times 10^7$
Gaz-chauf. et transport	$2,03 \times 10^5$	49,6	$1,0 \times 10^7$	1,14-1,27	231-260	5775-6500	$1,0 \times 10^7$

[a]Coefficient d'aptitude à retenir le rayonnement infrarouge comparée à celui du CO_2

Source: Données tirées de MER, 1992a et ONE, 1991.

4.2.2 *Déperdition de la couche d'ozone*

4.2.2.1 Description de l'impact et choix des indicateurs

Comparativement au réchauffement global, la déperdition de l'ozone stratosphérique est un phénomène connu depuis peu. L'ozone stratosphérique agit comme un filtre qui intercepte plus de 99 % des rayons ultra-violet de courte longueur d'onde (ou de forte énergie) en provenance du rayonnement solaire (Cunningham et Saigo, 1992). Ces rayons UV ont un pouvoir biocide important et l'augmentation de leur incidence à la surface terrestre peut entraîner des dommages génétiques, affecter la biodiversité et causer une recrudescence, par exemple, de cancers.

Le dépérissement de la couche d'ozone stratosphérique est essentiellement attribuable aux activités humaines et les émissions de CFC, de halons et de N_2O en sont les principaux responsables. Leur action en haute atmosphère entraîne une dissociation de la molécule d'ozone (O_3) et en abaisse ainsi la concentration.

Bien que les CFC et les halons soient les grands responsables de la détérioration de la couche d'ozone, seul l'oxyde nitreux (N_2O) a été retenu comme indicateur de ce critère. Il est pratiquement impossible de mesurer adéquatement la participation, même relative, des diverses filières énergétiques quant à leurs émissions de CFC et de halons. Ces deux groupes de gaz ne peuvent donc pas servir d'indicateurs. Par contre, les facteurs d'émissions de N_2O sont connus pour les diverses filières (tableau 4.8) et peuvent ainsi être utilisés comme indicateur. Il faut cependant noter que la proportion des émissions d'oxyde nitreux qui atteint la stratosphère n'est pas bien définie et que la contribution de ce gaz à la destruction de la couche

d'ozone est nettement moins importante que celle des CFC et des halons. De plus, les données sur le N_2O ne sont le plus souvent que des estimations et non le résultat de mesures prises à la source, elles représentent donc une forte incertitude avec des variations d'un facteur 10 (Jaques, 1992). Néanmoins, les émissions de N_2O constituent le seul indicateur qui permette actuellement d'évaluer la part relative des diverses filières quant à ce critère environnemental.

Tableau 4.8 Facteurs d'émission du N_2O

	N_2O KG/TJ
Charbon	
électricité	0,10-2,11
chauffage et métallurgie	0,10-2,11
Pétrole	
électricité	3,11-9,59
chauffage et transport	3,36-47,60
Gaz	0,62
Biomasse	8,89

Source: Données tirées de Environnement Canada, 1992.

4.2.2.2 Analyse de l'impact

Les sources anthropiques d'émissions de N_2O (92 Kt au Canada en 1990) sont nettement moins importantes que les sources d'origine naturelle en provenance surtout des sols et, dans une moindre mesure, des étendues d'eau (1152 Kt) (Jaques, 1992). Ce sont surtout les procédés de combustion des ressources fossiles et de la biomasse de même que les engrais azotés qui sont responsables des principales émissions d'origine anthropique (Clement et Kagel, 1990). En fait, les carburants, surtout en raison des catalyseurs trifonctionnels, comptent pour environ 42 % des émissions totales d'origine anthropique; viennent ensuite les émissions industrielles (36 %) et l'utilisation des engrais azotés (12 %).

Puisqu'une très grande proportion des émissions de N_2O provient de sources mobiles comme les automobiles, les camions et les avions, et également en raison d'un facteur d'émission très élevé, la filière transport et chauffage du pétrole s'est vue attribuer un impact majeur. La combustion du charbon ou plutôt de certaines de ces formes, celles du pétrole et du bois dans la production d'électricité ainsi que la filière du chauffage domestique au bois ont également été évaluées comme présentant un impact majeur à cause de leurs facteurs d'émissions élevés. La combustion du gaz naturel, des déchets (biomasse) et l'utilisation de combustibles de substitution provenant de la biomasse présentent un impact moindre que celui des filières précédentes. Cet impact a été qualifié de moyen. Les autres filières n'ont pas d'impact significatif quant à ce critère environnemental.

4.2.2.3 Classement des filières

Le classement des filières en ce qui concerne la déperdition de la couche d'ozone a été effectué en ne tenant compte que des facteurs d'émissions de N_2O. En raison de leur absence d'impact quant à ce critère, dix filières occupent conjointement le premier rang. La filière chauffage et transport du pétrole occupe le dernier rang. Les rangs 19 à 11 répartissent les filières en fonction de leurs facteurs d'émissions respectifs. Il est à noter que, comme dans le cas du changement climatique global, les filières utilisant la biomasse (bois) pour la production d'électricité et le chauffage domestique sont considérées comme plus dommageables pour l'environnement que les filières du gaz naturel. Pour ce critère environnemental trois groupes différents peuvent être formés. Un premier regroupe les dix filières qui ne présentent pas d'impact significatif. Le second groupe, formé par les filières du gaz naturel et par deux filières de la biomasse, présente un impact qualifié de moyen et de ce fait se détache nettement du premier groupe. Enfin, le troisième groupe est celui des filières qui présentent un impact majeur sur l'environnement (charbon, pétrole et bois).

4.2.3 *Précipitation acide*

4.2.3.1 Description de l'impact et choix des indicateurs

De façon générale, les précipitations normales présentent un pH légèrement acide en raison de l'absorption de CO_2 et de certaines autres substances acides d'origine naturelle. Par contre, les précipitations acides sont d'environ 10 fois plus acides que les précipitations normales. Ce sont essentiellement le dioxyde de soufre (SO_2) et les oxydes d'azote (NO_x) qui en sont responsables. Ces gaz réagissent de façon complexe et forment dans l'atmosphère de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique qui sont alors incorporés aux précipitations. De plus le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote peuvent également se déposer à la surface du sol et alors réagir pour créer des conditions acides.

Le Québec est particulièrement sensible aux précipitations acides en raison du faible pouvoir tampon du milieu récepteur et aussi de sa situation géographique qui le place au carrefour des grands courants atmosphériques d'Amérique du Nord. Pour les milieux récepteurs avec un faible pouvoir tampon, les conséquences des précipitations acides sont nombreuses et affectent, particulièrement dans le cas des lacs, l'ensemble de l'écosystème. En fait, 14 000 lacs seraient biologiquement morts au Canada en raison des précipitations acides (Gouvernement du Canada, 1991). L'acidification des sols, le dépérissement de la végétation et la détérioration des infrastructures humaines sont d'autres exemples importants de l'action des pluies acides. Lorsque le pouvoir tampon des milieux récepteurs est élevé, il est évident que les conséquences des précipitations acides sont moins importantes.

Les deux indicateurs retenus pour l'évaluation de ce critère sont les facteurs d'émission de NO_x (tableau 4.9) et les émissions de SO_2 (tableau 4.10). Par ailleurs il ne

semble pas exister de facteurs de conversion entre les deux indicateurs (SO_2 et NO_x) de manière à estimer un impact uniforme et unique.

Tableau 4.9 Facteurs d'émission de NO_x (tonnes/PJ).

	RÉSIDENTIEL	COMMERCIAL	INDUSTRIEL	TRANSPORT
énergies renouvelables (excluant le bois)	113,00	113,00		
gaz naturel	42,30	42,30	59,20	
propane-transport	42,70	42,70	59,90	
GPL	42,70	42,70	59,90	
essence pour moteur				(1)
kérosène	61,00	63,70	63,70	
essence d'aviation		223,00		223,00
carburéacteur		208,00		208,00
mazout léger	59,50	62,00	62,00	
diesel	1030,00	1290,00	1080,00	(1)
ferroviaire				1440,00
maritime				235,00
mazout lourd	158,00	158,00	158,00	200,00
coke de pétrole			241,00	
produits pétroliers - utilisation non-énergétiques			0,00	
produits pétroliers - usage propre			118,00	
bois et déchets de bois	41,00		113,00	
liqueur de pâte (industrie)			113,00	
charbon	250,00	250,00	250,00	
coke et gaz de cokéfaction			237,00	

(1) Données variables selon le type de véhicule.

Source: ONE, 1991.

4.2.3.2 Analyse de l'impact

Les émissions de sources anthropiques de ces deux gaz représenteraient respectivement 45 et 75 % des émissions totales (AIE, 1990). La contribution du secteur énergétique représente 90% des émissions anthropiques de SO_2 et 85 % de celles de NO_x (AIE, 1990). Ce sont surtout les processus de combustion des ressources fossiles qui sont responsables de l'émission de ces gaz et dans une moindre mesure la combustion de la biomasse quoique, dans ce dernier cas, des différences importantes sont observées entre les diverses ressources.

Les phases d'exploitation des filières du charbon, du pétrole et celle de la production d'électricité à partir de la biomasse (spécialement la tourbe) présentent un

impact majeur en raison des facteurs d'émissions de NO_x élevés ainsi que des rejets importants de SO_2 (tableau 4.10). Les filières du gaz naturel ont également un impact majeur mais cette fois à la phase construction-intrants puisque le traitement du gaz naturel entraîne d'importante émissions de SO_2. Cependant, l'impact généré par la combustion du gaz naturel est nettement moins important que celui des deux filières précédentes à la phase d'exploitation active de la ressource; il a été évalué comme faible tout comme la filière du chauffage domestique au bois.

Dans le cas spécifique de la production d'électricité, les émissions produites par les différentes filières sont présentées au tableau 4.10. Les filières du charbon, du pétrole, de la tourbe et des résidus agricoles montrent des émissions importantes des deux gaz précurseurs des précipitations acides. Au contraire, les autres filières présentent des émissions nettement plus faibles et limitées à un seul des deux gaz. Comparativement les émissions de NO_x et de SO_2 pour les filières nucléaire et hydraulique avec réservoir sont négligeables.

Tableau 4.10 Émissions de SO_2 et de NOx estimées pour une centrale thermique produisant 1 TWh par année (en tonnes).

FILIÈRE ÉNERGÉTIQUE	SO_2	NO_x
Charbon	900	310
Pétrole	740	230
Gaz naturel	—[1]	105
Biomasse-bois	—	92
Biomasse-déchets domestiques	15	37
Biomasse-tourbe	648	770
Biomasse-résidus agricoles	428	72
Nucléaire	—	—

1—: Négligeable

Source: Données tirées d'Hydro-Québec, 1992a.

4.2.3.3 Classement des filières

En terme de classement global, huit filières (hydrauliques (2), solaires (2), éoliennes (2), géothermique en circuit fermé et marémotrice) occupent le premier rang en raison de leur absence d'impact et deux autres, les combustibles de substitution et la filière géothermique classique, se classe au 9ième rang en raison d'un impact potentiel mais non documenté. Les centrales nucléaires ont été classées au 11ième rang en raison d'un impact faible à la phase de construction et intrants. Ce premier groupe de 11 filières énergétiques peut être considéré comme négligeable quant à sa contribution aux précipitations acides.

Les six filières utilisant les combustibles fossiles occupent les derniers rangs. Chacune de ces filières présente un impact majeur à l'une des trois phases

d'exploitation de la ressources et un impact faible ou moyen à une autre phase. Les filières au charbon occupent les deux derniers rangs; viennent ensuite, en ordre décroissant, le pétrole puis le gaz naturel.

Trois filières de la biomasse présentent un impact mineur (chauffage domestique au bois), moyen (déchets) ou majeur (centrale thermique - bois et tourbe) lors de l'une des phases d'exploitation de la ressource. Elles occupent donc les rangs intermédiaires entre les deux groupes précédents.

4.2.4 *Risque de catastrophe*

4.2.4.1 Description de l'impact et choix des indicateurs

Ce critère englobe les accidents de l'environnement tels que définis par l'AIE (1990). Ils incluent, entre autres, les accidents nucléaires, les ruptures de barrages et les déversements majeurs de pétrole. En fait, la structure même des systèmes énergétiques est à la base de ces risques. Les systèmes énergétiques conventionnels se présentent habituellement sous la forme de grosses installations industrielles ou de constructions de grandes dimensions. En plus des installations et, bien sûr, de la nature de la ressource même, le transport des ressources énergétiques a aussi été évalué.

Les indicateurs spécifiques qui ont été retenus sont: les probabilités de risque, c'est-à-dire la fréquence des accidents et l'intensité de leur impact, telles que déterminées par les compagnies d'assurances oeuvrant dans ce domaine spécifique (Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 1990). Ces probabilités de risque se subdivisent en cinq éléments pouvant s'appliquer à l'ensemble des filières énergétiques. Ils sont généralement à la base de la détermination des primes d'assurances. Les cinq éléments d'évaluation sont les risques d'incendie, de fuite et d'explosion, les risques d'erreurs humaines reliés à la complexité technologique, les risques d'endommagement à la suite d'intempéries, les risques de sabotage et finalement la responsabilité civile.

4.2.4.2 Analyse de l'impact

Le tableau 4.11 présente une synthèse de l'évaluation des impacts reliés aux principaux types de risques catastrophiques du domaine énergétique.

Des catastrophes majeures peuvent survenir dans les centrales nucléaires (risque de destruction du réacteur avec libération de produits radioactifs) et dans les complexes hydro-électriques (rupture de barrages). Toutes les centrales conventionnelles présentent également des risques majeurs; elles sont généralement à proximité de centres urbains densément peuplés ce qui accroît l'intensité de l'impact en cas de catastrophe. Les déversements pétroliers représentent également des risques environnementaux élevés en raison de l'âge des superpétroliers, des multiples traversées et des itinéraires souvent difficiles. Les filières nucléaire, hydraulique avec réservoir et les centrales thermiques se sont donc vues attribuer un indice d'impact majeur.

Les risques d'explosion, d'incendies ou de fuite pour les filières du gaz naturel, celles des centrales thermiques au bois et des incinérateurs correspondent à un impact moyen. Dans la même catégorie, l'exploitation de centrales géothermiques peut entraîner des affaissements de sol importants et augmenter l'incidence de tremblements de terre.

Les filières marémotrice et hydraulique au fil de l'eau présentent un impact considéré faible consécutif spécialement aux risques découlant des crues rapides, des inondations, du gel et des tremblements de terre. L'impact également faible de la filière des combustibles de substitution est principalement attribuable aux risques d'incendies.

Tableau 4.11 Indices d'évaluation pour le risque de catastrophe.

	CENTRALE THERMIQUE	PÉTROLE- CHAUFFAGE ET TRANSPORT	GAZ- CHAUFFAGE ET TRANSPORT	NUCLÉAIRE	BIOMASSE- DÉCHETS	BIOMASSE- COMB. DE SUBSTITUTION	HYDRAULIQUE- RÉSERVOIR	HYDRAULIQUE- AU FIL DE L'EAU	GÉOTHERMIQUE	MARÉMOTEUR
Risque d'incendie, de fuite et d'explosion	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1
Risque d'erreurs humaines relié à la complexité technologique	3	1	1	3	2	1	2	1	1	2
Risque d'endommagement suite aux intemperies	1	3	1	1[2]	1	1	3[1]	2[1]	3[2]	2[1]
Risque de sabotage, terrorisme et guerre	2	3	2	3	1	1	2	1	2	1
Responsabilité civile: dommages corporels matériels et immatériels	3	3	2	3	3	1	3	2	1	1
Évaluation globale	**3**	**3**	**2**	**3**	**2**	**1**	**3**	**1**	**2**	**1**

[1]Principalement les crues rapides, les inondations, le gel et les tremblements de terre.
[2]Exclusivement les tremblements de terre.

Source: Données tirées de Münchener Rückersicherungs-Gesellshaft, 1990.

4.2.4.3 Classement des filières

La filière nucléaire comporte le risque de catastrophe le plus important (rang 20) dû au fait que la radioactivité dégagée lors d'une catastrophe dans une centrale peut se disperser sur de grandes distances et affecter ainsi de nombreuses populations. Le rang 19 a été attribué à la filière du pétrole (chauffage et transport) en raison des impacts environnementaux et économiques reliés aux déversements de pétrole. Les grands barrages hydro-électriques avec réservoirs occupent le 18^{ième} rang à cause des conséquences désastreuses sur les populations humaines et le milieu biophysique pouvant résulter de la rupture de tels ouvrages.

Les risques de catastrophes associés aux autres filières énergétiques présentent des impacts dont l'effet global peut être considéré comme moins importants que ceux de ces trois premières filières malgré le fait que certains demeurent tout de même majeurs. C'est le cas entre autres des centrales thermiques qui se partagent le 15^{ième} rang. Les filières des rangs 14 à 8 présentent des impacts qualifiés de moyen.

Les filières solaires et éoliennes de même que celle du chauffage domestique au bois ne présentent pas d'impact significatif et partagent de ce fait le premier rang.

4.3 LES IMPACTS SUR LE PATRIMOINE MONDIAL

Les impacts à incidence sur le patrimoine mondial ne doivent pas être considérés comme ayant un effet mondial ou global comme c'était le cas avec les critères précédents. Ces impacts affectent plutôt un ou des éléments qui constituent ce patrimoine mondial, même si ces éléments peuvent représenter des espaces restreints ou des populations isolées et peu nombreuses. En fait, la «valeur» de ces éléments n'est pas reliée à leur taille mais plutôt à leur contribution à la diversité mondiale.

Rappelons également que l'état de référence pour l'évaluation des impacts est l'état actuel des composantes de l'environnement. Les critères retenus sous ce thème d'analyse sont particulièrement sensibles à ce choix méthodologique. Des remplacements ou des modifications à des écosystèmes, au territoire, au paysage et aux sociétés peuvent éventuellement être considérés comme bénéfiques et, parfois même, comme souhaitables. Cependant, une telle approche nécessiterait la définition de valeurs à atteindre ce qui dépasse largement le cadre de ce travail. L'analyse sera donc effectuée en considérant que les altérations provoquées par les activités des filières énergétiques sont des détériorations de l'état actuel des composantes de l'environnement plutôt qu'une amélioration vers un objectif non défini.

4.3.1 *Modification d'écosystèmes*

4.3.1.1 Description de l'impact et choix des indicateurs

Les écosystèmes peuvent être définis comme toute unité à l'intérieur de laquelle l'ensemble des organismes présents est en interrelation avec l'environnement physique de sorte qu'il s'établit un flux d'énergie qui conduit à des structures trophiques clairement identifiables, à une diversité biologique relativement stable et à une circulation cyclique de la matière à l'intérieur du système (Odum, 1971). Ce critère regroupe donc toutes les interventions qui peuvent affecter directement la structure et les composantes des écosystèmes de sorte que la diversité, le flux d'énergie ou la circulation de la matière en seront modifiés et même éventuellement détruits. Même si de nouvelles dimensions se sont ajoutées à cette définition des écosystèmes, l'analyse des impacts se limitera tout de même à cette approche restreinte, restrictive au milieu biophysique. Les aspects découlant de l'organisation des sociétés humaines ne seront pas pris en considération.

Aucun indicateur spécifique n'a été retenu pour l'évaluation de ce critère.

4.3.1.2 Analyse de l'impact

De façon générale, toutes les filières énergétiques étudiées ont un impact sur l'écosystème ne serait-ce que par la nécessité d'installer dans un milieu récepteur les équipements nécessaires à l'exploitation de la ressource.

Au Québec, l'impact le mieux connu en ce qui concerne la modification des écosystèmes est sans doute les modifications consécutives à la mise en eau des grands réservoirs pour la production de l'électricité. De façon plus générale, d'autres filières énergétiques ont également des effets de grande ampleur sur les écosystèmes spécialement lors de la première étape du cycle d'utilisation de la ressource, soit celle de la construction et des intrants. A ce titre, les exploitations minières et les constructions de grande taille présentent un impact majeur. C'est notamment le cas pour les mines de charbon et d'uranium, surtout celles à ciel ouvert.

De la même façon, les exploitations forestières peuvent perturber de façon notoire les écosystèmes spécialement lors de coupes à blanc de grande envergure mais ces effets sont plus facilement réversibles et ils ont été qualifiés de moyen. Les installations nécessaires à l'exploitation pétrolière et gazière ont également reçu une cote d'impact moyen. Les autres filières, à l'étape de la construction et des intrants ont obtenu une cote d'impact faible, à l'exception des filières des combustibles de substitution (cote moyenne) en raison des grandes surfaces de culture nécessaires et de celle de l'éolien décentralisé (cote nulle).

Lors de la phase d'exploitation de la ressource, outre les effets rémanents, l'impact est généralement moindre. Le fonctionnement normal des installations ne présente pas d'impact significatif ou important sur l'écosystème, autres que ceux déjà mentionnés à la phase précédente, exception faite des filières hydro-électriques qui continuent d'avoir un effet sur les écosystèmes aquatiques et terrestres environ-

nants, entre autre par le jeu des marnages et des modifications de débit. Un impact moyen a donc été attribué à ces deux filières.

La dernière phase d'utilisation (rejet final) apporte elle aussi de nombreux impacts non négligables. L'on y retrouve notamment la gestion des déchets nucléaires, tout comme l'ensemble des problèmes reliés à la disposition finale des installations énergétiques de tout le cycle d'utilisation des ressources.

L'évaluation des impacts pour ce critère reflète donc ces principales observations. Les filières du charbon, de l'uranium et de l'hydro-électricité avec réservoir se voient attribuer un impact majeur. Le pétrole et le gaz naturel, étant donné leurs structures moins lourdes, et toutes les filières de biomasse en raison de l'exploitation des ressources de l'écosystème même (sauf celle des déchets domestiques), reçoivent une cote d'impact moyen. Les autres filières sont considérées comme ayant un impact léger.

4.3.1.3 Classement des filières

Le classement comparatif des diverses filières retient toutes les filières ayant des installations relativement petites ou exploitant des ressources qui ne proviennent pas de l'écosystème naturel (biomasse - déchets) pour occuper les premiers rangs et former un premier groupe de 9 filières dont l'impact est relativement faible.

Le dernier rang est occupé par la filière hydraulique avec réservoir étant donné la destruction d'écosystèmes terrestres qu'elle entraîne et la modification des écosystèmes aquatiques environnants par changement des réseaux hydrographiques. Les filières du charbon et de l'uranium sont classées tout juste avant en raison de la taille et de la perturbation majeure que causent les installations nécessaires à l'exploitation de la ressource. Ce second groupe correspond aux filières dont l'effet sur les écosystèmes est le plus marqué.

Les filières du bois, des combustibles de substitution, du pétrole et du gaz (rangs 16 à 10) occupent une position intermédiaire où les effets sont moyens.

4.3.2 *Modification de l'aménagement*

4.3.2.1 Description de l'impact et choix des indicateurs

Les modifications de l'aménagement relatives aux activités énergétiques posent le problème des choix de développement relatifs à l'utilisation du territoire. Ce critère concerne donc avant tout la structuration du territoire et l'indicateur retenu pour l'évaluation est la compatibilité de ces structures avec d'autres utilisations possibles du sol et des ressources.

4.3.2.2 Analyse de l'impact

L'inondation d'un territoire de grande superficie, l'exploitation de mines à ciel ouvert, l'exploitation de sables bitumineux sont toutes des activités qui affectent grandement l'occupation du territoire puisque les espaces sont alors exclusivement voués à ces activités spécifiques. Les grandes exploitations forestières et l'utilisation de la tourbe à grande échelle entraînent également des contraintes importantes quant à l'aménagement du territoire. Un impact majeur a donc été attribué, à l'étape construction-intrants du cycle de la ressource, pour chacune des filières du charbon et du pétrole, de la filière hydraulique avec réservoir de même que pour les filières de la biomasse qui nécessitent l'exploitation de grandes surfaces.

Les installations et activités telles l'exploitation de gisements souterrains ont reçu un indice d'impact moyen tout comme d'ailleurs les filières solaires qui ne permettent qu'une utilisation restreinte du territoire à d'autres fins.

Les autres filières ont un impact relativement faible sur l'aménagement du territoire. Même les grands parcs d'éoliennes, malgré le fait qu'ils puissent occuper des superficies importantes ont reçu un indice d'impact faible puisque plusieurs autres utilisations concomitantes du territoire sont possibles.

4.3.2.3 Classement des filières

La filière nucléaire et celles du charbon obtiennent les derniers rangs quant à ce critère en raison de l'absence de potentiel d'utilisation à d'autres fins des mines à ciel ouvert. Les périmètres de sécurité, spécialement dans le cas du nucléaire, accentuent d'ailleurs ce manque de compatibilité avec d'autres usages. Les filières du pétrole se classent au rang 16 pour des raisons similaires, spécialement dans le cas de l'exploitation de sables bitumineux où le territoire est utilisé exclusivement à cette fin. La filière hydro-électrique avec réservoir occupe le 15^{ième} rang puisque la mise en eau des réservoirs empêche alors toute utilisation concomitante du milieu initial, avant inondation. Cependant, contrairement aux filières précédentes, le milieu aquatique ainsi créé peut être utilisé à d'autres fins. Ce classement est la conséquence de l'état de référence choisi et l'interprétation doit donc en tenir compte.

Viennent ensuite les filières solaires, celles des grandes exploitations forestières (centrale thermique - bois et tourbe) ou agricoles (combustibles de substitution) et celles de l'exploitation des gisements souterrains de gaz naturel qui permettent toutes quelques usages alternatifs. Dans le cas des filières éolien centralisé et géothermiques, la plus grande diversité des utilisations possibles à d'autres fins permet de les classer au rang 6. Les autres filières qui occupent les cinq premiers rangs peuvent être considérées comme offrant peu de limitations à des usages alternatifs.

4.3.3 *Modification du paysage*

4.3.3.1 Description de l'impact et choix des indicateurs

Le critère modification du paysage se distingue du précédent, modification de l'aménagement, d'abord parce qu'il en est souvent une conséquence et ensuite en vertu de son contenu esthétique. Ce dernier est principalement constitué par la perception visuelle des installations (cheminées, lignes à haute tension...) ou de ses manifestations (panache de fumée...). Trois indicateurs ont été utilisés pour évaluer ce critère: la taille des installations, l'aspect esthétique des installations ou de leurs manifestations et le degré d'intégration des installations dans le milieu récepteur.

4.3.3.2 Analyse de l'impact

La taille des installations ou l'ampleur des exploitations dépend d'abord du contenu énergétique et conséquemment des aires nécessaires à la production de la ressource, du nombre et du volume des installations de même que de l'ampleur des réseaux de transport. Dans ce cas, les filières des ressources renouvelables et celles des ressources durables présentent généralement un impact important étant donné la forme diffuse de leur énergie.

Le tableau 4.12 présente la surface de territoire nécessaire à l'exploitation de certaines ressources énergétiques tandis que le tableau 4.13 présente une synthèse des indices qui ont été attribués à chacune des filières en fonction des trois indicateurs retenus.

On constate que les filières du pétrole et du gaz naturel sont celles qui utilisent les espaces les moins grands pour une production énergétique déterminée tandis que ce sont les filières solaires qui nécessitent les installations de plus grandes dimensions. Les autres filières, charbon, nucléaire, hydraulique avec réservoir, biomasse et éolienne, occupent des superficies semblables et intermédiaires par rapport aux deux groupes précédents. Il faut cependant mentionner que les très grands projets hydroélectriques comme ceux connus ou prévus au Québec ne correspondent pas nécessairement aux valeurs présentées au tableau 4.12 et que l'espace nécessaire à l'exploitation de telles installations est également fonction de la topographie du milieu. Les cotes d'évaluation pour l'indicateur de la taille des installations ont donc été émises en fonction des données du tableau 4.12 tout en tenant compte de la taille relativement plus petite des installations nécessaires pour les filières éolienne décentralisée et chauffage domestique au bois.

L'aspect esthétique des installations a été considéré comme un impact important spécialement pour les filières des ressources fossiles et de la biomasse. Ces filières émettent des fumées et des résidus lors de la phase d'exploitation de la ressource de même qu'à l'étape construction-intrants en raison de l'extraction de la ressource de même que lors des travaux d'excavation et de construction.

Dans le cas de l'intégration dans le milieu, un impact majeur a été attribué aux filières hydrauliques ainsi qu'à celles qui utilisent le bois comme ressource à cause principalement de leur présence contrastante dans le milieu naturel. Il faut cependant noter que sous cet aspect, la majorité des autres filières se sont vues attribuer un impact moyen.

Tableau 4.12 Espace du territoire nécessaire à l'exploitation de différentes filières.

TYPE DE CENTRALE	ACRES/KWH
Charbon	$8{,}0 \times 10^{-9}$
Pétrole	$0{,}71 \times 10^{-9}$
Gaz naturel	$0{,}66 \times 10^{-9}$
Nucléaire	$12{,}0 \times 10^{-9}$
Hydraulique- Avec réservoir	$7{,}0 \times 10^{-9}$
Biomasse- Centrale au bois	13×10^{-9}
Solaire- Photovoltaïque	33×10^{-9}
Solaire- Héliothermique	76×10^{-9}
Éolien	6×10^{-9}

Source: Données tirées de Ottinger et coll., 1990.

4.3.3.3 Classement des filières

Globalement, la filière hydraulique avec réservoir, les filières au charbon et la filière nucléaire se classent aux derniers rangs en raison de l'attribution de cotes d'impact majeur pour au moins deux des trois indicateurs retenus. Viennent ensuite les filières du pétrole, de la biomasse, du gaz naturel et de la géothermie: ces filières présentent pour les trois indicateurs, soit un impact majeur accompagnés d'impacts moyens, soit plusieurs impacts moyens. Ce second groupe de filières est tout de même relativement homogène en terme d'impact sur l'environnement et le classement relatif fait peu de différence entre le rang 16 (pétrole) et le rang 7 (géothermie). Les filières éolienne centralisés, solaires et hydraulique au fil de l'eau occupent les rangs 6 à 2; au moins un des indicateurs pour ces filières présente un impact qualifié de faible. L'éolien décentralisé se retrouve en tête de liste.

4.3.4 *Modification du mode de vie*

4.3.4.1 Description de l'impact et choix des indicateurs

Il est difficile d'évaluer l'impact qu'une filière énergétique a sur le mode de vie de la population humaine en général puisque cette dernière s'est graduellement adaptée au fur et à mesure que le développement des ressources énergétiques en a modifié les besoins et les attentes. Cependant, les effets seront d'autant plus ressentis ou évidents s'ils concernent des populations qui n'ont pas ou qui n'ont que partielle-

Tableau 4.13 Indices d'évaluation pour la modification du paysage

Évaluation globale de l'impact de 1 à 3 (faible à fort).	Charbon		Pétrole		Gaz Naturel		Uranium	Biomasse				Hydraulique		Solaire		Éolien		Géothermique		Marémoteur
	Électricité (Centrale thermique)	Chauffage et métallurgie	Électricité (Centrale thermique)	Chauffage et transport	Électricité (Centrale thermique)	Chauffage et transport	Électricité (Centrale nucléaire)	Électricité (Centrale thermique bois et tourbe)	Chauffage domestique (bois)	Déchets (Incinérateur)	Combustible de substitution	Centrale avec réservoir	Centrale au fil de l'eau	Héliothermique	Photovoltaïque	Centralisé	Décentralisé	Classique	Circuit Fermé	Électricité
Taille des installations	3	2	2	2	2	2	3	3	1	1	2	3	1	3	3	3	1	2	2	2
Aspect esthétique	3	3	3	3	2	2	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1
Intégration dans le milieu	2	2	2	2	2	1	2	3	2	2	2	3	3	2	2	2	1	2	2	2
Évaluation finale	**3**	**3**	**3**	**3**	**2**	**2**	**3**	**3**	**2**	**2**	**2**	**3**	**2**	**2**	**2**	**2**	**1**	**2**	**2**	**2**

ment vécu cette évolution. Notre analyse se limitera donc à évaluer les impacts des filières énergétiques sur les groupes isolés ou les ethnies vivant à l'écart des centres de population où la technologie de la communication s'est développée, d'autant plus que la culture et le mode de vie de ces populations constituent des éléments importants de la diversité culturelle et sociale du patrimoine mondial.

Le Conseil canadien de la recherche sur l'évaluation environnementale (CCREE, 1985) a défini une méthode d'analyse et d'intégration des questions sociales à l'évaluation des incidences environnementales. Outre les changements démographiques et d'ordre économique, deux autres types de modifications s'inscrivent dans la problématique de cette étude.

Il s'agit d'abord des effets produits par des modifications aux ressources naturelles dont dépendent certaines personnes pour leur subsistance, leur emploi ou leurs loisirs. Le second type de modification concerne les changements d'ordre culturel, soit les effets produisant une modification sur les institutions, les traditions et les valeurs de la communauté ainsi que sur la qualité de la vie au sein des communautés.

En ce sens, et à titre d'exemple, les directives émises par la Commission fédérale d'examen des évaluations environnementales (CFEEE, 1992) dans le cadre du projet hydro-électrique Grande Baleine stipulent que le promoteur du projet doit «examiner la crainte et la confiance des autochtones face aux ressources, à la culture, à l'identité, et au contrôle sur l'environnement dans la mesure où ces sentiments d'aliénation ou d'appartenance pourraient affecter la santé des individus». De plus, le promoteur est responsable de tenir compte dans son évaluation des aspects suivants: «le sentiment d'autonomie, l'emballement-effondrement économique, les déplacements de populations, les effets du désenclavement, la présence des travailleurs migrants et la main-d'oeuvre autochtone».

Quatre indicateurs ont été retenus pour évaluer les impacts relatifs à ce critère:

1- La flexibilité d'implantation considère le potentiel de la filière, à ses différents stades, à s'adapter aux conditions qui prévalent dans le milieu d'implantation. La nécessité de déplacer des populations, l'obligation de détruire des milieux naturels susceptibles de nuire aux populations vivant dans cet environnement et le fait de modifier les habitudes des populations sont évalués dans cette catégorie.

2- Le niveau d'importation de la technologie considère l'impact de la venue d'une nouvelle technologie par le biais de la main-d'oeuvre spécialisée nécessaire à son implantation (ingénieurs, chimistes, physiciens, etc.). Plus la technologie énergétique utilisée sera sophistiquée et plus l'importance relative de cette main-d'oeuvre sera nécessaire, plus la différence sera marquée entre les deux cultures.

3- La durée du projet considère le temps de contact entre les populations isolées et la main-d'oeuvre extérieure nécessaire à la réalisation d'un projet.

4- La compatibilité avec le mode de vie traditionnel considère l'impact de l'ensemble des autres activités reliées à une filière énergétique sur la modification du système de valeurs traditionnel.

4.3.4.2 Analyse de l'impact

Le tableau 4.14 présente une synthèse des évaluations obtenues pour les quatre indicateurs retenus pour l'analyse du critère modification du mode de vie. L'extraction des combustibles fossiles et de l'uranium de même que l'exploitation des centrales hydro-électriques et géothermiques ne permettent pas de flexibilité en ce qui concerne le site d'implantation. Ces installations doivent être implantées là où se trouvent les ressources et les populations locales doivent alors être déplacées. Les filières du charbon, du pétrole, du gaz naturel, de l'uranium et de l'hydro-électricité avec réservoir se sont donc vues attribuer une cote d'impact majeur à la phase construction et intrants en raison de ce manque de flexibilité d'implantation et aussi parce que toutes ces filières présentent un ou plusieurs autres impacts majeurs par rapport aux autres indicateurs. A la phase d'exploitation, seule la filière nucléaire a reçu une cote d'impact majeur. La filière marémotrice qui a été évaluée globalement (sans distinction entre les phases) obtient également une cote d'impact majeur.

Les autres filières, à l'exception de celles du chauffage domestique au bois et de l'éolienne décentralisée, reçoivent une cote d'impact moyen habituellement à cause surtout du niveau d'importation de technologie.

4.3.4.3 Classement des filières

Les derniers rangs ont été attribués aux filières de l'uranium et de l'hydro-électricité avec réservoir parce que ces deux filières présentent des impacts majeurs pour plusieurs des critères considérés spécialement à la phase construction et intrants mais aussi à la phase d'exploitation active. La ressource doit être extraite ou exploitée là où elle se trouve, le niveau d'importation de technologie est important, la durée des projets est longue et la compatibilité avec le mode de vie traditionnel est très faible. De plus, pour la filière nucléaire, un large périmètre de sécurité à tous les stades d'utilisation doit être respecté et peut ainsi intervenir avec le déplacement des personnes. Viennent ensuite les filières du charbon, des centrales thermiques au pétrole et au gaz et la filière marémotrice du fait que pour ces filières, à l'exception de la filière marémotrice, l'extraction est localisée à des endroits précis, que le traitement de la matière première nécessite une main d'oeuvre importante et de lourdes infrastructures peu compatibles avec le mode de vie de telles populations. Dans le cas de la filière marémotrice la flexibilité d'implantation est également limitée, la compatibilité avec le mode de vie traditionnel est faible et le niveau d'importation de technologie est important. Toutes ces filières présentent donc plusieurs impacts majeurs ce qui les démarquent clairement des autres filières qui les précèdent au classement.

Tableau 4.14 Indices d'évaluation pour la modification du mode de vie.

Évaluation globale de l'impact de 1 à 3 (faible à fort).	Charbon		Pétrole		Gaz Naturel		Ura-nium	Biomasse				Hydraulique		Solaire		Éolien		Géother-mique		Marée-moteur
	Électricité (Centrale thermique)	Chauffage et métallurgie	Électricité (Centrale thermique)	Chauffage et transport	Électricité (Centrale thermique)	Chauffage et transport	Électricité (Centrale nucléaire)	Électricité (Centrale thermique bois et tourbe)	Chauffage domestique (bois)	Déchets (Incinérateur)	Combustible de substitution	Centrale avec réservoir	Centrale au fil de l'eau	Héliothermique	Photovoltaïque	Centralisé	Décentralisé	Classique	Circuit Fermé	Électricité
Flexibilité d'implantation (1)	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	1 1		1	1	3 3	3 3	1	1	2	1	3	2	3
Niveau d'importation de technologie	2 2	2 2	3 2	3 1	3 2	3 1	3 3	1 2		2	2	3 2	2 2	2	2	2	2	3	3	3
Durée du projet (2)	2 2	2 2	2 2	2 1	2 2	2 1	2 3	1 1		2	2	3 2	2 2	1	1	1	1	2	2	2
Compatibilité avec le mode de vie traditionnel	3 2	3 2	3 2	3 1	3 2	3 1	3 3	1 2		2	2	3 2	2 2	2	2	1	1	1	1	3
Évaluation finale	**3 2**	**3 2**	**3 2**	**3 1**	**3 2**	**3 1**	**3 3**	**1 2**		**2**	**2**	**3 2**	**2 2**	**2**	**2**	**2**	**1**	**2**	**2**	**3**

(1) On inclut dans cette section les déplacements de population.
(2) Durée du projet nécessitant un apport de main d'oeuvre extérieur.

Les premiers rangs sont occupés par la filière du chauffage domestique au bois qui pourrait pratiquement être considérée comme ne présentant pas d'impact significatif et par les filières éoliennes et solaires, en raison entre autre de leur flexibilité d'implantation.

4.4 IMPACTS SPÉCIFIQUES

4.4.1 *Pollution de l'air ambiant*

4.4.1.1 Description de l'impact et choix des indicateurs

Ce critère de la pollution de l'air ambiant comprend l'ensemble des divers polluants de l'atmosphère ce qui inclut principalement les éléments précurseurs du smog urbain et l'air vicié des immeubles. L'ensemble de ces divers polluants pourrait être subdivisé en deux grands types de contaminants. Tout d'abord, nous pouvons retenir les polluants atmosphériques «classiques» comme les oxydes de soufre (SO_x), les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatils (COV), le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures et les particules. Ce premier type de contaminants est grandement lié à l'utilisation de l'énergie et plusieurs d'entre eux. les COV et les NOx en particulier, constituent des précurseurs de l'accumulation d'ozone troposphérique (O_3) et de nitrate de peroxyacétyl, principaux éléments du smog urbain. Les principales conséquences de l'ozone troposphérique sont la réduction de la croissance de la végétation, l'oxydation accélérée des matériaux et les incidences sur les maladies respiratoires, principalement l'asthme. Le second type de contaminants que l'on pourrait qualifier de polluants atmosphériques toxiques comprend le plomb, le cadmium, le mercure et éventuellement les HAP. L'évaluation de ce critère exclut les émissions de SO_2 et de NO_x qui ont déjà été retenues comme indicateurs des précipitations acides et retient plutôt les quatre indicateurs suivants: les émissions de particules, les émissions de CO, les émissions d'hydrocarbures totaux et finalement les facteurs d'émissions de COV. Le tableau 4.15 présente les valeurs de ce dernier indicateur.

Tableau 4.15 Facteurs d'émission de composés organiques volatiles (COV).

	RÉSIDENTIEL	COMMERCIAL	INDUSTRIEL	TRANSPORT
énergies renouvelables (excluant le bois)	56,70	56,70		
gaz naturel	2,22	2,22	1,16	
propane-transport	2,22	2,22	1,11	
GPL	2,22	2,22	1,11	
essence pour moteur				(1)
kérosène	2,26	1,06	0,64	
essence d'aviation				67,70
carburéacteur				63,20
mazout léger	2,20	1,04	0,62	
diesel	179,00	100,00	88,20	(1)
ferroviaire				69,80
maritime				392,00
mazout lourd	3,35	3,35	2,88	363,00
coke de pétrole			1,51	
produit pétroliers - utilisation non-énergétiques			0,00	
produit pétroliers - usage propre			1,24	
bois et déchets de bois	1169,00		56,70	
liquer de pâte (industrie)			56,70	
chabon	180,00	180,00	1,45	
coke et gaz de cokéfaction			1,38	

(1) Données variables selon le type de véhicule.

Source: Tableau adapté de ONE, 1991.

4.4.1.2 Analyse de l'impact

Le tableau 4.16 présente une synthèse des évaluations qui ont été effectuées en se basant d'une part, sur les facteurs d'émissions de COV et d'autre part, sur les émissions canadiennes de chacune des filières pour les trois autres indicateurs. On retrouvera les autres polluants atmosphériques à titre d'information sur les différentes fiches d'impact. L'évaluation finale obtenue au tableau 4.16. pour les filières du charbon (chauffage et métallurgie, phase d'exploitation), du pétrole (électricité, phase d'exploitation), du gaz naturel (chauffage, phase d'exploitation) et de la biomasse (électricité, phase d'exploitation) se base sur les facteurs d'émissions de COV.et de données qualitatives pour les autres indicateurs (voir fiches d'impact correspondantes).

La pollution de l'air ambiant correspond de nouveau à l'utilisation des combustibles fossiles de même qu'à l'utilisation de la biomasse. Ces impacts se retrouvent aussi bien à la phase construction et intrants qu'à la phase d'exploitation de la ressource. Un impact majeur a été attribué pour l'utilisation du pétrole dans le chauffage et surtout le transport pour lequel les émissions sont de loin supérieures à toutes les autres filières en ce qui concerne le CO, les HCT et les COV. L'utilisation de la biomasse pour le chauffage domestique a également été cotée impact majeur en raison des fortes quantités émises pour les quatre indicateurs retenus. L'ensemble de ces impacts est valable tant pour la qualité de l'air extérieur que pour l'air intérieur. Sur ce dernier point, les appareils de chauffage (pétrole) représentent une source importante d'émissions de CO, de NO_x (non retenus dans cette analyse) et de particules. Les filières énergétiques qui ne sont pas analysées au tableau 4.16. ne présentent pas d'impact significatif sur la pollution de l'air ambiant.

Tableau 4.16 Indices d'évaluation pour la qualité de l'air ambiant.

	PARTICULES	CO MONOXYDE DE CARBONE	HCT HYDROCARBURES TOTAUX	COV COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS	ÉVALUATION FINALE
Charbon					
C	3 (166 522)[1]	1 (49)	3 (261 542)	1 (2)	2
E-électricité	3 (230 000)	1 (47 000)	1 (3 000)	1 (2 300)	1
E-autres	n.d.	n.d.	n.d.	3	2[2]
Pétrole					
C	2 (10 229)	2 (125 024)	2 (96 996)	2 (26 374)	2
E-électricité	n.d.	n.d.	n.d.	1	1[2]
E-transport	2 (92 394)	3 (5 955 066)	3 (709 255)	3 (638 329)	3
Gaz naturel					
C	1 (724)	n.d.	1 (9 073)	1 (1 988)	1
E-électricité	1 (362)	1 (25 892)	1 (43 075)	1 (4 436)	1
E-chauffage	n.d.	n.d.	n.d.	1	1[2]
Biomasse					
E-électricité	n.d.	n.d.	n.d.	2	2[2]
E-chauffage domestique	3 (155 919)	3 (624 212)	2 (108 023)	3 (107 866)	3
E-déchets	1 (3 410)	1 (10 715)	1 (30 109)	2 (6 020)	1

n.d.= non déterminé.
C= intrants, E= exploitation de la ressource
[1]Émissions canadiennes (1985) en tonnes métriques.
[2]Déterminé à l'aide du facteur d'émission du COV et de données qualitatives.
Sources: Données tirées de: Gouvernement du Canada, 1991, ONE, 1991 et AIE/IEA, 1990.

4.4.1.3 Classement des filières

La filière du chauffage et transport du pétrole occupe le dernier rang en raison des fortes émissions pour les quatre indicateurs étudiés; en particulier, les émissions de CO sont de loin les plus importantes. La filière du chauffage domestique se classe au 19ième rang dû au fait de ses émissions majeures pour les quatre indicateurs. Viennent ensuite les filières du charbon, du pétrole (centrale thermique) et de la biomasse (centrale thermique) qui présentent toutes des impacts qualifiés de moyen pour au moins l'une des phases du cycle d'utilisation de la ressource. En outre, la combustion du charbon entraîne des émissions appréciables d'éléments en trace (OCDE, 1985).

Les filières des déchets, des combustibles de substitution, du gaz naturel et de la géothermie occupent les rangs 14 à 9 en raison d'impacts faibles pour au moins une des phases du cycle d'utilisation. Les huit autres filières ne présentent pas d'impact significatif sur ce critère et occupent donc conjointement le premier rang.

4.4.2 *Pollution des eaux*

4.4.2.1 Description de l'impact et choix des indicateurs

Le critère de pollution des eaux concerne autant les écosystèmes aquatiques dulcicoles que les océans et comprend l'ensemble des divers polluants pouvant être émis par les activités reliées au domaine énergétique: métaux lourds, produits chimiques, solides en suspension, hydrocarbures, etc. Ce critère inclut également les quantités considérables d'eau (autres que pour l'utilisation thermique) qui sont nécessaires à l'exploitation des ressources énergétiques puisque l'utilisation qui en est faite peut en changer la qualité. Aucun indicateur spécifique n'a été retenu pour l'analyse de ce critère.

4.4.2.2. Analyse de l'impact

Les impacts sur la qualité des eaux sont particulièrement importants lors de la première phase du cycle d'utilisation des ressources. Les procédés d'exploitation et de transformation des ressources fossiles brutes peuvent entraîner des contaminations de plusieurs types dues aux effluents et aux fuites, fuites qui peuvent aussi survenir pendant l'entreposage et le transport. Les quantités d'eau utilisées pour les différentes opérations sont également importantes, tout particulièrement dans le cas des filières du charbon. La libération de méthylmercure, la modification du régime thermique des eaux, l'accroissement de la turbidité par la mise en eau du réservoir et le jeu des marnages sont quelques uns des impacts attribuables à la filière hydraulique avec réservoir. Un impact majeur a donc été attribué à toutes ces filières lors de l'étape construction-intrants.

Les phases d'exploitation active du charbon et du pétrole ont également reçu un indice d'impact majeur en raison de la libération de nombreux contaminants dont les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans le premier cas et en tenant compte, dans le second, de la libération de composés de plomb alkylé et les

vidanges de produits pétroliers. Un impact majeur a également été attribué à la filière géothermique classique en raison de ses effluents contenant des saumures et plusieurs produits toxiques comme le benzène, l'arsenic et le mercure.

4.4.2.3. Classement des filières

En raison des grandes quantités d'eau utilisées et des nombreux contaminants émis, les filières du charbon occupent les deux derniers rangs tandis que la filière chauffage et transport du pétrole se classe au rang 18 principalement à cause de l'ensemble des contaminations issues directement ou indirectement des véhicules moteurs. Les centrales thermiques au pétrole, au gaz et au bois occupent conjointement le rang 15 et sont précédés au quatorzième rang de la filière nucléaire. Ces filières présentent pour la plupart un impact majeur à la phase construction et intrants et des impacts plus faibles pour les autres phases. Dans le cas de la filière hydraulique avec réservoir, elle occupe le rang 13 à cause de son impact majeur à la phase construction et intrants et de son impact minimal à la phase d'exploitation. De façon globale, toutes ces filières présentent au moins un impact majeur.

Les autres filières de la biomasse et celle du chauffage et transport du gaz naturel occupent les rangs 11 à 9; ces filières ne présentent pas d'impact majeur, sauf celle du gaz naturel; mais plutôt des impacts moyens et faibles aux différents stades d'utilisation. La filière du gaz naturel se retrouve avec ce groupe parce qu'elle ne présente pas d'impact significatif aux stades de l'exploitation active et du rejet final. Les autres filières ne présentent qu'un impact moyen à l'un des stades ou que des impacts faibles. À noter que les filières éoliennes et héliothermique n'ont pas d'impact significatif et partagent le premier rang.

4.4.3 *Pollution du sol*

4.4.3.1 Description de l'impact et choix des indicateurs

La pollution du sol est un critère tout à fait similaire à celui de la pollution des eaux, seul le milieu récepteur étant différent. Il s'agit dans plusieurs cas de l'émission des mêmes polluants occasionnés par les mêmes activités énergétiques qui contaminent d'ailleurs parfois le sol avant d'atteindre le système aquatique. Comme pour le critère précédent, aucun indicateur spécifique n'a été retenu.

4.4.3.2 Analyse de l'impact

Comme dans le cas de la pollution des eaux, la phase construction et intrants des filières du charbon, du pétrole et de l'uranium présente un impact majeur en raison entre autres des résidus (spécialement dans le domaine minier), des rejets et des fuites de produits ou de contaminants en provenance des sites d'exploitation et d'entreposage. La phase d'exploitation active de la ressource, spécialement dans le cas de la filière chauffage et transport du pétrole, présente aussi un impact considéré majeur à cause entre autres des déversements de produits pétroliers et des fuites de réservoirs souterrains.

Contrairement au critère pollution de l'eau, les filières hydrauliques ne reçoivent pour la pollution du sol qu'un indice faible résultant spécialement de fuites de contaminants comme les BPC et de l'utilisation de phytocides. Cependant, ces mêmes impacts pourraient aussi être imputés à toutes les filières d'électricité puisqu'ils originent surtout des postes de transformation et des lignes de transmission.

4.4.3.3 Classement des filières

Même si les impacts associés à la pollution du sol sont relativement semblables à ceux de la pollution de l'eau, le classement des filières offre tout de même un certain nombre de différences importantes. Une des raisons de ces changements est attribuable au fait que dans le cas de la pollution des eaux, les quantités d'eau utilisées pour les opérations des diverses filières comptaient pour une part importante du classement. Cet impact sur la qualité de l'eau n'apparait plus au critère de la pollution du sol.

Le dernier rang est occupé par la filière chauffage et transport du pétrole. Cette filière présente un impact majeur autant à la phase de construction-intrants qu'à la phase de l'exploitation active. Dans ce dernier cas, ce sont les déversements de produits pétroliers reliés au domaine du transport qui sont la cause de cette évaluation. Les filières du charbon, celles du pétrole (centrale thermique) et du nucléaire viennent ensuite. Toutes ces filières présentent un impact majeur à la phase de la construction et des intrants et, à l'exception de la filière nucléaire, des impacts moyens ou faibles aux autres phases.

Toutes les filières précédentes présentaient des impacts majeurs pour au moins une des phases du cycle de la ressource. Les filières du gaz naturel et de la biomasse qui occupent les rangs 15 à 10 ne présentent que des impacts moyens ou, dans le cas de la filière des combustibles de substitution, faibles. Elles se démarquent ainsi clairement des précédentes quant à la gravité de l'impact. Cependant, c'est encore à la phase de construction et intrants que ces impacts se font majoritairement sentir, à l'exception de la filière des déchets pour laquelle les effets se situent à la phase d'exploitation et à celle du rejet final.

Les filières solaire photovoltaïque, éolienne centralisé et hydraulique ne présente qu'un impact faible pour une seule des phases du cycle de la ressource. Dans le cas des filières hydrauliques, la pollution du sol provient principalement des activités de chantier lors de la construction. Pour les deux autres filières, l'impact provient de la disposition des installations (solaire) ou de leur entretien (éolien).

Les cinq autres filières ne présentent pas d'impact significatifs.

4.4.4 *Pollution thermique*

4.4.4.1 Description de l'impact

Les phénomènes de pollution thermique ont été une préoccupation importante au cours des années 1970 mais, depuis, cet impact est souvent relégué au second plan. Il n'en demeure pas moins que les rejets thermiques de toutes sortes et les modifications locales des régimes de température occasionnées par les activités énergétiques affectent tous les milieux: eau, air et sol. En fait, la pollution thermique, c'est-à-dire l'apport de chaleur au milieu résultant d'une activité humaine, est totalement imputable à l'utilisation de l'énergie (Environnement Canada, 1980). Le rendement des centrales thermiques modernes est d'environ 40 %, le reste de l'énergie étant dissipé en chaleur et rejeté dans l'environnement. La chaleur rejetée dans l'eau a un impact considérable sur toutes les activités biologiques du milieu. Des changements de la diversité biologique, des modifications aux habitudes alimentaires et au processus de reproduction des poissons peuvent être observés. De plus, les cycles de la photosynthèse, les phénomènes d'eutrophisation et la dégradation des matières organiques sont touchés par la pollution thermique.

Les quantités d'eau prélevées pour assurer le fonctionnement des systèmes de refroidissement et les changements dans les régimes de température locale ont été retenus comme indicateurs de la pollution thermique.

4.4.4.2 Analyse de l'impact

Le tableau 4.17 présente la quantité de chaleur rejetée par unité de puissance (valeur arbitraire) pour certaines filières énergétiques et le tableau 4.18 donne un aperçu de la consommation d'eau nécessaire à l'exploitation des diverses ressources. En fait, les centrales utilisant un combustible fossile ont une efficacité variant entre 30 et 40 % et dans le cas des centrales nucléaires, les deux tiers de l'énergie calorifique générée par le réacteur doivent être rejetés dans l'environnement. Les quantités d'eau nécessaires au système de refroidissement sont donc extrêmement importantes. Ainsi, le secteur de l'énergie thermique utilisait en 1986 plus de la moitié des 42,2 milliards de mètres cubes d'eau prélevés au Canada par l'ensemble du secteur économique, ce qui inclut les municipalités, l'agriculture, la fabrication, l'exploitation minière et l'énergie thermique (Environnement Canada, 1991).

Tableau 4.17 Quantité de chaleur rejetée par unité de puissance produite pour différents types de centrales

TYPE DE CENTRALE	QUANTITÉ DE CHALEUR/UNITÉ DE PUISSANCE
Géothermique	4,4 - 9,0
Solaire-héliothermique	2,3
Nucléaire	2,0
Charbon- centrale électrique	1,7
Pétrole- centrale électrique	1,6
Cycle combiné	1,1

Source: Données tirées de DiPippo, 1991.

Tableau 4.18 Consommation d'eau pour l'exploitation de différentes filières.

TYPE DE CENTRALE	CONSOMMATION D'EAU (ACRE-PIED / KWH)
Charbon	1,52 à 2,36 x 10^{-6} (1)
Pétrole	0,86 x 10^{-6}
Gaz naturel	0,78 x 10^{-6}
Nucléaire	2,76 x 10^{-6}
Hydraulique- au fil de l'eau	0,066
Biomasse- Centrale au bois	8,40 x 10^{-6}
Solaire- Photovoltaïque	n.d. (2)
Solaire- Héliothermique	0,069 x 10^{-6}
Éolien	0

(1) Tout dépendant de la provenance du charbon
(2) Une consommation d'eau non déterminée est nécessaire pour le nettoyage périodique des plaques photovoltaïques.

Source: Données tirées de Ottinger et coll., 1990.

Toutes les filières avec centrales thermiques ont reçu un indice d'impact majeur en raison des énormes quantités d'eau utilisées pour les systèmes de refroidissement. Les filières chauffage et transport du gaz naturel, chauffage et métallurgie du charbon et combustibles de substitution ont reçu un impact moyen en raison de la pollution thermique en provenance des procédés industriels, des systèmes de chauffage ou des véhicules, selon les cas. La filière chauffage et transport du pétrole, a reçu un impact majeur en raison du dégagement de chaleur beaucoup plus important occasionné par les véhicules et la formation conséquente «d'îlots de chaleur» en milieu urbain. Un impact majeur a aussi été attribué aux filières géothermiques à cause de l'importante quantité de chaleur rejetée par unité de puissance produite (tableau 4.17).

Certaines filières affectent aussi le bilan thermique local mais selon une dynamique différente des filières précédentes. Il s'agit d'une part des grands réservoirs hydrauliques qui ont comme conséquence de diminuer les écarts de température du milieu environnant et d'autre part de la filière solaire héliothermique qui peut capter, dans le cas des centrales de grande puissance, jusqu'à 40 % de l'énergie solaire incidente et ainsi soustraire une portion importante de la chaleur au milieu ambiant.

4.4.4.3. Classement des filières

Les filières géothermiques, solaire héliothermique et nucléaire occupent les derniers rangs principalement à cause des quantités de chaleur rejetées par unité de puissance produite (tableau 4.17). La filière chauffage et transport du pétrole occupe le 16^{ième} rang en raison d'une part de sa contribution majeure à la formation des îlots de chaleur en milieu urbain résultant des véhicules moteurs. Toutes les filières avec centrales thermiques partagent le rang 11 en raison de quantités de chaleurs dégagées par unité de puissance produite similaires et de quantités d'eau nécessaires à leur exploitation d'un même ordre de grandeur, à l'exception de la filière au bois. La filière charbon et métallurgie occupe le rang 10 et s'assimile aisément aux précédentes à cause du dégagement de chaleur des procédés utilisés.

Viennent ensuite les filières du chauffage et transport du gaz naturel et des combustibles de substitution qui ne présentent plus qu'un impact moyen, comparativement aux impacts majeur des filières précédentes.

La filière hydraulique avec réservoir et la filière solaire photovoltaïque occupent les rangs 6 et 5 à cause des modifications qu'elles entraînent sur le climat local, modifications qui ne représentent qu'un impact mineur.

4.4.5 *Pollution radioactive*

4.4.5.1 Description de l'impact et choix des indicateurs

L'individu moyen est soumis à une radiation annuelle d'environ 100 mrem en provenance du milieu naturel et de 50 à 80 mrem de sources anthropiques. Le secteur énergétique n'est responsable que d'un faible pourcentage de ces émissions anthropiques (El-Hinnawi, 1981). Les effets des radiations sont multiples. Les plus importants sont l'altération et la destruction des cellules des organismes (effet somatique) et les modifications au bagage génétique des individus (effet génétique). Dans le premier cas, ce sont donc les individus exposés aux radiations qui sont directement affectés tandis que dans le second, les effets seront reportés chez les enfants des individus exposés. Les indicateurs retenus pour évaluer ce critère sont l'intensité et le type d'émissions radioactives, souvent mesurées en terme d'exposition de la part des travailleurs du domaine énergétique. La pollution radioactive affecte aussi l'ensemble des éléments des divers écosystèmes.

4.4.5.2 Analyse de l'impact

Le tableau 4.19 présente une évaluation des doses de rayonnement pour certaines filières énergétiques. Il est à noter que le charbon présente une radioexposition plus grande que le nucléaire et que les centrales géothermiques et celles alimentées à la tourbe émettent des doses similaires à celles, encore une fois, de la filière nucléaire. Nous avons tout de même attribué un impact majeur à la filière nucléaire en raison principalement des risques beaucoup plus importants que dans les autres filières, risques qui nécessitent la mise en place de mesures de sécurité très sévères.

L'extraction du charbon, du pétrole et du gaz naturel expose également les travailleurs à certaines radiations, plus importantes dans le cas du charbon (impact moyen) que pour les deux autres ressources (impact faible). Les procédés de combustion sont également responsables de faibles émissions et, en ce sens, toutes les filières utilisant un tel procédé ont reçu une cote d'impact mineur. Les filières géothermiques ont également un impact mineur à cause de l'émission de faibles quantités de radon et de bore.

Tableau 4.19 Estimations des doses collectives de radiation pour différentes centrales électriques.

COMBUSTIBLE	HOMME-SIEVERTS PAR GW-AN D'ÉLECTRICITÉ
Charbon	4,0
Nucléaire	2,5
Géothermique	2,0
Tourbe	2,0
Pétrole	0,5
Gaz naturel	0,03

Source: Données tirées de Association nucléaire canadienne, 1993.

4.4.5.3 Classement des filières

Le classement des filières pour ce critère montre donc la filière nucléaire au dernier rang principalement à cause des risques élevés à toutes les étapes du cycle de la ressource. Viennent ensuite les filières au charbon qui présentent un impact moyen et celles du pétrole et du gaz qui présentent des impacts faibles aux phases construction et intrants et exploitation. Les autres filières utilisant un combustible occupent le rang 11 et les filières géothermiques le rang 9. Les huit autres filières n'ont pas d'impact significatif et partagent le premier rang.

Exception faite de la filière nucléaire pour laquelle les risques d'accidents (non-catastrophiques) sont à prendre en considération, les autres filières présentent, somme toute, peu d'impact en ce qui concerne ce critère environnemental.

4.4.6 *Pollution sonore et olfactive*

4.4.6.1 Description de l'impact

Le bruit, particulièrement en milieu urbain, et les odeurs ne sont pas des préoccupations nouvelles même s'ils ne sont parfois considérés que comme des nuisances. Il est cependant facile de constater l'existence d'une multitude de bruits et d'odeurs qui contribuent, à des degrés divers, à la dégradation du milieu de vie. La perception du bruit (qui lui est mesurable) et des odeurs est souvent subjective, donc variable selon la personne, son état de santé général et ses activités au moment où le bruit est produit ou les odeurs dégagées. Il n'en demeure pas moins que les sources de bruit et d'odeur sont nombreuses et souvent le résultat des activités énergétiques. Aucun indicateur spécifique n'a été retenu pour l'analyse de ce critère. Nous avons cependant tenu compte de mesures en Db(A) lorsqu'elles étaient disponibles pour certaines activités ainsi que de la fréquence d'émissions de certains bruits (continue, ponctuelle ou périodique). Par contre, très peu de données sont disponibles pour analyser la pollution olfactive.

4.4.6.2 Analyse de l'impact

Toutes les filières énergétiques des combustibles fossiles et celle de l'hydroélectricité avec réservoir présentent un impact considéré majeur durant la première étape d'exploitation de la ressource, c'est-à-dire la phase de construction-intrants. L'exploitation des mines et des gisements de pétrole et de gaz naturel tout comme la construction des grands barrages produisent généralement beaucoup de bruit: véhicules lourds, transport, excavation, explosion, etc.

Le transport routier est également considéré comme ayant un impact majeur surtout en ce qui concerne le bruit; la filière chauffage et transport du pétrole s'est donc vue attribuer un impact majeur pour cette raison.

Les autres filières nécessitant des travaux de construction important ou participant aux filières du transport ont reçu une cote d'impact moyen.

Les parcs d'éoliennes, le géothermique et l'hydraulique produisent, en période d'exploitation active, des bruits de fond constants qui peuvent à l'occasion devenir incommodants. Ces filières ont reçu une cote d'impact mineur.

Le dégagement d'odeurs est occasionné principalement par le transport, la transformation des ressources et l'exploitation des mines. Les filières impliquées ont habituellement reçu un indice d'impact moyen ou faible qui pouvait cependant devenir plus important si elles contribuaient également à la pollution sonore. La combustion des déchets produit également des odeurs souvent nauséabondes et cette filière a donc été considérée comme ayant un impact majeur.

4.4.6.3 Classement des filières

La filière chauffage et transport du pétrole s'est vue attribuée le dernier rang en raison des bruits produits par les véhicules moteurs et surtout à cause de l'omniprésence de ces bruits dans l'environnement. Les filières du charbon et celle du pétrole (centrale thermique) occupent le rang précédent puisqu'elles génèrent des bruits et/ou des odeurs considérés comme ayant un impact moyen lors de la phase d'exploitation, en plus bien sûr des impacts majeurs lors de la phase de construction. Les rangs 16 à 10 sont occupés par les filières présentant un impact majeur à la phase de construction et un impact faible ou nul aux autres phases et par les filières qui ont reçu des impacts moyens aux phases de construction et d'exploitation. Les filières de l'uranium, du gaz naturel, de la biomasse (à l'exception du chauffage domestique) et de l'hydraulique avec réservoir occupent ces rangs.

Les autres filières qui occupent les rangs 1 à 9 présentent peu d'impact relativement à ce critère.

4.4.7 *Santé et sécurité*

4.4.7.1 Description de l'impact et choix des indicateurs

Ce critère englobe les dangers et les risques d'accidents pour les travailleurs et la population en général qui peuvent résulter des activités énergétiques (à l'exception des risques de catastrophes). Ces problèmes sont liés avant tout à la sûreté des technologies utilisées et la mise en place de mesures réglementaires encadre déjà un grand nombre d'activités. Trois indicateurs ont été retenus pour ce critère: les risques d'accidents et de décès pour les travailleurs et le public (nous avons aussi tenu compte des risques de maladies ou d'infections occasionnés par les émissions), la maturité technique des installations et le degré de sécurité nécessaire au bon fonctionnement des installations.

4.4.7.2 Analyse de l'impact

Le tableau 4.20 présente l'évaluation globale obtenue pour chacune des filières tandis que le tableau 4.21 résume les risques de décès associés à certaines filières énergétiques.

Les risques d'accident dans les mines de charbon et d'uranium et lors des forages de puits de pétrole sont très élevés et correspondent à un impact majeur. De plus, ces filières accroissent le risque d'affections mortelles. Le charbon, par exemple, serait responsable pour 132 000 jours de travail perdu par GWh produits tandis que le pétrole en assumerait 45 000 (Novegno et Assulai, 1987).

La maturité technique des filières éoliennes et solaires est encore à démontrer. Ces filières entraînent un très grand nombre d'accidents et de décès probablement à cause du manque de normes et de procédures de sécurité et aussi en raison du grand nombre d'éléments à mettre en place et à entretenir. En 1984, le nombre de

décès estimé par MW année était respectivement de 1,5 et 0,1 pour les filières solaire et éolienne.

En ce qui concerne le niveau de sécurité relatif à l'exploitation de chaque ressource, la filière nucléaire est celle qui nécessite les mesures les plus sévères pour pallier aux risques d'accidents. Les centrales thermiques, les incinérateurs et les filières géothermiques nécessitent également des normes élevées.

Tableau 4.20 Indices d'évaluation de la santé et sécurité.

	Charbon	Pétrole (électricité)	Gaz naturel	Uranium	Biomasse-déchets	Biomasse-comb. de substitution	Hydraulique (avec réservoir)	Solaire et éolien	Géothermique
Degré de sécurité nécessaire au bon fonctionnement des installations	3	3	2	3	3	2	2	1	3
Maturité technique des installations	2	2	2	3	2	2	1	2	2
Risques d'accidents et de décès	3	3	2	1	2	2	2	3	2
Évaluation finale	**3**	**3**	**2**	**3**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**

Source: Données tirées de Münchener Rückuersicherungs - Gesellschaft, 1990.

Tableau 4.21 Résumé des taux de décès (décès/1 000 MW année) pour les filières à combustion fossile pour la production électrique.

SOURCE	TRAVAILLEURS		PUBLIC	
	IMMÉDIAT	DIFFÉRÉ	IMMÉDIAT[a]	DIFFÉRÉ
Charbon	mines souterraines: 0,4-3,2 mines en surface: 0,16-1,7	mines souterraines: 0,13-1,1 mines en surface: 0,02-0,15	0,1-1,0	exploitation de la centrale électrique: 2,0-6,0
Pétrole	extraction terrestre: 0,20-0,85 extraction en mer: 0,22-1,35		0,001-0,1	exploitation de la centrale électrique: 2,0-6,0
Gaz	extraction terrestre: 0,10-0,5 extraction en mer: 0,17-1,0		0,2	exploitation de la centrale électrique: 0,004-0,2

Note: Sauf indication contraire, le cycle de production comprend, en sus de la production d'électricité proprement dite, l'extraction, le traitement, le transport et l'entreposage du combustible ainsi que la construction de la centrale électrique et le traitement des déchets. Les risques d'accident graves n'ont pas été considérés dans ce tableau.

[a]S'applique au transport qui est l'élément du cycle qui contribue le plus au risque

Sources: Données tirées de Senior Expert Symposium on Electricity and the Environment, Comparative Environmental and Health Effects of Different Energy Systems for Electricity Generation, Helsinki, Key Issues Paper no 3, April 1991 et Hydro Québec, citées par Hydro-Québec, 1992a.

4.4.7.3 Classement des filières

Les filières du charbon, du pétrole et de l'uranium occupent les derniers rangs en raison de leurs impacts majeurs pour au moins deux des trois indicateurs retenus. Viennent ensuite les filières du gaz naturel et celle des centrales thermiques de la biomasse qui partagent des impacts considérés comme moyen. En plus des mesures de sécurité nécessaires dans toutes les centrales thermiques, ces deux filières présentent aussi des risques d'accidents importants au niveau de l'extraction et du transport dans le cas du gaz naturel de même que lors des opérations forestières en ce qui concerne la filière au bois. Les filières géothermiques et la filière hydraulique avec réservoir occupent les rangs 11 et 10 et présentent des impacts moyens comme dans le cas du gaz naturel et du bois. Toujours avec un impact moyen, les filières éoliennes et solaires qui présentent des risques d'accidents et de décès importants et les autres filières de la biomasse (sauf chauffage domestiques) occupent les rangs 6 et 5.

De façon globale, la plupart des filières énergétiques présentent des impacts majeurs ou moyens en ce qui concerne la santé et la sécurité.

Matrice des impacts potentiels

C: Construction et intrants
E: Période d'exploitation
R: Rejet final

Importance: • ◎ ◎ (faible à fort)

	CRITÈRES ENVIRONNEMENTAUX		Charbon			Pétrole			Gaz Naturel			Uranium	Biomasse				Hydraulique		Solaire		Éolien		Géothermique		Marémoteur	
			Électricité (Centrale thermique)		Chauffage et métallurgie	Électricité (Centrale thermique)		Chauffage et transport	Électricité (Centrale thermique)		Chauffage et transport	Électricité (Centrale nucléaire)	Électricité (Centrale thermique bois et tourbe)		Chauffage domestique (bois)	Déchets (Incinérateur)	Combustible de substitution	Centrale avec réservoir	Centrale au fil de l'eau	Héliothermique	Photovoltaïque	Centralisé	Décentralisé	Classique	Circuit Fermé	Électricité	
			C E R			C E R			C E R			C E R	C E R		C E R	C E R	C E R	C E R	C E R	C E R	C E R	C E R	C E R	C E R	C E R	C E R	
			1 2 3		4 5 6	7 8 9		10 11 12	13 14 15		16 17 18	19 20 21	22 23 24		25 26 27	28 29 30	31 32 33	34 35 36	37 38 39	40 41 42	43 44 45	46 47 48	49 50 51	52 53 54	55 56 57	58 59 60	
IMPACTS ÉNERGÉTIQUES	Qualité de la ressource	A	E		E	E		E	E		E	E	R		R	R	R	D	D	D	D	D	D	R	R	D	
IMPACTS GLOBAUX	Changement climatique global	B	◎		◎	◎		◎	◎		◎	◦	◎		◎	◎	◉	•	◦	◦	◦	◦	◦	*	*	◦	(1)
	Déperdition de la couche d'ozone	C	◎		◎	◎		◎	◉		◉	◦	◎		◎	◉	◉	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	(1)
	Précipitation acide	D	◉ ◎ ◦		◉ ◎ ◦	• ◎ ◦		• ◎ ◦	◎ • ◦		◎ • ◦	• ◦ ◦	◦ ◎ ◦		• • ◦	◉ ◉ ◦	◉ * ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ * ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	
	Risque de catastrophe	E	◎		◎	◎		◎	◎		◉	◎	◉		◦	◉	•	◎	•	◦	◦	◦	◦	◎	◎	•	(1)
IMPACTS SUR LE PATRIMOINE MONDIAL	Modification d'écosystème	F	◎ ◦ ◦		◎ ◦ ◦	◉ ◦ ◦		◉ ◦ ◦	◉ ◦ ◦		◉ ◦ ◦	◎ ◦ ◦	◉ ◦ ◦		◉ ◦ ◦	• ◦ ◦	◉ ◦ ◦	◎ *	• ◉ ◦	• • ◦	• • ◦	• • ◦	◦ ◦ ◦	• ◦ ◦	• ◦ ◦	• • ◦	(2)
	Modification de l'aménagement	G	◎ • ◦		◎ • ◦	◉ • ◦		◎ • ◦	◉ • ◦		◉ • ◦	◎ • ◦	◎ • ◦		◉ • ◦	• • ◦	◉ • ◦	◎ • ◦	• ◦ ◦	◎ • ◦	◎ • ◦	◉ • ◦	◦ ◦ ◦	• ◦ ◦	• • ◦	• • ◦	
	Modification du paysage	H	◎		◎	◎		◎	◉		◉	◎	◎		◉	◉	◉	◎	◉	◉	◉	◉	•	◎	◎	◎	(1)
	Modification du mode de vie	I	◎ ◉ ◦		◎ ◉ ◦	◎ ◉ ◦		◎ • ◦	◎ ◉ ◦		◎ • ◦	◎ ◎ ◦	• ◉ ◦		◦ • ◦	◦ ◉ ◦	◦ ◉ ◦	◎ ◉ ◦	◉ ◉ ◦	◦ ◉ ◦	◦ ◉ ◦	◦ ◉ ◦	◦ • ◦	◦ ◉ ◦	◦ ◉ ◦	◦ ◎ ◦	
IMPACTS SPÉCIFIQUES	Pollution de l'air ambiant	J	◉ ◎ ◦		◉ ◎ ◦	◉ • ◦		◉ ◎ •	• • ◦		• • ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◉ ◦		◦ ◎ ◦	• • ◦	• • ◦	◦ • ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ • ◦	◦ • ◦	◦ ◦ ◦	
	Pollution des eaux	K	◎ ◉ •		◎ ◉ •	◎ ◉ ◦		◎ ◎ ◦	◉ ◉ ◦		◉ ◦ ◦	◉ ◦ •	◉ ◉ •		◉ ◦ •	• • •	◉ ◦ ◦	◎ • ◦	• • ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ •	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◉ ◦	◦ ◎ ◦	• • ◦	
	Pollution du sol	L	◎ ◉ •		◎ ◉ •	◎ ◉ ◦		◎ ◎ ◦	◉ • ◦		◉ • ◦	◉ ◦ ◦	◉ ◦ ◦		◉ ◦ ◦	◦ ◉ ◉	• • ◦	• ◦ ◦	• ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ •	◦ • ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	
	Pollution thermique	M	◎		◉	◎		◎	◎		◉	◎	◎		•	◎	◉	•	◦	◉	•	◦	◦	◎	◎	◦	(1)
	Pollution radioactive	N	◉ ◎ ◦		◉ ◎ ◦	• • ◦		• • ◦	• • ◦		• • ◦	◎ ◉ ◎	◦ • ◦		◦ ◦ ◦	◦ • ◦	◦ • ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◦ ◦	◦ ◉ ◦	◦ • ◦	◦ ◦ ◦	
	Pollution sonore et olfactive	O	◎ ◉ ◦		◎ ◉ ◦	◎ ◉ ◦		◎ ◎ ◦	◉ ◉ ◦		◉ ◉ ◦	◎ • ◦	◉ ◉ ◦		◉ ◦ ◦	◦ ◎ ◦	◉ ◉ ◦	◎ • ◦	◉ • ◦	• ◦ ◦	• ◦ ◦	• ◦ ◦	◦ • ◦	◉ • ◦	• • ◦	◎ • ◦	
	Santé et sécurité	P	◎		◎	◎		*	◉		◉	◎	◉		•	◉	◉	◉	•	◉	◉	◉	◦	◉	◉	•	(1)

* Impact potentiel mais non quantifié par manque de données.
◦ Aucun impact.
(1) Évaluation globale, tous les stades d'utilisation confondus
(2) Pour l'exploitation minière il y a une différence quant à l'impact s'il s'agit d'une exploitation à ciel ouvert ou souterraine.

Matrice comparative des diverses filières énergétiques

Rang comparatif de 1 à 20

			Charbon		Pétrole		Gaz Naturel		Ura-nium	Biomasse				Hydraulique		Solaire		Éolien		Géothermique		Maré-moteur
			Électricité (Centrale thermique)	Chauffage et métallurgie	Électricité (Centrale thermique)	Chauffage et transport	Électricité (Centrale thermique)	Chauffage et transport	Électricité (Centrale nucléaire)	Électricité (Centrale thermique bois et tourbe)	Chauffage domestique (bois)	Déchets (Incinérateur)	Combustible de substitution	Centrale avec réservoir	Centrale au fil de l'eau	Héliothermique	Photovoltaïque	Centralisé	Décentralisé	Classique	Circuit Fermé	Électricité
	CRITÈRES ENVIRONNEMENTAUX																					
IMPACTS ÉNERGÉTIQUES	Qualité de la ressource	A	E	E	E	E	E	E	E	R	R	R	R	D	D	D	D	D	D	R	R	D
IMPACTS GLOBAUX	Changement climatique global	B	20	19	16	15	11	12	1	18	17	14	13	10	1	1	1	1	1	1	1	1
	Déperdition de la couche d'ozone	C	18	19	17	20	13	14	1	15	16	11	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Précipitation acide	D	20	19	18	17	15	16	11	14	12	13	9	1	1	1	1	1	1	9	1	1
	Risque de catastrophe	E	15	14	15	19	15	13	20	12	1	11	10	18	7	1	1	1	1	9	8	6
IMPACTS SUR LE PATRIMOINE MONDIAL	Modification d'écosystème	F	18	18	12	12	10	10	17	15	16	2	14	20	3	9	8	7	1	5	5	4
	Modification de l'aménagement	G	18	18	16	16	8	8	20	10	5	4	10	15	3	12	12	12	1	6	6	2
	Modification du paysage	H	18	18	15	16	10	9	17	13	12	14	11	20	3	4	4	6	1	7	7	2
	Modification du mode de vie	I	17	17	15	12	15	12	20	10	1	9	8	19	11	3	3	3	1	6	6	14
IMPACTS SPÉCIFIQUES	Pollution de l'air ambiant	J	17	18	15	20	11	12	1	16	19	14	12	1	1	1	1	1	1	10	9	1
	Pollution des eaux	K	19	20	15	18	15	9	14	15	10	11	11	13	5	1	4	1	1	7	7	5
	Pollution du sol	L	18	18	17	20	13	13	16	12	10	15	10	7	6	1	9	8	1	1	1	1
	Pollution thermique	M	11	10	11	16	11	8	17	11	7	11	8	6	1	18	5	1	1	20	19	1
	Pollution radioactive	N	18	18	14	14	14	14	20	10	1	10	10	1	1	1	1	1	1	13	9	1
	Pollution sonore et olfactive	O	17	17	17	20	11	11	16	11	9	11	11	10	5	1	1	4	1	7	7	5
	Santé et sécurité	P	20	19	16	16	14	14	16	13	2	6	6	10	3	6	6	5	1	11	11	3

5. ÉVALUATION GLOBALE DES FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES

5. ÉVALUATION GLOBALE DES FILIERES ÉNERGÉTIQUES

L'évaluation globale des filières énergétiques a d'abord été effectuée en fonction des quatre thèmes d'analyse qui traitent respectivement des impacts énergétiques, des impacts globaux, des impacts sur le patrimoine mondial et des impacts spécifiques. Pour chacun de ces thèmes, un indice d'impact (majeur, moyen, faible ou nul) a été attribué à chacune des filières en tenant compte d'une part des impacts de chacune des filières pour les différents critères et d'autre part du poids relatif de chacun de ces critères environnementaux. Le tableau 5.1 présente ces résultats en faisant ressortir l'importance relative des diverses filières dans le bilan énergétique québécois de même que le poids relatif des quatre thèmes d'analyse. Les indices d'impacts présentés au tableau 5.1 s'appliquent à des filières «généralisées»; les particularités du contexte énergétique québécois sont présentées dans le texte qui suit.

Finalement, une évaluation globale des principales filières est présentée en tenant compte cette fois de la nature hiérarchisée des différents thèmes d'analyse.

5.1 IMPACTS ÉNERGÉTIQUES

Ce thème d'analyse ne compte qu'un seul critère environnemental, celui de la durabilité de la ressource qui est exprimée en fonction du flux d'énergie que procurent les différentes ressources. Dans une perspective de développement durable, en vue d'assurer le développement humain et la sauvegarde de l'environnement à long terme, les filières hydrauliques, solaires, éoliennes et marémotrice devraient être privilégiées puisque le flux d'énergie qu'elles fournissent est inépuisable. Cette continuité dans le flux d'énergie ne doit cependant pas être confondue avec la quantité d'énergie qui peut être exploitée, cette dernière ayant des limites physiques déterminées. Dans un contexte québécois, seule la filière marémotrice présente un potentiel relativement faible. Les filières hydrauliques, solaires et éoliennes pourraient être utilisées avec bénéfice. Au Québec, les filières hydrauliques ont été largement exploitées et constituent maintenant un élément majeur du bilan énergétique. De plus, le potentiel de développement y est encore important. Par contre, l'exploitation des filières éoliennes et solaires peut être considérée actuellement comme pratiquement nulle.

Les filières de la biomasse (à l'exception de la tourbe) et celles de la géothermie regroupent les ressources renouvelables. Dans ce cas, le flux d'énergie peut être continu et quasi inépuisable à la condition que les prélèvements soient effectués en tenant compte du cycle de renouvellement de la ressource. Au Québec, le potentiel géothermique est limité mais les ressources en provenance de la biomasse

Tableau 5.1 Évaluation globale des impacts environnementaux des différentes filières énergétiques.

RESSOURCES	FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES	THÈMES D'ANALYSE			
Charbon	Électricité - centrale thermique	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur
	Chauffage et métallurgie	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur
Pétrole	Électricité - centrale thermique	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur
	Chauffage et transport	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur
Gaz naturel	Électricité - centrale thermique	Majeur	Majeur	Moyen	Moyen
	Chauffage et transport	Majeur	Majeur	Moyen	Moyen
Uranium	Électricité - centrale thermique	Majeur	Moyen	Majeur	Majeur
Biomasse	Électricité - centrale thermique	Moyen	Majeur	Moyen	Moyen
	Chauffage domestique	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Déchets (incinérateur)	Faible	Moyen	Faible	Moyen
	Combustible de substitution	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Hydraulique	Avec réservoir	Nul	Moyen	Majeur	Moyen
	Au fil de l'eau	Nul	Faible	Moyen	Faible
Solaire	Héliothermique	Nul	Nul	Moyen	Faible
	Photovoltaïque	Nul	Nul	Moyen	Faible
Éolien	Centralisé	Nul	Nul	Faible	Faible
	Décentralisé	Nul	Nul	Faible	Faible
Géothermique	Classique	Faible	Faible	Faible	Moyen
	Circuit fermé	Faible	Faible	Faible	Moyen
Marémoteur	Électricité	Nul	Faible	Faible	Faible

Filières d'importance majeure dans le bilan énergétique du Québec

Filière d'importance mineure dans le bilan énergétique du Québec

Filière d'importance négligeable dans le bilan énergétique du Québec

(forestière, agricole ou urbaine) sont ou peuvent être disponibles en abondance. Cependant, ces ressources, spécialement celles de la foresterie et de l'agriculture, peuvent aussi être utilisées à des fins autres qu'énergétiques. L'utilisation actuelle au Québec de la biomasse à des fins énergétiques se limite essentiellement aux secteurs industriel (57 %) et résidentiel (42,1 %) et ne représente que 8,6 % du bilan énergétique de 1991 (MER, 1992a). En outre, l'utilisation de la biomasse dans le secteur industriel demeure liée aux entreprises du domaine forestier qui se servent des résidus à des fins énergétiques. En ce sens, l'impact environnemental énergétique peut pratiquement être considéré comme nul puisqu'il n'y a pas d'exploitation intensive de la ressource à des fins purement énergétiques.

Les filières du charbon, du pétrole, du gaz naturel et de l'uranium sont composées de ressources épuisables. Même si les réserves ne sont pas toujours clairement identifiées et même si elles sont abondantes dans certains cas, ces ressources ne peuvent pas être reconstituées et leur utilisation devrait être limitée à des usages pour lesquels il n'existe pas de substituts adéquats. Le Québec ne possède pas de réserves importantes de ces ressources et doit donc s'approvisionner à l'extérieur, ce qui, en ne considérant que le pétrole et le gaz naturel, représente plus de 50 % du bilan énergétique.

5.2 IMPACTS GLOBAUX

La plupart des impacts à incidence globale sont le résultat des processus de combustion des ressources fossiles et de la biomasse. À l'exception de l'uranium, toutes ces ressources sont de même origine et de même nature. Les processus impliqués dans les phénomènes d'accumulation des ressources fossiles ont bien sûr modifié la composition de ces ressources ce qui peut expliquer leurs impacts parfois différents selon les critères analysés. La combustion de ces ressources a comme conséquence de libérer dans les cycles biogéochimiques des quantités très importantes d'éléments qui en avaient été retirés (ressources fossiles) ou qui étaient fixés dans les tissus vivants (biomasse).

La filière nucléaire et les filières de ressources durables sont de nature différente et ne contribuent pratiquement pas à ces impacts à incidence globale, à l'exception des risques de catastrophes importants que certaines présentent.

À l'intérieur de ce thème d'analyse, les critères retenus ne présentent pas tous la même importance quant à l'impact sur l'environnement des filières énergétiques. Par exemple, les activités énergétiques contribuent peu à la déperdition de la couche d'ozone mais elles sont un facteur majeur du changement climatique global. Elles sont également responsables d'une grande partie des émissions de gaz précurseurs des précipitations acides. Cependant, dans ce dernier cas, l'effet des précipitations et des dépôts acides sera plus ou moins important, du moins à court terme, selon les caractéristiques du milieu récepteur.

En fonction de ce thème d'analyse, les filières pourraient être réparties en trois groupes. Un premier groupe formé de la filière hydraulique au fil de l'eau, des filières solaires, éoliennes, marémotrice et géothermiques peut être considéré comme ne présentant que des impacts nuls ou faibles.

La filière hydro-électrique avec réservoir formerait le second groupe avec la filière nucléaire en raison du risque de catastrophe qui leur est associé. De façon générale, ces deux filières ne présentent pas d'impacts importants relativement au changement climatique global, à la déperdition de la couche d'ozone et aux précipitations acides. L'impact moyen qui leur est attribué (Tableau 5.1) est essentiellement fonction des risques de catastrophes que présentent ces deux filières. Cependant, dans un contexte québécois et dans l'éventualité d'une catastrophe, l'impact de ces deux filières serait nettement différent. La situation géographique des grands réservoirs hydrauliques au Québec fait en sorte qu'une éventuelle rupture de barrage, bien que son impact serait dévastateur sur une grande superficie, aurait nettement moins d'effets sur les populations humaines qu'un accident nucléaire. En ce sens, l'impact moyen attribué à ces deux filières devrait être considéré, au Québec, comme un impact moyen-faible dans le cas de la filière hydraulique avec réservoir et comme un impact moyen-majeur dans le cas de la filière nucléaire.

Le dernier groupe est formé des ressources fossiles et de la biomasse. Les effets sur le changement climatique, sur les précipitations acides et, dans une moindre mesure, sur la déperdition de la couche d'ozone sont similaires pour chacune de ces filières et la majorité d'entre elles présentent des risques de catastrophe élevés. Le gaz naturel et la biomasse se différencient cependant du pétrole et du charbon par des impacts de moindre ampleur. Les impacts relatifs de ces filières sont majeurs et beaucoup plus importants que ceux des groupes précédents. L'utilisation des ressources fossiles et de la biomasse a un impact continu qui s'accumule dans le temps et dans l'espace et qui touche l'ensemble des critères de ce thème d'analyse. Comparativement, la filière nucléaire et la filière hydraulique avec réservoir ne présentent un impact majeur qu'au critère «risque de catastrophe» qui ne doit pas être ignoré mais qui peut être contrôlé.

5.3 IMPACTS SUR LE PATRIMOINE MONDIAL

À l'exception de la filière éolienne décentralisée, toutes les filières présentent des impacts importants par rapport aux critères de ce thème. En fait, les conséquences sur les écosystèmes, l'aménagement, le paysage et le mode de vie sont causées par des facteurs comme la taille des installations, leurs sites d'implantation, leurs manifestations de même que leur influence sur les sociétés. Ce thème d'analyse n'est donc pas, comme les précédents, relatif à la nature des ressources mais plutôt fonction des installations ou des procédés nécessaires à leur exploitation.

En ce sens, tous les grands ouvrages (création de réservoirs, exploitation minière, champs pétroliers et plus particulièrement de sables bitumineux) qui doivent être

érigés là où se trouvent les ressources et qui nécessitent, par la suite, la mise en place de facilités pour acheminer ces ressources auront donc un impact majeur. Dans ces conditions, la filière hydraulique avec réservoir, les filières du charbon, de l'uranium et du pétrole sont celles qui ont les effets les plus notoires. Bien que nous n'ayons pas abordé de façon spécifique les problèmes environnementaux reliés aux lignes de transport de l'électricité puisqu'il est commun à toutes les filières de production de cette ressource énergétique secondaire, nous devons cependant noter qu'au Québec les impacts de la filière hydraulique avec réservoir sont nettement plus grands que ceux des autres filières. Encore une fois, la situation géographique des grands réservoirs fait en sorte que l'acheminement de la ressource doit se faire sur de très grandes distances et, de ce fait, affecte les écosystèmes, l'aménagement, le paysage et les communautés humaines tout au long du réseau jusqu'aux grands centres urbains.

Les filières de la biomasse, entre autre, à cause des grandes exploitations forestières et agricoles, présentent un impact global important (moyen) quoique moindre que celui des filières précédentes. Les filières du gaz naturel ont des impacts du même ordre de grandeur que les filières de la biomasse et se différencient, encore ici, des autres ressources fossiles. Cependant, spécialement en ce qui concerne la biomasse forestière, le Québec utilise surtout des résidus à des fins énergétiques. En ce sens, il n'y a donc pas d'exploitation spécifique et à grande échelle de cette biomasse. L'impact moyen attribué aux filières de la biomasse s'applique donc à un contexte plus général et devrait être réévalué à la baisse en ce qui concerne la situation québécoise.

Les filières géothermiques et celles des ressources durables, à l'exception de la filière hydraulique avec réservoir, présentent les impacts les plus faibles mais, contrairement au thème précédent, ces impacts sont maintenant significatifs et parfois importants. Par exemple, la filière hydraulique au fil de l'eau et les filières solaires présentent un impact considéré moyen sous ce thème d'analyse.

5.4 IMPACTS SPÉCIFIQUES

Le thème des impacts spécifiques regroupe six critères de pollution ainsi que celui de la santé et de la sécurité. Il rend compte des effets rémanents des différentes filières, effets qui s'appliquent généralement à l'ensemble des filières mais parfois qui constituent une caractéristique d'une ou de quelques filières précises. Les critères retenus rendent compte de la nature des ressources, comme dans le cas des impacts globaux, de même que des caractéristiques des procédés et des installations, comme pour les impacts sur le patrimoine.

Parmi les critères retenus sous ce thème d'analyse, certains présentent une importance nettement moindre que d'autres. C'est, entre autre, le cas de la pollution radioactive qui, bien que présente, n'a que peu d'impact sur l'environnement dans le cas de l'ensemble des filières énergétiques. La pollution sonore et olfactive, à

l'exception peut-être des filières du transport, présente également des impacts moins importants que les autres critères. La pollution de l'air ambiant, des eaux et du sol, la pollution thermique et la santé et sécurité constituent, en fait, les critères majeurs de ce thème d'analyse.

Sous ce thème, ce sont les filières du charbon, du pétrole et de l'uranium qui présentent les impacts les plus importants sur l'ensemble des critères, la filière du transport et du chauffage du pétrole étant la plus significative. Ces critères mettent en évidence la contribution élevée des véhicules moteurs sur la détérioration de l'environnement.

Le gaz naturel de façon globale présente surtout des impacts qui ont été cotés comme moyen et se distingue ainsi des filières précédentes où les impacts étaient, en grande partie, évalués comme majeur. Les effets de la biomasse, en général, sont du même ordre de grandeur que ceux du gaz naturel.

Les filières géothermiques présentent quelques impacts significatifs, spécialement en ce qui concerne la pollution thermique; malgré le rang obtenu pour la pollution radioactive, leur contribution, à ce niveau, est quand même faible.

Les ressources durables présentent globalement des impacts plutôt faibles pour l'ensemble des critères composant ce thème. Quelques effets majeurs ressortent, mais comparativement aux groupes précédents ces filières ont peu d'impacts. La filière solaire héliothermique, par exemple, se classe au rang 18 pour la pollution thermique mais obtient cinq premiers rangs sur les six autres critères. En fait, dans ce groupe, seule la filière hydraulique avec réservoir apparaît comme un peu moins performante en obtenant un rang de niveau 13 (pollution des eaux) et deux rangs de niveau 10 (pollution sonore et olfactive, santé et sécurité), surtout dans ce dernier cas en raison des activités liées à la phase de construction. L'écart demeure tout de même très grand avec les filières des ressources fossiles et celles de la biomasse.

5.5 ÉVALUATION GLOBALE

En tenant compte des ressources utilisées actuellement au Québec et de l'analyse des différents impacts hiérarchisés, la filière hydraulique au fil de l'eau serait la plus avantageuse, suivie immédiatement de la filière hydraulique avec réservoir. Dans ce dernier cas, la ressource est durable et la contribution aux impacts globaux est plutôt faible, compte tenu que les dangers reliés à la rupture d'un barrage peuvent être contrôlés et minimisés dans des conditions normales d'opération. Les impacts sur le patrimoine mondial sont cependant très importants, du moins en fonction de l'état de référence utilisé. Dans un contexte plus spécifique cependant, certains de ces impacts pourraient être réévalués à la baisse mais certainement pas au point de devenir négligeables. De plus, la majorité des filières présente des impacts importants quant au patrimoine mondial. En fait, dès que de grandes quantités d'énergie doivent être exploitées ou produites, la mise en place des installations nécessaires

est le principal élément perturbateur, quelque soit la filière. Enfin, les impacts spécifiques des filières hydrauliques sont relativement peu importants en comparaison des autres filières utilisées au Québec.

Les filières de la biomasse, étant donné que la ressource est renouvelable, pourraient, à première vue, être considérées comme une alternative. Cependant, lorsque ces ressources sont exploitées sur une grande échelle, leurs impacts sont relativement importants à tous les niveaux, du même ordre de grandeur que ceux des filières du gaz naturel. De plus les ressources forestières et agricoles peuvent être utilisées à d'autres fins dont les répercussions sur le développement du Québec sont majeures. Quant à la filière de la production d'énergie à partir de l'incinération des déchets, nous croyons que la réduction à la source, la réutilisation, la récupération et le recyclage constituent une alternative à privilégier.

En ce qui concerne les ressources épuisables, la filière nucléaire est celle qui présente le moins d'impacts (mais le plus grand risque de catastrophe) au niveau global, à l'exception des problèmes reliés à la gestion des rejets et que nous traitons à l'impact spécifique «pollution radioactive». Sa contribution aux effets sur le patrimoine et ses impacts spécifiques la classent comme plus dommageable que les filières du gaz naturel, pratiquement au même niveau que le charbon et le pétrole.

Ces deux dernières ressources épuisables (charbon et pétrole) sont celles qui ont le plus d'impacts majeurs à tous les niveaux de l'analyse. Le gaz naturel, malgré que ses impacts soient habituellement majeurs ou moyens à tous les niveaux, pourrait cependant constituer une alternative aux deux ressources précédentes.

En terminant, et en tenant compte du potentiel disponible au Québec, les filières solaires et éoliennes devraient faire partie d'une stratégie de gestion de l'énergie. Ces ressources sont durables et ne présentent pas d'impacts globaux significatifs. Leurs impacts sur le patrimoine sont parmi les plus faibles et leurs impacts spécifiques sont peu dommageables pour l'environnement, spécialement lorsque comparés aux ressources fossiles et à celles de la biomasse.

6. POTENTIEL D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE AU QUÉBEC

6. POTENTIEL D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE AU QUÉBEC

Les économies d'énergie sont parfois considérées comme une ressource énergétique au même titre que celles qui ont été présentées aux chapitres précédents. En ce sens, les impacts environnementaux des économies d'énergie auraient donc pu être analysés avec ceux des autres filières et selon la même approche méthodologique. Nous n'avons pas retenu cette possibilité parce que la principale contribution des économies d'énergie à une gestion énergétique globale n'est pas tant son absence ou ses faibles impacts mais plutôt les impacts évités par une diminution de l'utilisation des autres ressources énergétiques.

En fait, d'un point de vue environnemental, la réalisation d'économies d'énergie s'accompagne généralement d'une réduction des impacts environnementaux, en raison de l'élimination des impacts tributaires de la production des ressources non employées ou évitées. Toutefois, cela n'est pas systématiquement le cas. En effet, la mise en place de mesures visant la réalisation d'économies d'énergie peut parfois avoir des conséquences néfastes sur l'environnement, comme par exemple l'air vicié des immeubles hermétiques ou la nocivité de certains produits isolants. Cependant nous considérons que les impacts évités compensent plus que largement les quelques inconvénients environnementaux susceptibles d'être générés par la réalisation d'économies d'énergie.

L'approche retenue ne tente donc pas d'analyser ou de quantifier l'effet des économies d'énergie puisque nous considérons que, de façon générale, il est profitable d'un point de vue environnemental. Par contre, la détermination des potentiels d'économies d'énergie présente plusieurs difficultés autant d'ordre théorique que pratique ce qui a parfois comme conséquence de diminuer l'importance de cet aspect dans une politique de gestion globale de l'énergie. Nous tenterons donc plutôt de dresser un bilan sur l'évaluation des potentiels d'économies d'énergie de manière à déterminer la qualité des programmes proposés au Québec et la place que pourrait occuper les économies d'énergie dans la gestion énergétique au Québec.

En ce sens, ce chapitre présente d'abord une série de définitions et de notions relatives au domaine des économies d'énergie et offre ensuite un résumé des approches méthodologiques permettant de déterminer les potentiels d'économies. Suivent une présentation de quelques évaluations de potentiels d'économies d'énergie ailleurs dans le monde, spécialement aux États-Unis et au Canada, puis une analyse critique des évaluations et des programmes québécois.

6.1 DÉFINITION D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

La notion d'économies d'énergie est une notion qui présente habituellement une double signification dans le langage usuel. Ce terme correspond soit aux mesures de réduction de la consommation énergétique, soit aux résultats (effets) des mesures elles-mêmes. La définition retenue dans ce rapport ne correspond qu'à la deuxième signification, soit aux résultats de mesures de «maîtrise de l'énergie»[1], mesures qui peuvent être identifiées aux économies d'énergie induites. Il s'agit donc de la quantité d'énergie évitée par la mise en place de mesures dans ce sens.

L'évolution des techniques apporte aussi la réalisation d'économies d'énergie du fait que les nouveaux équipements sont généralement plus performants que les anciens. Dans ce cas on parle d'«économies d'énergie tendancielles» ou d'«économies naturelles d'énergie».

Les économies d'énergie sont alors définies de la manière suivante: «les économies d'énergie représentent les quantités d'énergie non employées grâce à des mesures de maîtrise de l'énergie ou aux économies tendancielles d'énergie» (Leduc, 1992).

6.1.1 *Économies d'énergie tendancielles*

Les économies d'énergie tendancielles (natural savings) sont des quantités d'énergie évitées grâce à l'évolution naturelle du marché, c'est-à-dire du fait même de l'évolution technique vers une plus grande efficience des systèmes énergétiques. Aucune intervention particulière n'est alors nécessaire à leur réalisation[2]. L'absence de mesures incitatives ou d'intervention en faveur de la réalisation d'économies d'énergie tendancielles fait qu'il est très difficile de les quantifier lors de projections pour l'avenir.

6.1.2 *Économies d'énergie induites*

Les économies d'énergie induites (induced energy savings) sont, par contre, le résultat d'interventions ou de mesures favorables à la réalisation d'économies d'énergie. Les efforts en vue de l'évaluation des potentiels devraient porter en priorité sur ce type d'économies d'énergie car c'est là le but de l'intervention.

Les économies d'énergie induites peuvent à leur tour être subdivisées en deux groupes. Il s'agit d'abord des «économies d'énergie permanentes» (steady energy savings), définies comme étant des économies d'énergie induites présentant la caractéristique de maintenir leur production indéfiniment à la suite de la mise en place des mesures initiatrices (EMR, 1987a). Ce sont donc des économies d'énergie

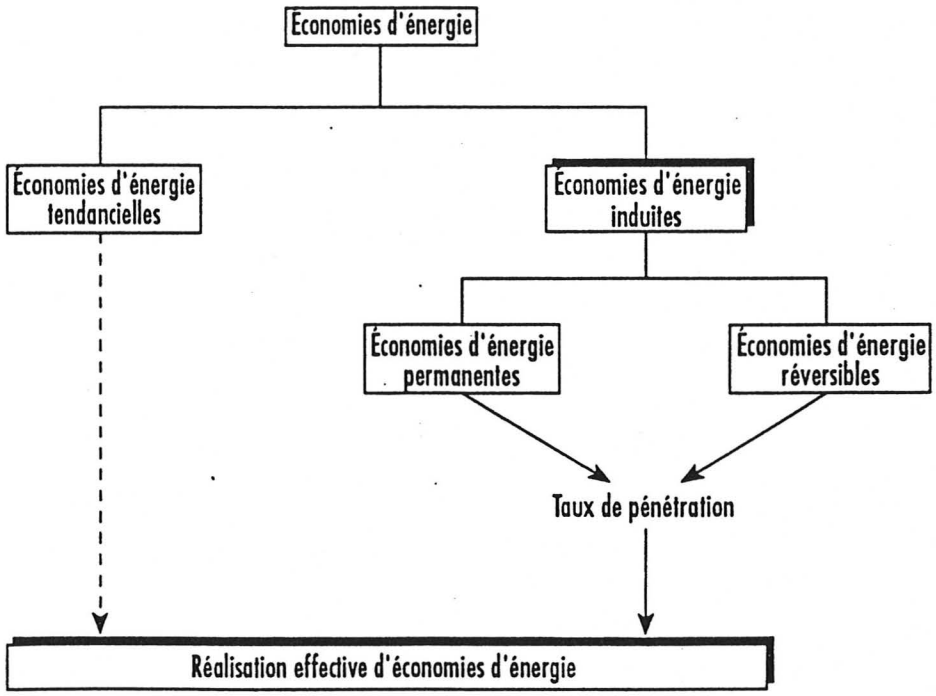
[1]La «maîtrise de l'énergie» est ici définie comme l'ensemble des mesures d'intervention en vue d'optimiser l'utilisation de l'énergie.

[2]Dans ce sens, elles devraient être comptabilisées, dans les évaluations de potentiels, de manière distinctes parmi les économies d'énergie totales, afin de pouvoir les distinguer des économies d'énergie induites. Au-delà de sa commodité économiste, cette distinction prend tout son sens et son importance d'abord pour la mise en place puis ensuite dans l'évaluation de programmes d'intervention.

fermes, c'est-à-dire ne nécessitant pas la reconduction des mesures initiatrices. Nous retrouvons, par exemple, dans ce groupe les normes de réglementation de rendement minimum pour les équipements. Elles sont pour ainsi dire «durables» à l'exemple des ressources durables. Le second groupe est représenté par les «économies d'énergie réversibles» (reversible energy savings) (EMR, 1987b). Ce sont des économies d'énergie induites présentant la caractéristique d'être non permanentes après la mise en place de mesures initiatrices. Ce sont par exemple les incitations au transport en commun ou la réduction de la température de consigne du thermostat dans l'habitat. Le maintien de telles économies d'énergie requiert généralement la reconduction régulière et continue des mesures initiatrices. Elles sont par ailleurs nommées «économies d'énergie souples», et elles sont pour ainsi dire de nature «renouvelables». La figure 6.1 schématise la typologie des économies d'énergie.

La réalisation effective d'économies d'énergie induites est dépendante du taux de pénétration. Ce dernier correspond au degré d'acceptation des mesures initiatrices par les utilisateurs d'énergie et conséquemment il permet la réalisation plus ou moins importante des économies d'énergie anticipées par les dites mesures. Ce taux de pénétration est déterminé par plusieurs paramètres tels que la diffusion de l'information, l'acceptabilité sociale et économique des mesures, la confiance des utilisateurs, etc... Le taux de pénétration détermine donc l'utilisation maximale des mesures mises en place et il est conséquemment dépendant des efforts déployés. La durée est aussi un paramètre important du taux de pénétration. Ainsi, le taux de renouvellement du parc d'équipements s'effectue au cours d'une période de temps plus ou moins longue. Le taux de pénétration est la plupart du temps progressif dans le temps.

Figure 6.1 Typologie des économies d'énergie.



Les économies d'énergie sont parfois perçues comme des ressources énergétiques à part entière, dans la mesure où elles servent tout autant qu'une ressource énergétique à combler un besoin énergétique. Elles sont ainsi couramment associées à la satisfaction d'un «service énergétique»[3] dans les approches de «Gestion de la demande» (Demand-side Management (DSM))[4], de «Planification au moindre coût» (Least-cost Planning (LCP))[5] et de «Planification intégrée des ressources» (Integrated Resource Planning (IRP))[6].

6.2 OBJECTIFS DES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

Le rapport Brundtland recommandait la réalisation d'économies d'énergie pour la période de transition vers une société moins énergivore basée sur la pérennité des ressources énergétiques (CMED, 1988). Le Conseil de la conservation et de l'environnement du Québec reprenait, dans son avis sur l'énergie, les recommandations du rapport Brundtland à l'effet que la politique de l'énergie du Québec devait favoriser en premier lieu les économies d'énergie (Conseil de la conservation et de l'environnement, 1990).

Dans le cadre d'un développement énergétique durable plusieurs raisons militent en faveur de la réalisation d'économies d'énergie. Parmi elles nous avons retenu celles qui suivent[7]:

- Réduction des impacts environnementaux (production évitée);
- Prolongation de la durée de vie des ressources épuisables (besoins futurs);
- Réduction des besoins futurs de ressources (régulation de l'offre);
- Augmentation de la productivité et de la compétivité des entreprises;
- Équilibre de l'offre et la demande d'énergie (régulation des prix);
- Réduction des coûts pour les utilisateurs;
- Amélioration de la balance des paiements (marché intérieur);
- Réduction des investissements nécessaires (flexibilité);

---

[3]La notion de «services énergétiques» représente un élargissement de celle concernant la production d'une ressource énergétique pour la satisfaction des besoins. Elle tient compte de la participation des économies d'énergie aux approvisionnements énergétiques (Leduc, 1992).

[4]Le «DSM» est une méthode particulière de gestion de la demande d'énergie, qui consiste à regrouper l'ensemble des mesures visant la satisfaction des approvisionnements énergétiques, dont les économies d'énergie. La «gestion de l'énergie» fut développée aux États-Unis au cours des années 1980 (Rosenfeld, 1988 et Krause et Éto, 1988).

[5]Le «LCP» ou «Least-cost Utility Planning (LCUP)» est une méthode de gestion globale des ressources énergétiques visant le moindre coût dans la fourniture des «services énergétiques» de la part d'une entreprise de services énergétiques. Elle se veut plus complète que le «DSM» en intégrant aussi les approvisionnements du côté de l'offre (Cavanagh, 1986 et Krause et Éto, 1988).

[6]L'«IRP» est l'une des plus récente méthode de gestion et de planification des ressources énergétiques. La planification intégrée signifie l'intégration de l'offre et de la demande, la planification de long terme, la coordination des actions, la participation du public et l'intégration des externalités, notamment les coûts environnementaux(Hirst, 1989 et Roturier et Mills, 1991).

[7]Cette liste des objectifs est issue des travaux de l'AIE/IEA (1982), Hirst (1989) et Dupuis (1992).

  - Délais de récupération du capital plus courts que la durée d'exploitation rentable des équipements;
  - Investissements ponctuels moins importants (progressifs);
  - Flexibilité des investissements (étalement et résultat immédiat);
- Délais de réalisation des projets plus courts (1-3 ans);
- Programmation progressive des mesures (quantités selon les besoins);
- «Production» près des lieux de consommation;
- Responsabilisation plus grande des utilisateurs (réduction de la demande).

6.3 MOYENS DE RÉALISER DES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

Les diverses mesures en vue de réaliser des économies d'énergie peuvent être regroupées sous deux principaux ensembles de moyens: l'efficacité énergétique et l'utilisation rationnelle de l'énergie. Chacun de ces ensembles regroupe prioritairement un type bien particulier d'économies d'énergie. L'efficacité énergétique est principalement représentée par des mesures initiatrices d'économies d'énergie permanentes et l'utilisation rationnelle de l'énergie regroupe essentiellement des mesures produisant des économies d'énergie réversibles. Il est cependant possible de réaliser des économies d'énergie autrement que par ces deux moyens privilégiés.

6.3.1 *Efficacité énergétique*

Les économies d'énergie permanentes sont en majeure partie le résultat de la mise en place de mesures d'efficacité énergétique.

L'efficacité énergétique se définit comme: «l'optimisation efficiente et économe de l'utilisation des ressources énergétiques dans les équipements, les procédés et les processus, à tous les stades de la chaîne énergétique et pour tous les usages, et avant tout par l'amélioration du rendement énergétique» (Leduc, 1992).

Les mesures en efficacité énergétique comprennent donc l'ensemble des interventions qui visent l'amélioration du rendement énergétique des équipements, des processus et des procédés d'utilisation de l'énergie. C'est une approche technique faisant appel à la modification des systèmes énergétiques. Le résultat de telles mesures est généralement des économies d'énergie permanentes. Parmi ces mesures l'on retrouve les normes plus performantes de rendement énergétiques des équipements et des bâtiments.

La quantité d'économies d'énergie produites est progressive dans le temps, elle augmente compte tenu du temps de renouvellement des techniques concernées. Par exemple, les nouvelles normes de rendement des appareils ne touchent que les nouveaux appareils. Le renouvellement du stock de ces équipements entraînera la réalisation progressive d'économies d'énergie au fur et à mesure de son implantation.

Généralement de telles mesures entraînent une réduction de la consommation énergétique, c'est-à-dire un pourcentage moindre de la consommation initiale, et occasionnellement une absence totale de consommation. Corrélativement, l'impact environnemental de l'utilisation des ressources énergétiques se trouve diminué proportionnellement à la quantité d'énergie évitée.

L'évolution naturelle des économies d'énergie tendancielles s'effectue généralement dans la même direction que les économies d'énergie des mesures d'efficacité énergétique; le progrès technique naturel entraînant une amélioration du rendement énergétique de l'ensemble des équipements et des systèmes.

6.3.2 *Utilisation rationnelle de l'énergie*

Les économies d'énergie réversibles sont en majeure partie le résultat de mesures d'utilisation rationnelle de l'énergie.

L'utilisation rationnelle de l'énergie se définit comme: «l'optimisation de l'utilisation de l'énergie dans le but de réaliser des économies d'énergie, surtout par l'entremise de mesures faisant appel à la modification des comportements, des habitudes et des modes de vie, d'un ou de l'ensemble des utilisateurs» (Leduc, 1992).

Les mesures d'utilisation rationnelle de l'énergie comprennent donc les interventions qui visent l'amélioration de l'utilisation de l'énergie de la part des consommateurs. C'est une approche comportementale, non technique comme dans le cas de l'efficacité énergétique. Le résultat de telles mesures est généralement des économies d'énergie réversibles. Elles comprennent l'amélioration de l'utilisation de l'énergie par la modification des comportements, des habitudes de consommation et des modes de vie.

La quantité produite d'économies d'énergie est bien souvent optimale dès l'application des mesures par un utilisateur. Il s'agit aussi d'une réduction de la consommation, mais parfois il y a absence totale de consommation énergétique. Corrélativement, l'impact environnemental de l'utilisation des ressources énergétiques se trouve diminué proportionnellement à la quantité d'énergie évitée.

6.3.3 *Autres moyens de réaliser des économies d'énergie*

Il y a possibilité de réaliser des économies d'énergie, mais non de façon systématique par des interventions dans les domaines de la substitution énergétique, de la gestion de l'énergie et de la mise en place de techniques environnementales.

Par la substitution énergétique lorsqu'il s'agit de l'utilisation d'une ressource énergétique mieux adaptée à un usage particulier, il y a possibilité d'économies d'énergie. C'est le cas par exemple de tout usage d'une ressource comportant moins de perte que l'usage d'une autre, notamment le remplacement d'un combustible par un autre plus performant.

La gestion de l'énergie permet elle aussi la réalisation d'économies d'énergie par les possibilités d'une meilleure gestion du rendement des équipements, consécutives à une meilleure gestion des équipements dans le temps. C'est notamment le cas du fonctionnement optimum (rendement maximal) des équipements.

La mise en place de techniques environnementales, notamment les équipements anti-pollution peut occasionnellement procurer des économies d'énergie. C'est rarement le cas, l'inverse serait le plus souvent la norme, mais ces nouveaux équipements favorisent parfois le rendement énergétique des équipements, procédés et processus.

6.3.4 *Autres éléments à considérer*

Les effets croisés et les effets cumulatifs entraînent parfois une diminution des économies d'énergie anticipées et peuvent donc constituer des obstacles à leur réalisation. Les effets croisés résultent de mesures comportant des effets de hausse de la consommation sur d'autres mesures en vue de réaliser des économies d'énergie, ils induisent donc une diminution des économies d'énergie anticipées par les premières mesures (MER, 1992c; Hydro-Québec, 1992c). C'est ainsi que la «chaleur gratuite» dégagée par les lampes à incandescence réduit la demande en chauffage en hiver; en améliorant l'efficacité énergétique des équipements d'éclairage ont réduit d'autant cette chaleur ce qui induit une augmentation des besoins en chauffage. Les effets cumulatifs résultent d'une certaine dépendance ou hiérarchisation des mesures d'intervention. En effet, la réalisation d'économies d'énergie à partir d'une mesure particulière est souvent dépendante des mesures qui l'ont précédée et qui affectent le même usage; il y a donc un ordre de priorité à respecter dans la mise en place de diverses mesures (MER, 1992c; Hydro-Québec, 1992c).

Les «économies de puissance» correspondent à l'équivalent des économies d'énergie en terme de puissance évitée. Des économies d'énergie de 10 TWh correspondent, par exemple, à 3 000 MW en puissance évitée. Les économies de puissance peuvent aussi représenter la quantité de puissance déplacée par des mesures d'intervention, généralement par la gestion de la charge, dans la question de la gestion des pointes.[8] Il s'agit alors d'une relocalisation temporelle de la consommation énergétique, ce qui ne réduit aucunement l'énergie nécessaire à la satisfaction des besoins; la réalisation d'économies de puissance n'entraîne pas automatiquement des économies d'énergie, même si cela demeure possible dans le cas du fonctionnement optimum des équipements.

[8]Les économies de puissance concernent avant tout l'utilisation de l'électricité et du gaz naturel.

6.4 ÉVALUATION DES POTENTIELS D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

L'évaluation systématique et rigoureuse des économies d'énergie fait suite aux travaux du «Lawrence Berkeley Laboratory (LBL)» initiés par Rosenfeld dans les années 1970 (Roturier et Mills, 1991). La méthodologie d'évaluation est particulièrement redevable aux recherches de A. Meier sur les «gisements d'économies d'énergie (supply curve of conserve energy) (Meier, 1982).

Aujourd'hui, cette méthodologie est largement diffusée et employée. Les gisements d'économies d'énergie peuvent être évalués à partir de micro courbes (micro supply curve), à savoir des estimations calculées pour un usage bien particulier (chauffage d'un bâtiment) ou à partir de macro courbes (macro supply curve); il s'agit alors d'aggrégation d'estimations (le parc de bâtiment) (Meier, 1982). Plus récemment, cette méthodologie s'est élargie au-delà des considérations de coûts et d'énergie évitées afin de tenir compte des problèmes environnementaux. L'on peut ainsi évaluer les impacts de la production de nouvelles ressources tout comme ceux de programmes d'économies d'énergie (Vine et Harris, 1990). La planification peut ainsi tenir compte autant des approvisionnements (du côté de l'offre) que des mesures d'économies d'énergie (du côté de la demande), comme cela est le cas dans la méthode de la planification au moindre coûts («LCP») (Stone et Webster, 1989).

La méthode considère les économies d'énergie à réaliser comme s'il s'agissait d'un gisement classique de ressources énergétiques: c'est-à-dire que nous pouvons y distinguer des étapes d'exploration et de production, mais aussi un réservoir ou une réserve potentielle auquel les concepts de prix et de rentabilité peuvent être appliqués. La représentation classique des gisements ou potentiels d'économies d'énergie se retrouve sous la forme de graphiques en marches d'escalier (voir figure 6.2). Ceux-ci présentent l'interraction entre la quantité d'énergie anticipée de telles mesures par rapport aux coûts de ces mesures ou aux coûts évités dans la production des ressources.

Les graphiques en forme d'escalier illustrent les potentiels d'économies d'énergie anticipés pour des mesures induites ou tendancielles. Chaque rectangle où espace sous la courbe représente le résultat anticipée d'une ou de plusieurs mesures. Généralement, la hauteur des rectangles représente les coûts de ces mesures et la largeur la quantité d'énergie ou de puissance pouvant être économisée.

6.4.1 *La mesure du potentiel*

Indépendamment de l'évolution dans le temps des évaluations du potentiel, à savoir l'approfondissement des connaissances (données et méthode), l'évaluation des potentiels d'économies d'énergie est très variable. Conséquemment, les évaluations sont continuellement révisées, la plupart du temps à la hausse. De plus, le progrès technique permet progressivement des réajustements des potentiels techniquement réalisables et le réajustement des coûts des mesures ou de leur rentabilité permet l'ajout de nouvelles mesures difficilement envisageables aupara-

vant. Les importantes variations des diverses estimations du potentiel d'économies d'énergie sont aussi le fait de l'approche méthodologique retenue; l'évaluation varie considérablement en vertu de l'effort d'intervention souhaité ou anticipé.

Les estimations varient aussi selon l'étendue ou les domaines et les usages soumis à des mesures visant les économies d'énergie. Pour la plupart des études, seul le domaine de l'électricité est exploré et quantifié de manière rigoureuse. Dans certains cas, on n'explore pas entièrement les différents usages de l'énergie ni non plus toutes les mesures disponibles.

Toutefois, l'un des éléments majeurs expliquant les importantes variations dans les évaluations du potentiel concerne la distinction entre le «potentiel théorique» et le «potentiel réalisable», ainsi que le «potentiel économique» ou «potentiel rentable». L'alternative choisie détermine ainsi l'importance du potentiel estimé et ce critère est donc essentiel dans l'appréciation des diverses évaluations.

Il existe ainsi plusieurs filtres entre le gisement potentiel d'économies d'énergie et la réalisation effective d'économies d'énergie. Il s'agit des critères environnementaux (souhaitabilité) (rarement pris en compte), techniques (meilleure technique disponible ou techniquement réalisable), économiques (coûts moyen ou marginal et durée de remboursement anticipée), d'adoption (taux de pénétration). L'évolution temporelle est cruciale dans l'influence de ces paramètres sur la mesure du potentiel.

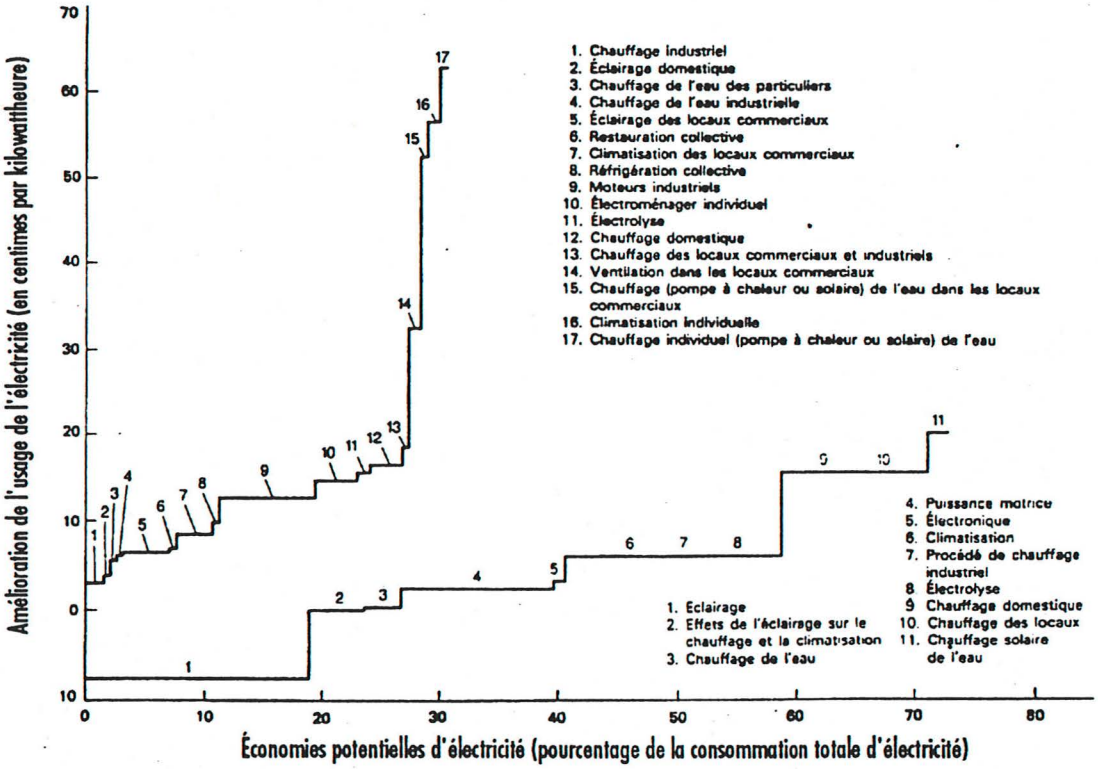
Les termes employés par les divers intervenants varient et ceci implique que corrélativement les concepts sous-jacents, les paramètres retenus (dont le coût évité/coût marginal) et les mesures anticipées sont variables. Les résultats sont ainsi à la merci de la méthodologie choisie.

Pour l'AIE, il y a distinction entre potentiel technique (technical potential) et potentiel du marché (market potential), le deuxième type de mesures étant plus faible (AIE/IEA, 1991). Ontario-Hydro n'évalue pas le potentiel technique mais plutôt ce qui est économiquement rentable et qu'elle nomme «potential improvements in electrical efficiency»; de plus l'entreprise distingue dans le potentiel total d'économies, dénommé «potential total electrical efficiency improvement», les économies naturelles et le potentiel induit («potential induced»), ce dernier étant lui-même réduit en économies induites atteignables («attainable induced») selon le taux de pénétration des mesures (Ontario-Hydro, 1989). Hydro-Québec fait quant à elle une distinction entre le potentiel technico-économique ou commercial et le potentiel technique, le premier étant retenu pour l'analyse, il sert d'ailleurs à hiérarchiser les mesures d'après leur coût (Hydro-Québec, 1992c). De plus il y a plusieurs variantes d'appellation même du potentiel d'économies d'énergie, c'est ainsi qu'Hydro-Québec (Hydro-Québec, 1991 et 1992c) et Ontario-Hydro (Hydro-Ontario, 1989) le dénomme plutôt potentiel d'efficacité énergétique.

6.4.2 *Quelques évaluations du potentiel d'économies d'énergie*

En 1990, une étude réalisée en Suède évaluait le potentiel d'économies de ce pays à 15 % du bilan énergétique (Hydro-Québec, 1991). A la même époque aux États-Unis, une étude de l'Electric Power Research Institute (EPRI) estimait le potentiel d'économie en électricité à 31 % du bilan américain, alors qu'une étude du Rocky Mountain Institute (RMI) l'estimait plutôt à 72 % (Hydro-Québec, 1991). L'écart entre ces évaluations provient du nombre de mesures retenues (coût évité) dans chaque étude, ainsi que de la pénétration ou de l'effet réel anticipé de telles mesures. La figure 6.2 présente les courbes de potentiel; ainsi que les diverses mesures d'économies d'énergie, élaborées dans le cadre de ces deux études américaines (Fickett, Gellings et Lovins, 1990:72).

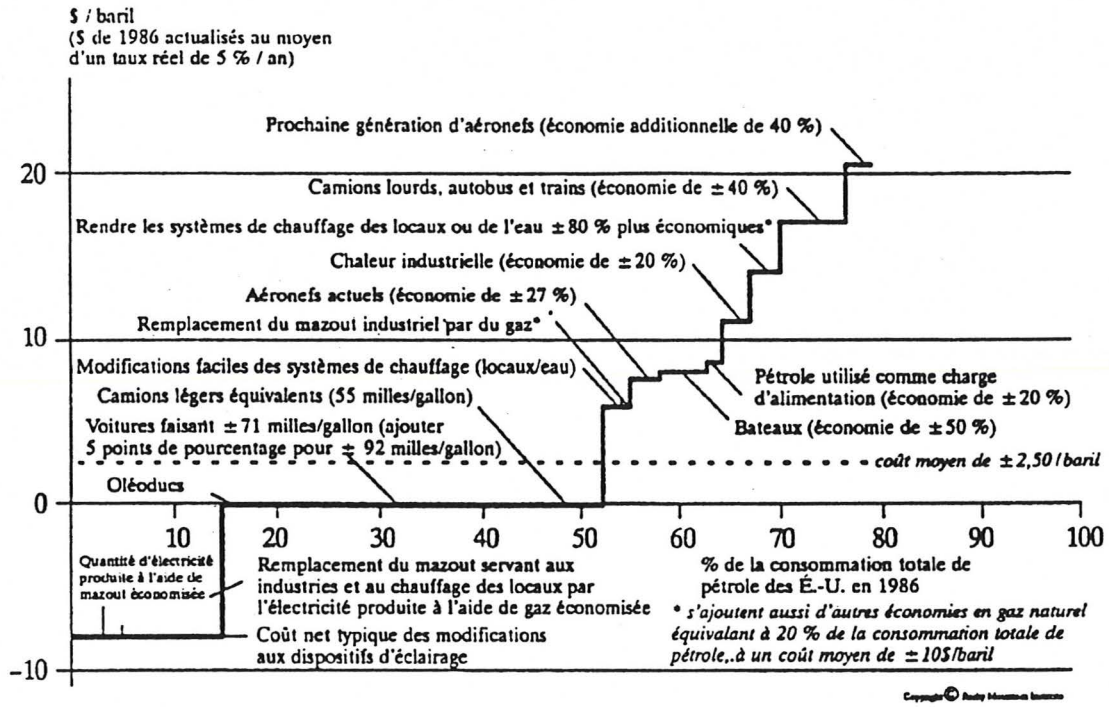
Figure 6.2 Évaluation du potentiel d'économies d'énergie en électricité aux États-Unis, 1990.



Source: Figure tirée de Fickett, Gellings et Loins, 1990.

Les estimations concernant l'électricité sont beaucoup plus fréquentes que pour les autres ressources énergétiques mais l'évaluation du potentiel de ces dernières est en cours. La figure 6.3 présente les estimations du RMI en ce qui concerne le remplacement de la consommation américaine de pétrole. L'évaluation globale des diverses mesures permettrait d'anticiper, dans ce cas, 80 % d'économies par rapport à la consommation totale américaine de pétrole (Comité permanent de l'environnement, 1991).

Figure 6.3 Évaluation du potentiel d'économies d'énergie en pétrole aux États-Unis, 1990.



Source: Figure tirée de Comité permanent de l'environnement, 1991.

Il y a deux ans, le «Comité permanent de l'environnement» canadien, présentait les résultats d'études sur les potentiels d'économies d'énergie, ici nommés potentiel d'efficience pour les différents secteurs ainsi que pour divers usages énergétiques à l'intérieur de ceux-ci. Le tableau 6.1 présente ces résultats. Les potentiels d'efficience varie entre 22 et 60 % selon les usages.

Le dernier plan de développement d'Ontario Hydro (1989-2014) avait pour objectif de réaliser des économies de 17 TWh en énergie et de 4 800 MW en puissance pour l'an 2014 (Ontario-Hydro, 1989). Ceci représentait respectivement 12,5 et 21 % de l'énergie et de la puissance disponible en 1989. A la même époque, une étude réalisée pour le Ministère de l'énergie de l'Ontario (OME) mentionnait que le potentiel maximal économique (maximum economic potential) s'élevait pour cette province à 6 637 MW en puissance pour l'an 2000, soit environ 29 % de la puissance disponible en 1989 (Ontario-Hydro, 1989).

Une évaluation du potentiel d'économies d'énergie dans le secteur de l'électricité, pour l'État de New-York en 1989, arrivait aux résultats suivants pour le potentiel technique: résidentiel 37 %, commercial 50 % et industriel 22 % (ACEEE, 1989). La consommation d'électricité de l'État serait ainsi réduite de 38 %. Toutefois, pour les entreprises d'électricité, le potentiel «économique» («cost-effective savings potential»), c'est-à-dire sous le coût de 4 cents/kWh, n'était que de 23 % (ACEEE, 1989).

Tableau 6.1 Évaluation des potentiels et des barrières aux économies d'énergie au Canada.

SECTEUR	UTILISATION	MESURES	EXEMPLES DE TECHNOLOGIES	POTENTIEL D'EFFICIENCE*
Résidentiel	Chauffage et climatisation	• Amélioration des matériaux de revêtement • Efficacité accrue des systèmes de chauffage	• isolation • étanchéité • fenêtres	53 %
	Appareils électriques	• Appareils plus performants	• isolation • ampoules • moteurs	30 %
Commercial	Chauffage et climatisation	• Amélioration des matériaux de revêtement • Meilleurs contrôles	• isolation •étanchéité • systèmes de contrôle intégrés	53 %
	Eclairage	• Amélioration des systèmes d'éclairage	• ampoules	60 %
	Moteurs	• Moteurs plus performants	• transmissions, contrôles, moteurs plus performants	35 %
Industriel	Chaleur résultant du processus de fabrication	• Récupération de chaleur • Systèmes de chauffage plus performants	• isolation • utilisation de l'effet cumulatif • système de chauffage perfectionnés • cogénération	32 %
	Entraînement mécanique	• Moteurs plus performants	• transmissions à vitesse variables • systèmes d'accouplement • moteurs plus performants	22 %
Transport	Automobiles/ autobus/camions	• Véhicules plus performants • Facteurs de charge accrus	• réduction du poids et de la taille des véhicules	45 %
	Trains		• amélioration de la performance aérodynamique	35 %
	Avions		• amélioration du rendement des moteurs	38 %
	Navires		•réduction de la résistance au roulement	40 %
			• transmissions à vitesses variables	35 %

* Calculs approximatifs, selon les moyennes entre les immeubles neufs et existants, les anciens et nouveaux procédés et activités.

Source: Tableau tiré de Comité permanent de l'environnement, 1991.

L'AIE estimait en 1991 que le potentiel d'économies d'énergie, pour les pays membres de l'AIE, de l'ensemble du secteur résidentiel s'élevait entre 10 et 50 %, que celui des moteurs industriels étaient de 10 à 30 % et que celui des automobiles s'élevait entre 30 et 50 % (AIE, 1991). Nous reproduisons au tableau 6.2 le sommaire des potentiels estimés, ainsi que les barrières prévues face à leur réalisation, tels que présenté par l'AIE (1991).

Tableau 6.2 Évaluation des potentiels d'économies d'énergie dans les pays de l'AIE.

	POURCENTAGE DE LA CONSOMMATION TOTALE	POURCENTAGE DES ÉMISSIONS DE CO_2	POTENTIEL D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE[1]
Résidentiel			
chauffage climatisation	11,4 %	11,0 %	10-50 %
eau chaude	3,4 %	3,6 %	mixed
réfrigération	1,1 %	2,1 %	30-50 %
éclairage	0,6 %	1,25	over 50 %
Commercial			
chauffage climatisation	6,1 %	6,8 %	mixed
éclairage	1,5 %	3,4 %	10-30 %
Industriel			
moteurs	4,5 %	9,0 %	10-30 %
acier	4,1 %	4,6 %	15-25 %
chimie	8,4 %	5,9 %	10-25 %
pâte et papier	2,9 %	1,2 %	10-30 %
ciment	0,1 %	0,9 %	10-40 %
Transport			
automobiles	15,2 %	13,7 %	30-50 %
véhicules utilitaires	10,1 %	9,1 %	20-40 %

[1] Basé sur une comparaison entre l'efficacité moyenne des technologies actuelles et celle de la meilleure technologie disponible.

Source: Tableau adapté de AIE/IEA, 1991.

6.5 ÉVALUATION DES POTENTIELS AU QUÉBEC

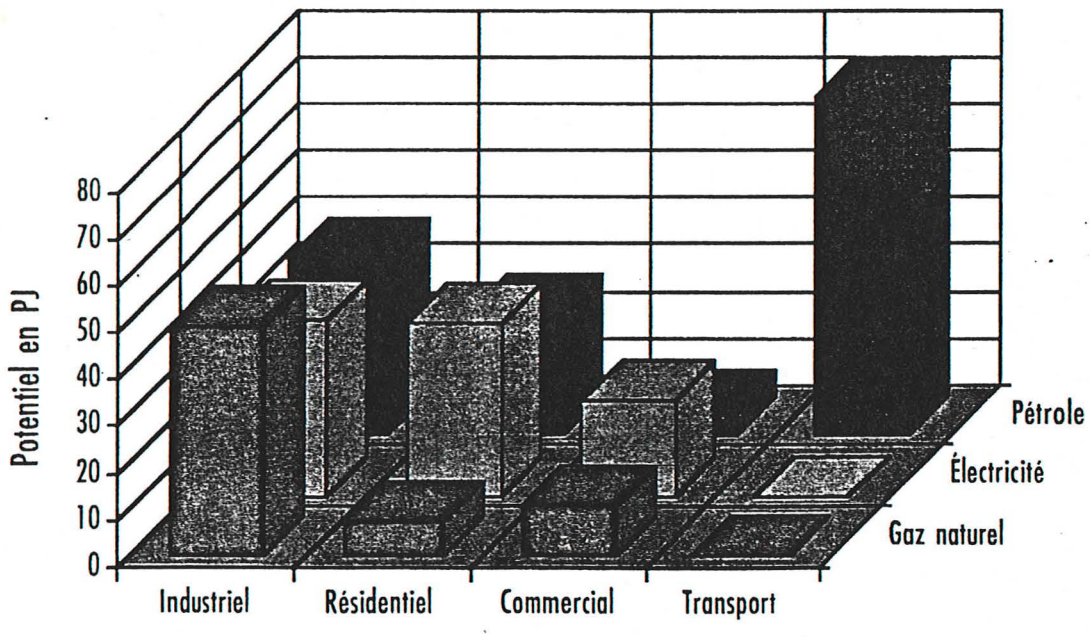
Il existe peu d'études sur les potentiels d'économies d'énergie au Québec. Nous avons consulté les estimations du Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec (MER) de 1992 (travaux du GREPE), celles d'Énergie Mines et Ressources Canada (EMR) de 1991 et 1992 et celles d'Hydro-Québec de 1991 et de 1992.

6.5.1 *Estimations du* MER

La première étude globale sur l'évaluation des potentiels d'économies d'énergie au Québec a été publiée l'année dernière par le Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec (MER). Cette étude, dans le cadre de la présentation de la «Stratégie d'efficacité énergétique» du Québec en 1992, a été effectuée par le Groupe d'évaluation des potentiels en efficacité énergétique (GREPE) (MER, 1992c).

Selon les estimations du GREPE le potentiel théorique d'économies d'énergie, ici nommé potentiel théorique d'efficacité énergétique, s'élève à 304 PJ (7,3 Mtep), soit 22,6 % de la consommation énergétique du Québec en 1990 (1 348 PJ). Selon les horizons considérés ce potentiel correspond à environ 18 % et 16,5 % de la consommation québécoise de 2001 et de 2011, les estimations de la consommation pour 2001 étant de 40,5 Mtep et de 44 Mtep en 2011 (MER, 1992c). Les données du potentiel théorique peuvent être départagées selon les différents secteurs ou selon les différentes ressources. La figure 6.4 présente les résultats globaux obtenus par le GREPE.

Figure 6.4 Répartition du potentiel d'économies d'énergie au Québec, par secteur et par ressource, selon les travaux du GREPE.



Source: Données tirées de MER, 1992c.

La répartition du potentiel selon les différents secteurs est représentée à la figure 6.5. Selon l'étude ce serait le secteur industriel qui recèlerait le plus haut pourcentage d'économies d'énergie avec 41,1 % du potentiel théorique estimé, alors que les secteurs du transport (23,6) et résidentiel (23,0) en contiendraient chacun environ 23 % et le secteur commercial seulement 12,2 %.

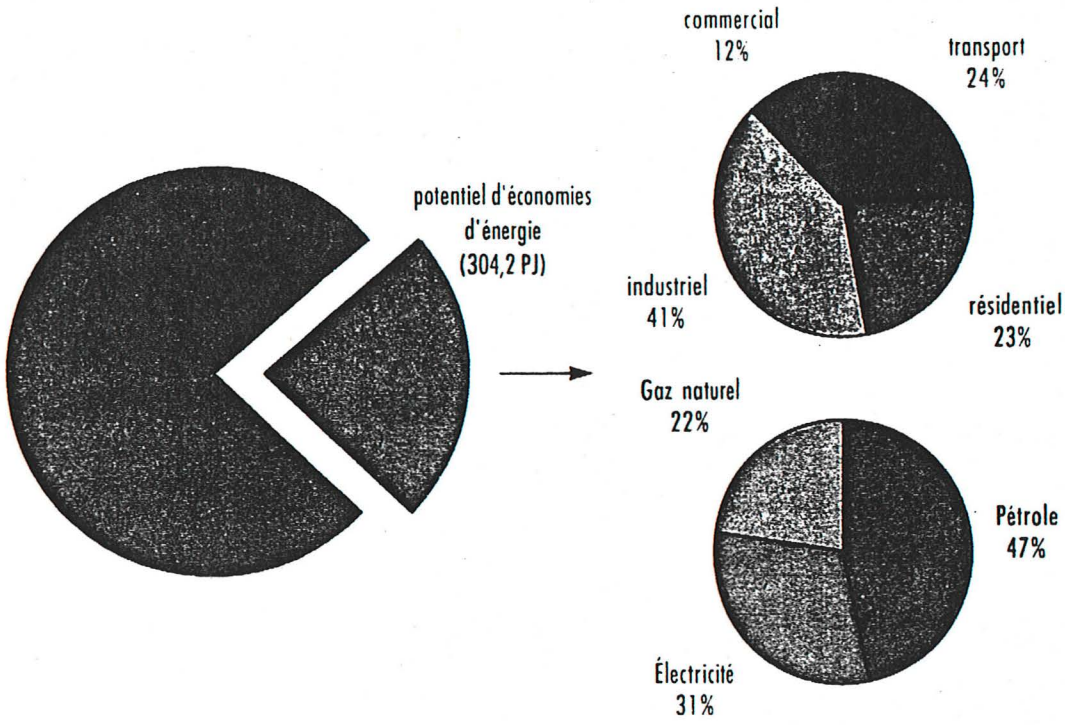
La répartition du potentiel selon les différentes ressources utilisées est aussi représentée à la figure 6.5. L'on constate que le pétrole recèlerait près de la moitié du potentiel théorique avec 46,5 %, alors que l'électricité avec 31,2 % et le gaz naturel avec 22,3 % renfermeraient le reste.

L'étude présente aussi une répartition plus poussée des données pour chacun des secteurs, avec l'évaluation des diverses mesures sélectionnées, ainsi que leurs répartitions selon les diverses ressources.

Malgré sa globalité cette étude n'évalue que les économies anticipées à partir des trois grandes ressources commerciales employées (pétrole, électricité et gaz naturel) et évacue certaines mesures particulières (pompe thermique, solaire passif et aménagement du territoire) ainsi que certains types de mesures (modification des comportements, sauf dans le secteur des transports). De plus, les auteurs de l'étude ne retiennent que les mesures dont le coût est inférieur aux coûts évités calculé sur la rentabilité de très court terme (moins de deux ans). Les auteurs n'ont pas retenu non plus les mesures qui pourraient modifier de façon significative les besoins actuels des consommateurs, déterminés par le niveau de confort.

Néanmoins, malgré ses limites, l'évaluation du potentiel théorique d'efficacité énergétique du GREPE permet de baliser le potentiel d'économies d'énergie au Québec. L'aspect globalisant de cette étude permet de fixer un niveau, que nous considérons plutôt comme un niveau minimum, compte tenu des limites, de la quantité d'énergie pouvant être économisée pour l'ensemble des usages énergétiques retenus dans l'étude. Toutefois, les économies d'énergie tendancielles sont incluses dans ce potentiel d'économies d'énergie de 22,6 % du bilan énergétique du Québec en 1990 (MER, 1992c).

Figure 6.5 Le potentiel d'efficacité énergétique du Québec, répartition par secteur de consommation et par forme d'énergie, 1990 (en énergie finale).



Source : Figure adaptée de MER, 1992c

6.5.2 *Estimations d'Hydro-Québec*

Dans le domaine de l'électricité, Hydro-Québec a publié deux études du potentiel d'économies d'énergie dans son secteur d'activité (Hydro-Québec 1991 et 1992c). Le document de 1992 présente une révision substancielle du document précédent. Le potentiel est nommé potentiel réalisable et potentiel technico-économique d'amélioration de l'efficacité énergétique.

Entre la publication de ces deux documents le potentiel total estimé est passé de 26 à 27,6 TWh, soit une augmentation de 6 % en un an. Toutefois, les évaluations sectorielles présentent des écarts plus considérables; le potentiel du secteur résidentiel est passé de 13,3 à 10,9 TWh (diminution de 18 %) et celui du secteur industriel a augmenté de 6,3 à 9,3 TWh (une variation de 47,6 %) (Hydro-Québec, 1991 et 1992c).

A l'intérieur du potentiel théorique, l'entreprise a déterminé ses objectifs pour l'an 2000, des objectifs qui représentent environ le tiers (33,7 %) du potentiel technico-économique. La figure 6.6 présente la consommation d'électricité des trois secteurs d'utilisation en 1991 ainsi que les potentiels estimés pour chacun des secteurs et les objectifs de l'entreprise pour l'an 2000. Le potentiel technico-économique estimé en 1992 (Hydro-Québec, 1992c) dans le domaine électrique sur un horizon

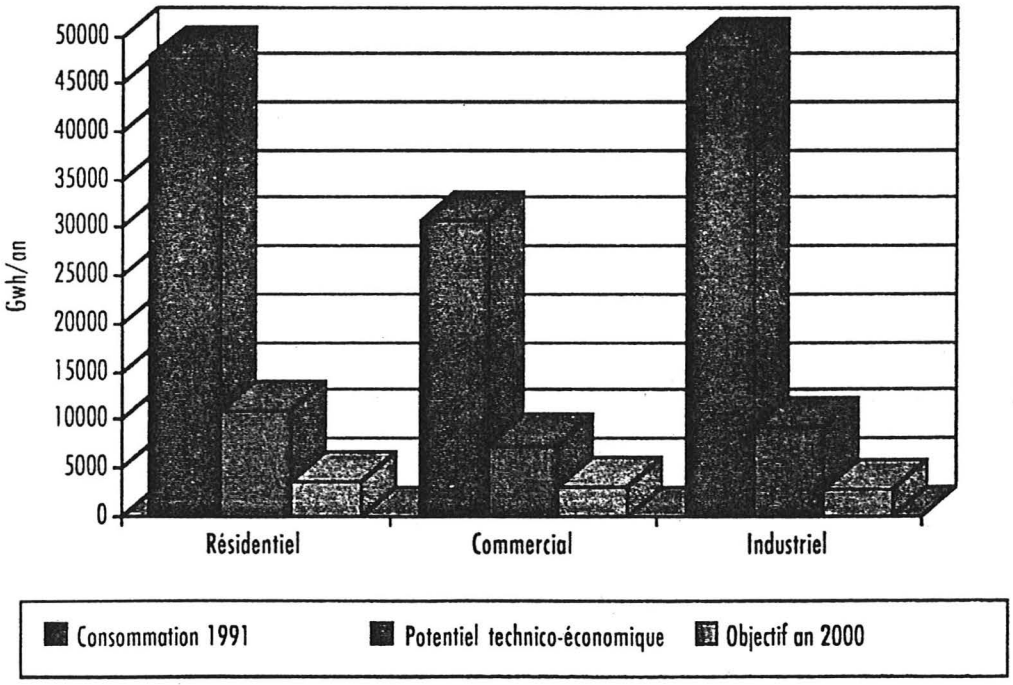
de 10 ans est présenté de manière détaillée au tableau 6.3. Le potentiel global équivaut à 21,7 % (27,6 TWh) de la consommation de 1991 (127,4 TWh).

Dans le secteur résidentiel les économies d'énergie anticipées s'élèvent à 10,9 TWh soit environ 22,8 % de la consommation actuelle de ce secteur (Hydro-Québec 1992c). Ce secteur a subi une forte diminution par rapport à l'évaluation de 1991 surtout en ce qui concerne le chauffage des locaux et de l'eau. Les mesures touchant le chauffage des locaux représentent la plus grande part de ce potentiel avec une estimation de 4 TWh, soit plus du tiers (36,7 %) du potentiel sectoriel.

Le secteur commercial offre un potentiel total de 7,4 TWh selon les estimations de 1992, en hausse de 1 TWh sur les estimations de 1991. L'éclairage ainsi que la climatisation et la ventilation contiennent la plus grande partie de ce potentiel qui représente 24,1 % de la consommation de 1991.

Le secteur industriel, en hausse de 3 TWh entre 1991 et 1992, offre un potentiel estimé maintenant à 9,3 TWh, soit 19,1 % de la consommation de ce secteur. L'ensemble des mesures regroupées sous la catégorie force motrice détient la plus grande part du potentiel avec 4,3 TWh, ce qui ne représente toutefois que 16,5 % de la consommation à ce titre. Cependant, les mesures touchant l'éclairage et représentant 1,2 TWh constituent 50 % de la consommation pour cette usage en 1991.

Figure 6.6 Potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique pour l'ensemble des marchés d'Hydro-Québec.



Source: Figure adapté de Hydro-Québec, 1992c.

Tableau 6.3 Potentiel technico-économique d'efficacité énergétique, volet économies d'énergie, ensemble des marchés d'Hydro-Québec.

MARCHÉS USAGE	CONSOMMATION 1991	POTENTIEL '91 TWh	POTENTIEL '92 TWh	VARIATION TWh	% DU NOUVEL ESTIMÉ SUR CONS.
Résidentiel					
Marché existant					
Chauffage des locaux	22,6	5,9	4,0	-1,9	17,7 %
Chauffage de l'eau	9,3	3,0	2,0	-1,0	21,5 %
Électroménagers	9,4	2,3	2,0	-0,3	21,3 %
Éclairage	2,6	1,3	1,1	-0,2	42,3 %
Climatisation et piscine	2,0	0,8	0,6	-0,2	30,0 %
Divers	2,0				
Nouvelle construction (1,2) 7,1			1,2	1,2	16,9 %
Total - marché résidentiel	47,9	13,3	10,9	-2,4	22,8 %
Commercial					
Marché existant					
Chauffage des locaux	5,2	1,3	1,3	0,0	25,0 %
Chauffage de l'eau	2,5	0,2	0,2	0,0	8,0 %
Éclairage	8,3	2,2	2,2	0,0	26,5 %
Climatisation et ventilation	7,2	1,9	1,9	0,0	26,4 %
Divers	7,5	0,8	0,8	0,0	10,7 %
Nouvelle construction (1,2) 5,7		0,0	1,0	1,0	17,5 %
Total - commercial	30,7	6,4	7,4	1,0	24,1 %
Industriel					
Force motrice					
Entraînements à fréquences variables					
• système de pompage	9,5	1,80	1,80	0,00	
• ventilation	2,9	1,45	1,40	-0,05	
Moteurs haut rendement	13,6	0,40	0,50	0,10	
Moteurs-générateurs	-	0,16	0,10	-0,06	
Entretien et ajustements	-	0,50	0,50	0,00	
Sous total force motrice	26,0	4,31	4,30	-0,01	16,5 %
Procédés autres force motrice (1)	17,4		1,40	1,40	8,0 %
Éclairage	2,4	0,69	1,20	0,51	50,0 %
Enveloppe thermique (3)	3,0		1,10*		36,7 %
Autres applications (4)(5)	-	0,31	0,31	0,00	
Gestion de l'énergie (5)					
• équipements	-	0,95	1,00	0,05	
Total - industriel	48,8	6,3	9,3	3,1	19,1 %
Grand total - tous les marchés	127,4	26,0	27,6	1,7	21,7 %

(1) Aucune estimation n'avait été réalisée pour cet usage au dernier exercice.
(2) Prévision de la consommation à l'an 2000, source: V.P. Planification générale.
(3) Chauffage des locaux (600 GWh), chauffage de l'eau (100 GWh) et ventilation autre que reliée à la force motrice (500 GWh).
(4) Transformateurs Haute-efficacité (34 GWh), turbine d'expansion (210 GWh) et échangeurs de chaleur dans les mines (61 GWh).
(5) Mesures s'appliquant à plusieurs usages difficilement décomposables.
* Comprend des mesures de récupération de la chaleur, ce qui vient accroître le gain potentiel d'efficacité énergétique.
Source: Tableau adapté de Hydro-Québec, 1992c.

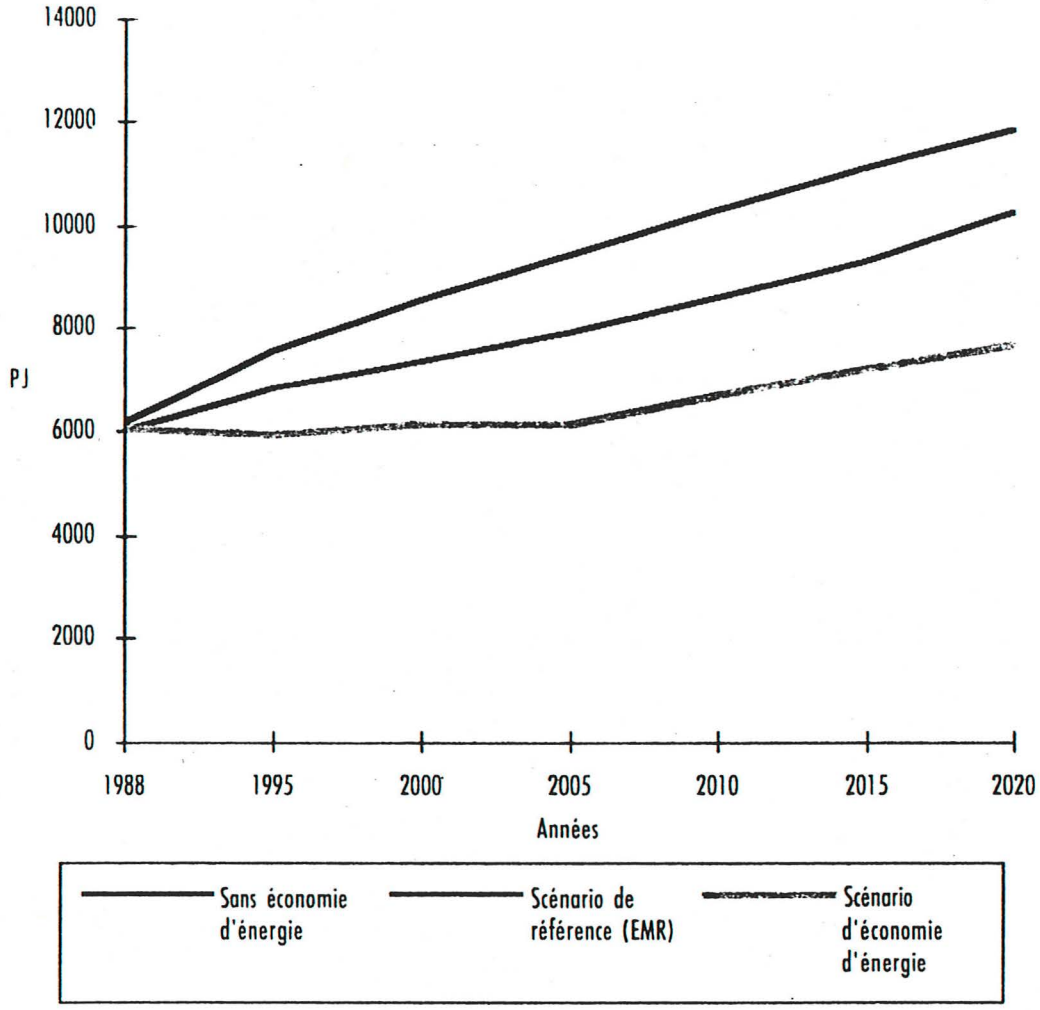
Outre la sélection de mesures exclusivement dans le domaine de l'électricité, les limites des estimations d'Hydro-Québec sont: des économies anticipées uniquement au niveau de la demande (consommateurs), des mesures retenues devant être sous le coût marginal de fourniture d'Hydro-Québec et une panoplie de mesures surtout concentrées sur les modifications techniques (amélioration du rendement énergétique). Compte tenue des limites de ces études, les estimations des économies d'énergie dans le domaine de l'électricité, particulièrement en ce qui concerne le potentiel théorique, ne permettent d'évaluer qu'un seuil minimum des économies d'énergie dans ce domaine.

6.5.3 *Estimations d'*EMR

Les données regroupées dans la présente section représentent les résultats de deux études commandées par le Ministère de l'Énergie, Mines et Ressources (EMR) du Canada (Peat Marwick Stephenson & Kellogg, 1991a et 1991b, ainsi que Jaccard et coll. 1992a et 1992b). Le mandat consistait à évaluer le potentiel d'efficacité énergétique au Canada, plus précisément le potentiel économiquement rentable (economically attractive) (Peat Marwick Stephenson & Kelogg, 1991a).

A partir des techniques disponibles actuellement et de l'année de base 1988, l'ensemble des secteurs, subdivisés selon les ressources utilisées, fut modélisé selon deux scénarios: un scénario sans économies d'énergie (SERF Frozen Efficiency) et un scénario tenant compte des économies d'énergie économiquement rentable (SERF Economic Potential). L'écart entre la courbe respective de ces deux scénarios détermine le potentiel réalisable d'économies d'énergie (economically attractive potential for energy efficiency). La figure 6.7 montre les résultats globaux de l'étude de Peat Marwick Stephenson & Kelogg(1991b). L'écart grandissant du potentiel réalisable jusqu'en 2020, 4 000 PJ: soit l'équivalent des deux tiers de la consommation canadienne de 1988, peut être estimé pour chacune des années. Un troisième scénario (EMR/EC Reference), développé conjointement par EMR et le Ministère de l'environnement du Canada (EC), sert de référence pour l'évaluation des prix du marché.

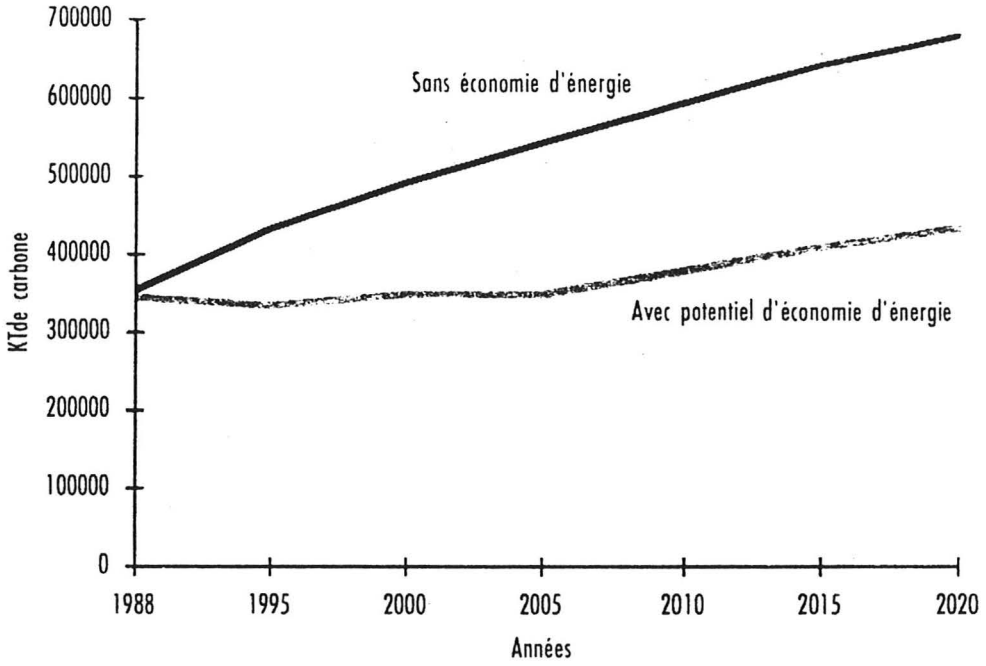
Figure 6 7 Comparaison entre divers scénarios pour l'utilisation future de l'énergie et potentiel d'économies d'énergie au Canada.



Source : adapté de Peat Marwick Stephenson & Kellogg (1991b)

L'impact environnemental sur les émissions de CO_2 est aussi évalué, la figure 6 8 montre les résultats selon les deux scénarios prévus. Selon les estimations, il serait possible de réduire de plus du tiers les émissions de CO_2 en l'an 2020 en réalisant entièrement le potentiel d'économies d'énergie considérées rentables (Peat Marwick Stephenson & Kelogg,1991b).

Figure 6.8 Émissions de dioxide de carbone au Canada selon deux scénarios énergétiques différents, 1988 - 2020.



Source : Figure adaptée de Peat Marwick Stephenson & Kelogg, 1991a

La répartition du potentiel canadien d'économies d'énergie en l'an 2020, selon les secteurs d'activités et leurs subdivisions par ressources, est présentée au tableau 6.4. Les secteurs industriel (1 372,4 PJ) et celui du transport (1 553,5 PJ) contiendraient la majeure partie du potentiel, soit 70 % (2 925,9 PJ) du potentiel total de 4 151,3 PJ (Peat Marwick Stephenson & Kelogg 1991b). Toutefois, les potentiels des secteurs résidentiel (604,6 PJ) et commercial (620,8 PJ) ne sont pas négligeables.

Tableau 6.4 Potentiel canadien d'économies d'énergie en 2020, selon les secteurs et par ressources.

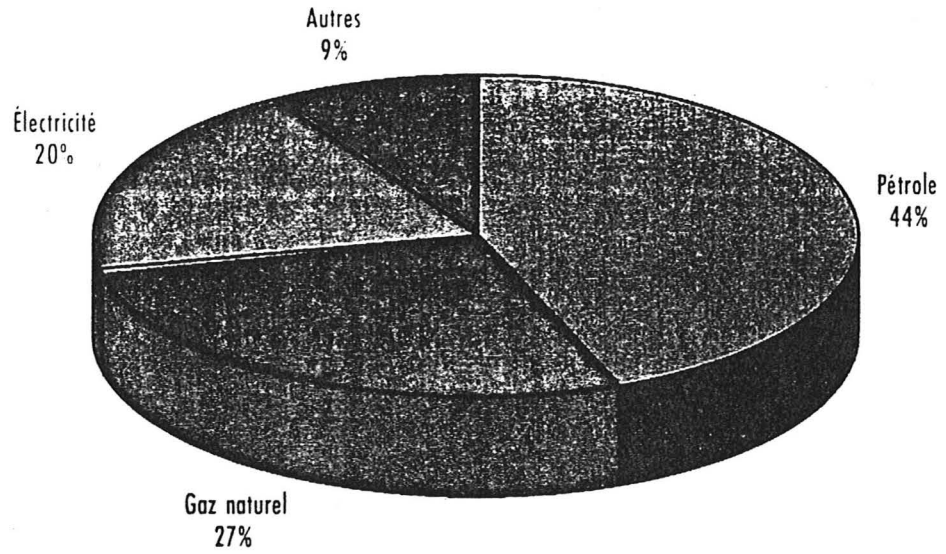
SECTEURS D'ACTIVITÉS:	RESSOURCES:	POTENTIEL: (PJ)
RÉSIDENTIEL	Pétrole	101,2
	Gaz naturel	299,8
	Électricité	203,6
	Autres	0,0
	Total:	604,6
COMMERCIAL	Pétrole	105,6
	Gaz naturel	212,6
	Électricité	302,6
	Autres	0,0
	Total:	620,8
INDUSTRIEL	Pétrole	234,9
	Gaz naturel	626,9
	Électricité	317,5
	Autres	193,1
	Total:	1372,4
TRANSPORT	Gaz naturel	0,0
	LPG'S	52,5
	Essence	1078,5
	Autres	422,5
	Total:	1553,5
TOTAL:		4151,3

Source: Données tirées de Peat Marwick Stephenson & Kellogg, 1991 b.

La répartition du potentiel selon une distribution par ressource est représentée à la figure 6.9. Le pétrole et le gaz naturel présentent les plus grands potentiels de gains avec respectivement 36,7 % et 28,8 % tandis que l'électricité contribuerait un autre 20 %.

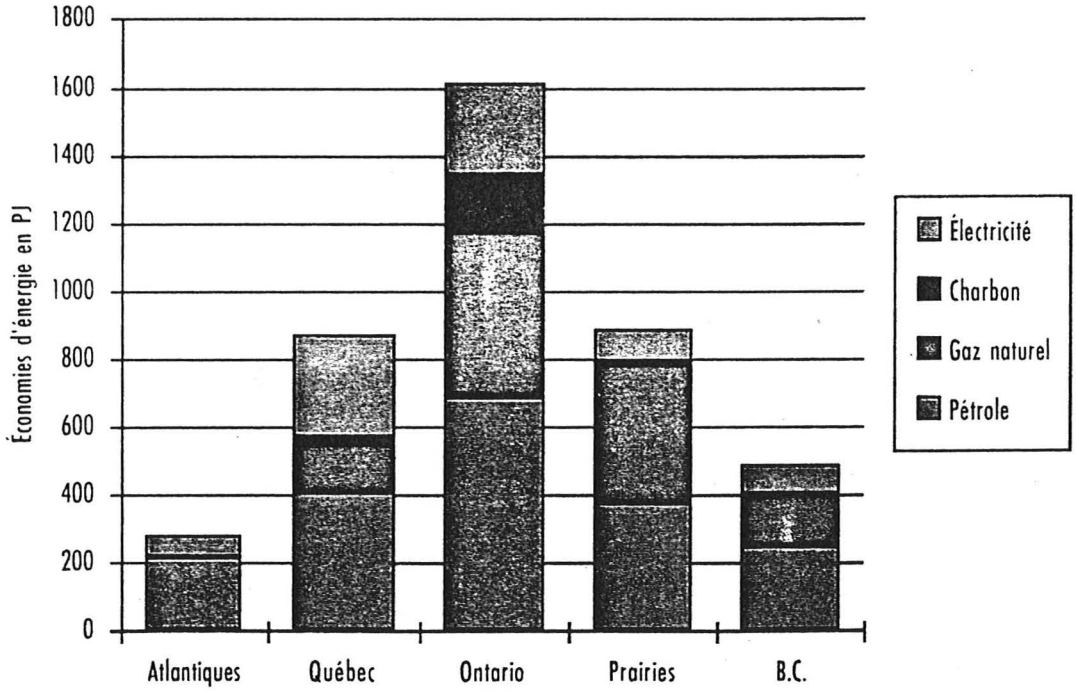
La figure 6.10 présente la répartition du potentiel canadien selon les régions et les ressources en 2020. L'Ontario contient la plus grande part des économies anticipées (1 617,27 PJ), alors que les Prairies (889,56 PJ) et le Québec (869,71 PJ) représentent deux entités importantes. Par ailleurs, le Québec représente le plus fort potentiel (297,24 PJ) en ce qui concerne l'électricité, tandis que l'Ontario occupe cette position pour les autres ressources, notamment 90 % (173,6 PJ) du potentiel d'économies d'énergie du charbon.

Figure 6.9 Répartition du potentiel canadien d'économies d'énergie, selon les ressources en 2020.



Source : Données tirées de Peat Marwick Stephenson & Kellogg (1991a).

Figure 6.10 Répartition canadienne des économies d'énergie selon les régions et les principales ressources, 2020.



Source : Données tirées de Peat Marwick Stephenson & Kellogg (1991b).

La méthodologie particulière, comparaison des deux scénarios, et l'horizon de temps considéré, jusqu'à l'an 2020, rend difficilement comparables les présentes données avec celles analysées auparavant. Toutefois, il est possible de comparer les résultats québécois, selon la répartition par ressources, pour l'année 2000.

Le potentiel d'économies d'énergie pour le Canada en l'an 2000 est estimé à 2 354,5 PJ et celui du Québec à 497,2 PJ, soit 21 % du total canadien. Ce chiffre correspond à environ 37 % de la consommation québécoise estimée en 1990 (1 348 PJ). Pour l'an 2020, le potentiel québécois s'élèverait à 869,7 PJ, soit toujours équivalent à 21 % du potentiel canadien (4 150,8 PJ). Le potentiel québécois en l'an 2000, ainsi que celui des autres régions canadiennes, selon la répartition par ressources est représenté au tableau 6.5. Les produits pétroliers représentent 56 % (277,6 PJ) du potentiel estimé pour l'ensemble des ressources, alors que l'électricité compte pour 36 % (177,9 PJ).

Tableau 6.5 Répartition du potentiel d'économies d'énergie au Canada en l'an 2000, selon les ressources et les régions.

	ATLANTIQUES	QUÉBEC	ONTARIO	PRAIRIES	B.C.	CANADA
Pétrole	89,41	127,73	162,83	84,81	72,01	536,78
Gaz naturel	1,95	31,79	157,84	160,81	50,80	403,20
Charbon	0,06	7,85	85,94	1,56	0,00	95,41
Électricité	40,89	177,89	167,16	59,96	53,70	499,60
Essence	56,86	139,13	293,65	160,13	86,23	736,00
Fuel d'avion	3,68	10,79	16,94	8,17	8,62	48,20
LGN	0,39	1,98	15,15	11,53	6,26	35,30
Total :	193,25	497,16	899,51	486,96	277,62	2354,49

Source : Données tirées de Peat Marwick Stephenson & Kelogg, 1991b.

L'an dernier EMR réajustait les données concernant le secteur industriel, un secteur jugé prioritaire et par ailleurs mal connu (Jaccard et coll, 1992a). Les premières études de Peat Marwick Stevenson & Kelogg (1991a et 1991b) furent précisées en ce qui concerne certaines industries. Le secteur industriel requiert une méthodologie et une quête de données qui souvent faisaient défaut dans les études antérieures ce qui nécessita donc l'élaboration de nouveaux modèles de simulation (Jaccard et coll., 1992b).

Au Québec, les industries du ciment et de l'aluminium furent analysées plus particulièrement. Selon les techniques d'efficacité énergétique employées le potentiel d'économies d'énergie pour 2020 oscillerait entre 5,6 et 45,1 % de la demande énergétique pour l'industrie de l'aluminium et entre 4,4 et 17,3 % pour les industries du ciment (Jaccard et coll., 1992b). La taille du potentiel d'économies d'énergie dans l'industrie de l'aluminium, forte consommatrice d'électricité au Québec, est de première importance, d'autant plus que ce potentiel paraît réalisable pour une grande part (près de 80 %) dès l'an 2000 selon les auteurs (Jaccard et coll., 1992b).

6.6 DE L'ÉVALUATION DES POTENTIELS AUX OBJECTIFS DE RÉALISATION

Des conclusions générales sur l'évaluation des potentiels d'économies d'énergie ne sauraient être complètes sans la présentation des objectifs d'économies d'énergie fixés par les divers intervenants du domaine de l'énergie. La stratégie d'efficacité énergétique du Québec et l'entreprise Hydro-Québec présentaient récemment leurs objectifs en ce sens.

6.6.1 *Objectifs de la Stratégie d'efficacité énergétique du* MER

Dans le cadre de la Stratégie d'efficacité énergétique (1992) du Québec, seul 34 % du potentiel théorique évalué par le GREPE, soit 103 des 304 PJ, constituerait les économies d'énergie réalisables, ce qui inclut d'ailleurs les économies tendancielles (MER, 1992c). Ces dernières représentent 36,8 % des économies dites réalisables, c'est-à-dire environ 12 % du potentiel total. Un autre tiers (35 %) de l'objectif du MER est constitué par les objectifs d'économies d'énergie d'Hydro-Québec. Les objectifs propres de la stratégie du MER ne représentent plus que 9,5 % du potentiel théorique estimé par le GREPE ou 2,2 % de la consommation énergétique québécoise de 1990 (29 N/1 348 PJ). Sur les horizons 2001 et 2011, ces objectifs se réduisent respectivement à 1,7 % et 1,6 % du bilan énergétique total.

Conséquemment, les objectifs de la stratégie du MER nous apparaissent à priori peu ambitieux. L'impact environnemental d'objectifs si faibles ne pourra être que peu significatif et secondaire dans le bilan de l'utilisation de l'énergie au Québec.

6.6.2 *Objectifs du programme d'efficacité énergétique d'*Hydro-Québec

L'on ne retrouve pas dans le dernier document d'Hydro-Québec (Hydro-Québec, 1992c) de justification détaillée des critères de détermination des objectifs d'économies d'énergie par rapport au potentiel technico-économique estimé. L'objectif d'économies d'énergie est passé de 12,9 TWh en 1991 à 9,3 TWh en 1992, grâce surtout à l'exclusion des économies d'énergie tendancielles.

Des 27,6 TWh du potentiel technico-économique estimé par l'entreprise en 1992, les objectifs d'économies d'énergie maintenant en vigueur s'élèvent à 9,3 TWh à l'horizon 2000, soit 33,7 % du potentiel estimé. Cet objectif de 9,3 correspondra à environ 5,4 % des ventes d'électricité régulières anticipées au Québec seulement en l'an 2000 (172,7 TWh), ou à 4,7 % des besoins prioritaires en l'an 2000 (196,2 TWh), selon les prévisions de la demande d'Hydro-Québec (scénario moyen) (Hydro-Québec, 1992d).

Les objectifs du programme d'efficacité énergétique d'Hydro-Québec nous apparaissent donc eux aussi peu ambitieux et conséquemment, l'impact environnemental de tels objectifs ne saurait être vraiment significatif sur l'ensemble de l'utilisation de l'énergie au Québec.

6.7 CONCLUSION

Compte tenu du faible impact environnemental de la production d'économies d'énergie, comparativement à la production équivalente de ressources énergétiques, la réalisation d'économies d'énergie devrait être préférable à toute production de nouvelles ressources énergétiques.

Les estimations du potentiel d'économies d'énergie, tant au Canada qu'au Québec, varient de façon significative, mais permettent à tout le moins de penser qu'une grande part de la demande future pourrait être satisfaite par le recours à la réalisation d'économies d'énergie. Selon Hydro-Québec, le potentiel technico-économique d'efficacité énergétique s'élèverait à 21,7 % dans le domaine de l'électricité. Selon le GREPE le potentiel théorique d'efficacité énergétique de l'ensemble des ressources au Québec s'élèverait à 22,6 % et selon les travaux d'EMR le potentiel économiquement rentable serait globalement d'environ 66 % pour l'ensemble du Canada à l'horizon 2020 et se situerait à environ 37 % au Québec sur l'horizon 2000. Compte tenu des limites relatives à ces diverses évaluations, il semble que les potentiels d'économies identifiés pour le Québec constituent un seuil minimum et que des efforts importants devraient être investis dans la recherche de nouveaux potentiels.

La croissance anticipée de la demande d'électricité au Québec serait de 2,2 % annuellement, pour le scénario moyen, ce qui signifie une hausse de 30 % (1992-2000) à l'horizon 2000 des ventes régulières d'électricité au Québec (Hydro-Québec, 1992d). La croissance serait cependant moins importante selon le scénario faible; progressant de 1,4 %, les ventes régulières se situeraient en l'an 2000 à seulement 18 % au-dessus de celles de 1992. Selon les estimations du MER, la demande énergétique totale au Québec en l'an 2001 s'élèverait à 1 784 PJ, soit 436 PJ ou 32 % de plus qu'en 1990 (MER, 1992c).

Compte tenu des prospectives de la demande énergétique future, le potentiel d'économies d'énergie semble donc suffisamment abondant pour combler les nouveaux besoins énergétiques du Québec au cours des prochaines années, tant pour la demande d'électricité que la demande de l'ensemble des ressources énergétiques.

De plus, les importantes économies d'énergie anticipées dans le domaine de la fabrication de l'aluminium, entre 5,6 et 45,1 % selon Jaccard et coll.(1992a), pourraient bien compenser la hausse de la demande prévue dans ce sous-secteur, estimée en forte progression pour les prochaines années au Québec.

L'impact environnemental de la production d'énergie évitée, grâce à la réalisation d'économies d'énergie, est moindre que celui qu'aurait occasionné la production de ressources. Il en est de même pour leurs consommations. À titre d'exemple, la

baisse anticipée des émissions de CO_2 au Canada consécutive à la réalisation d'économies d'énergie serait surtout attribuable au secteur du transport, fortement consommateur de produits pétroliers. Plus du tiers des émissions canadiennes pourrait être évité en l'an 2020 en réalisant le potentiel d'économies d'énergie identifiées. Étant donné le poids du secteur des transports dans les émissions québéçoises ce pourcentage pourrait être substantiellement supérieur.

7. POTENTIEL DE SUBSTITUTION ÉNERGÉTIQUE AU QUÉBEC

7. POTENTIEL DE SUBSTITUTION ÉNERGÉTIQUE AU QUÉBEC

Tout comme pour les économies tendancielles, la substitution énergétique est un processus qui accompagne l'évolution naturelle des techniques. L'évolution des sociétés industrielles montre une cascade de substitutions énergétiques allant de l'utilisation du bois à celle du charbon puis du pétrole. Les diverses substitutions énergétiques survenues depuis plus d'un siècle dans l'utilisation de l'énergie au Québec suivent cette tendance mondiale, seule la récente place dominante prise par l'électricité, plus spécifiquement l'hydroélectricité, s'en distingue.

La substitution énergétique peut aussi, à l'exemple des économies d'énergie induites, faire partie d'une politique énergétique et ainsi participer activement à la maîtrise de l'énergie. Les bénéfices environnementaux de la substitution sont multiples mais il existe de fortes barrières à sa réalisation, notamment la présence de marchés captifs.

La substitution énergétique, nommée en anglais «fuel-switching», fait partie d'un ensemble plus vaste nommé diversification des ressources ou diversification énergétique. Dans ce sens, la substitution vise à favoriser l'utilisation des ressources les moins néfastes à l'environnement et parallèlement celles dites durables.

Aucune étude complète ne semble avoir été réalisée sur le potentiel de substitution énergétique au Québec. Les travaux disponibles sont avant tout des études économiques qui visent à démontrer la viabilité économique d'une ressource par rapport à une autre, telle que l'étude de Bernard (1992) sur la substitution de l'électricité par le gaz dans le cadre du dernier plan de développement d'Hydro-Québec, ou celle de Rabeau (1992) sur la place de la gestion intégrée des ressources, particulièrement du gaz naturel, dans le bilan énergétique québécois. L'Ontario a bien une étude sur le potentiel de substitution mais on n'y tient compte que de la substitution de l'électricité par le gaz naturel, selon le critère de la rentabilité économique (Ontario-Hydro, 1991).

7.1 DÉFINITION DE LA SUBSTITUTION ÉNERGÉTIQUE

La substitution énergétique fait partie du cadre plus large de la diversification énergétique; elle a aussi des liens souvent étroits avec l'efficacité énergétique, sans toutefois nécessairement permettre la réalisation d'économies d'énergie.

La définition retenue pour la substitution énergétique est la suivante: «le remplacement d'une ressource énergétique par une autre pour la satisfaction d'un usage

bien précis, ou le changement d'un procédé ou d'un processus énergétique par un plus performant»(Leduc, 1992).

La diversification des ressources signifie l'élargissement de l'utilisation des ressources énergétiques, ce qui comprend la diversité de provenance des ressources, la diversité des ressources elles-mêmes, la versatilité des formes et des qualités d'énergie ainsi que le développement de ressources nouvelles et douces pour l'environnement. La substitution énergétique s'insère alors comme l'un des moyens d'atteindre la diversification des ressources.

La substitution est donc un moyen (ensemble de mesures) alors que les économies d'énergie sont le résultat de mesures, induites ou non. La recherche des potentiels de substitution suppose qu'il y a une certaine capacité de substitution, donc que les marchés actuels des ressources ne sont pas tous des marchés captifs. La substitution peut comprendre la permutation des ressources (remplacement) et la modification des paramètres dans les procédés et les processus, comme par exemple l'utilisation de la bi-énergie. Par la substitution il est possible, mais ce n'est pas l'objectif principal et c'est rarement le cas, de réaliser des économies d'énergie.

7.2 OBJECTIFS DE LA SUBSTITUTION ÉNERGÉTIQUE

Dans le cadre d'un développement énergétique durable, tout comme pour les économies d'énergie, plusieurs raisons militent en faveur de la substitution énergétique:

- Conservation de l'environnement (ressources moins dommageables);
- Amélioration du taux de dépendance énergétique (ressources nationales);
- Augmentation de la sécurité des approvisionnements (diversité des sources);
- Diminution des pertes (par l'efficacité énergétique);
- Augmentation de la part des ressources durables et renouvelables;
- Développement des énergies nouvelles (besoins futurs): pérennité des ressources énergétiques;
- Délais de réalisation plus courts (cogénération);
- Prolongation de la durée de vie des ressources épuisables.

7.3 MESURES D'INTERVENTIONS DE SUBSTITUTION ÉNERGÉTIQUE

L'on peut réaliser des substitutions énergétiques par deux grands types (moyens) de substitution, soit par une substitution intégrale, soit par une substitution partielle. Il existe aussi une substitution énergétique dite naturelle, comme dans le cas des économies d'énergie tendancielles.

7.3.1 *Substitution intégrale (complète)*

Il s'agit du remplacement pur et simple de l'utilisation d'une ressource énergétique par une autre; le remplacement d'une fournaise à l'huile par des plinthes électriques ou le remplacement de produits pétroliers par des combustibles de substitution en sont deux exemples.

Le processus de la «substitution énergétique tendancielle» ou substitution dite naturelle agit dans ce sens. Dans ce cas l'évolution des techniques et de la conjoncture énergétique entraîne des modifications dans les ressources employées.

7.3.2 *Substitution partielle (incomplète)*

Il s'agit du remplacement d'une partie des ressources énergétiques utilisées par un système, la ressource principale continuant d'être employée. C'est par exemple le cas des nouvelles fournaises fonctionnant à la bi-énergie (gaz/électricité) où l'on recherche l'utilisation optimale des différentes ressources.

Ce peut aussi être l'emploi dans un même procédé ou processus, d'une nouvelle ressource énergétique autrement perdue, notamment les rejets thermiques. Il y a donc ici deux ressources (ressources secondaires) à la sortie, par exemple les systèmes de cogénération (production simultanée de deux ressources) en remplacement d'un système produisant une seule ressource. Dans ce cas il y a augmentation du rendement énergétique de l'ensemble du système. La cogénération peut aussi bien faire partie des mesures de substitution énergétique que des moyens de réaliser des économies d'énergie.

7.4 ÉVALUATION DES POTENTIELS DE SUBSTITUTION ÉNERGÉTIQUE

Aucune méthodologie reconnue et unique n'existe afin de déterminer la capacité de substitution énergétique d'un marché énergétique. L'étude de marché de type classique est le plus souvent employée, tout comme une approche similaire, mais non aussi sytématique, que celle concernant le potentiel d'économies d'énergie. Toutefois, la question des potentiels de substitution énergétique est encore très peu étudiée et donc fort peu documentée. La plupart du temps ce ne sont que des analyses de cas qui sont réalisées, notamment en ce qui concerne les possibilités de bi-énergie et de cogénération. Les évaluations sont donc souvent sectorielles et fragmentaires. La réutilisation des rejets thermiques fait la plupart du temps partie des potentiels d'économies d'énergie.

Toutefois, il existe des modèles technico-économiques permettant de simuler le comportement d'un système énergétique en fonction de certains critères environnementaux, mais non de l'ensemble de l'impact environnemental de l'utilisation de l'énergie, ainsi que des possibilités de substitution. C'est notamment le cas du

modèle «Markal» (Loulou et coll., 1992) utilisé au Québec dans le cas de la simulation de scénario tenant compte de paramètres de la qualité de l'air.

Les estimations de potentiels sont donc faites à partir de la connaissance issue de l'analyse de systèmes énergétiques concrets ou estimés, mais rarement pour l'ensemble des usages énergétiques.

En fait, le seul domaine assez bien connu dans la substitution énergétique concerne le remplacement de l'électricité par le gaz, là où il apparaît avantageux de le faire. Le gaz naturel détiendrait un avantage économique compararatif sur l'électricité, en ce qui concerne le chauffage de l'espace et de l'eau (Chernick et coll., 1989). Cet avantage serait plus important advenant l'éventualité d'une plus juste tarification entre les deux ressources, notamment en ce qui concerne les bas tarifs de l'électricité dans le secteur industriel (Bernard, 1991). Toutefois, ces études ne tiennent pas vraiment compte de l'impact environnemental de la substitution.

7.5 ÉVALUATION DES POTENTIELS AU QUÉBEC

Il est presque impossible de distinguer les potentiels de substitution énergétique avec ceux des économies d'énergie dans la plupart des études. Les deux processus sont malencontreusement souvent confondus dans les résultats obtenus de la mise en place d'une même mesure.

7.5.1 *Évaluation du* MER

Les évaluations du potentiel d'économies d'énergie du GREPE comprennent une certaine estimation du potentiel de substitution énergétique, comme si dans tous les cas il y avait réalisation d'économies d'énergie. Le remplacement d'une chaudière au mazout par une chaudière au gaz naturel est avant tout une opération de substitution énergétique, même si par le remplacement d'une ancienne chaudière par une plus récente on améliore le rendement énergétique et conséquemment l'on réalise des économies d'énergie. Toutefois, l'aspect substitution est dans ce cas plus important que l'aspect économies d'énergie, car on peut très bien remplacer une ressource par une autre sans qu'il y ait économies d'énergie. Par contre la juxtaposition de ces deux aspects dans une même opération est tout à fait souhaitable et devrait être recherchée.

Les auteurs de l'étude, préoccupés par les économies d'énergie, n'ont pas tenté d'évaluer le potentiel de substitution pour plusieurs des usages étant donné la rentabilité très faible de telles mesures, notamment de très longues périodes de récupération des coûts (MER, 1992(d)). Il est par conséquent impossible d'établir un bilan global du potentiel de substitution énergétique au Québec, du moins à partir de ces données.

7.5.2 Évaluation d'Hydro-Québec

L'entreprise Hydro-Québec ne tient compte que très partiellement de l'évaluation de la substitution énergétique à l'intérieur de son programme d'efficacité énergétique dans son dernier plan de développement (Hydro-Québec 1991 et 1992c).

Le potentiel technique estimé concernant la bi-énergie dans le secteur résidentiel est de 9,2 TWh, alors que le potentiel économique d'ici dix ans était évalué en 1991 à seulement 1,5 TWh et que l'objectif d'Hydro-Québec était fixé à 0,85 TWh (Hydro-Québec, 1991). Dans le secteur commercial et institutionnel le potentiel technique est de 8 TWh, le potentiel économique se situe entre 2 et 3 TWh et l'objectif de l'entreprise est de 0,8 TWh.[1] Ces potentiels de substitution par la bi-énergie sont à mettre en comparaison avec le potentiel technico-économique d'économies d'énergie évalué par Hydro-Québec en 1992 à 27,6 TWh (Hydro-Québec, 1992a).

L'entreprise Hydro-Québec est avant tout intéressée aux processus de substitution vers l'électricité, elle ne prend donc pas en considération les autres substitutions possibles (Rabeau, 1992). Ainsi, on n'évalue pas les substitutions de l'électricité vers le gaz naturel ou n'importe quelle autre ressource. Le dernier plan de développement de l'entreprise «ne tient pas compte de la substitution potentielle vers d'autres sources d'énergie» (Bernard, 1992). Bien entendu, «l'approche étroite retenue ne porte que sur le marché propre à Hydro-Québec» (Rabeau, 1992). Les évaluations du potentiel ne peuvent être alors que partielles et ne permettent nullement l'évaluation du potentiel de substitution énergétique au Québec dans le domaine de l'électricité.

7.5.3 Évaluation de Gaz Métropolitain

L'an dernier, l'entreprise Gaz Métropolitain (GMI) estimait entre 11,9 et 17,2 TWh, à l'horizon 1997, le potentiel de substitution réalisable grâce au gaz naturel (Rabeau, 1992). Ce potentiel total incluait la substitution de l'électricité (3,6 TWh) et du mazout (3,0 TWh) dans les usages de chauffe, ainsi que la conversion de la centrale de Tracy au gaz naturel (5,3 à 10,6 TWh). L'utilisation en bi-énergie (3,5 TWh) et en cogénération (7,2 TWh), ainsi que l'emploi du gaz dans les nouvelles constructions (4,0 TWh), représentaient un autre potentiel de 14,7 TWh en substitution énergétique (Rabeau, 1992).

Ce potentiel total de substitution vers le gaz naturel se situant entre 26,6 et 31,9 TWh se compare avantageusement aux 15,8 et 28,9 TWh d'augmentation de la demande prévue d'électricité, pour le même horizon (1997), par les scénarios «faible» et «moyen» d'Hydro-Québec (Hydro-Québec, 1992d).

[1] Il est important de noter que les objectifs de bi-énergie ne font désormais plus l'objet de mesures dans le cadre des études du potentiel d'«efficacité énergétique», comme dans le cas de la plus récente étude, celle de mars 1992(Hydro-Québec, 1992c).

7.5.4 Évaluation d'Ontario-Hydro

Selon les plus récentes études sur le potentiel de substitution en Ontario, près de 37 % de la demande évitée d'ici l'an 2000, pourrait provenir de la substitution de l'électricité par le gaz (Ontario-Hydro, 1991). Le potentiel de substitution économiquement rentable de l'électricité par le gaz naturel équivaudrait à 3 120 MW de puissance en l'an 2000, uniquement dans les secteurs résidentiel (1 770 MW) et commercial (1 360 MW). Les mesures concerneraient surtout les usages de chauffe et les besoins d'eau chaude dans les deux secteurs en question, le secteur industriel ayant déjà semble-t-il effectué d'importantes substitutions.

7.5.5 Évaluation des bénéfices environnementaux

Du point de vue environnemental, toute substitution énergétique devrait promouvoir le choix d'une ressource dont les impacts environnementaux seraient moindres. Une stratégie de substitution énergétique devrait donc favoriser les substitutions vers des ressources énergétiques dites douces ou vers celles à moindres impacts.

Il serait souhaitable de pouvoir remplacer l'utilisation des ressources présentant les plus grands impacts ou le plus grand nombre d'impacts environnementaux. L'emploi des produits pétroliers fait sans aucun doute partie de ce groupe. Le pétrole majoritairement employé dans le secteur du transport, à l'heure actuelle au Québec, pose le problème des marchés dits captifs. Toute substitution dans ce domaine rencontre des barrières difficilement franchissables. Par contre, au cours des années 70 et 80, il y eu substitution de l'électricité aux produits pétroliers pour le chauffage des résidences québécoises; ce processus est presque complété maintenant, notamment pour les nouvelles constructions.

La substitution vers l'électricité des usages du gaz naturel peut être envisagée du point de vue environnemental mais entraîne plusieurs inconvénients. Tout en réduisant la diversification des ressources, de telles substitutions entraînent de fortes augmentations de la puissance nécessaire en période de pointe, notamment en ce qui concerne les usages reliés au chauffage. Ceci a en effet un impact significatif sur la configuration de la charge («load shape») et conséquemment oblige un surplus d'équipement de production nécessaire à la satisfaction de la demande de pointe.

7.6 CONCLUSION

Les données actuellement disponibles, plus que parcellaires, sur le potentiel de substitution énergétique au Québec, comme d'ailleurs les critères d'analyse de telles substitutions, sont insuffisantes pour permettre des conclusions précises et concrètes.

La substitution énergétique s'inscrit dans une démarche visant la minimisation de l'impact environnemental de l'utilisation de l'énergie, par le remplacement, même partiel, de ressources énergétiques grandement néfastes à l'environnement par de moins dommageables. Du point de vue environnemental, toute stratégie de substitution énergétique devrait avoir comme premier objectif l'emploi des ressources les moins dommageables pour l'environnement. Du point de vue énergétique, une stratégie de substitution priorise le remplacement de ressources épuisables par des ressources durables ou à tout le moins renouvelables. Bien entendu les limites techniques et économiques doivent être prises en compte afin de compléter l'approche. Toutefois, la substitution énergétique sur la base unique de critère de rentabilité économique s'insère difficilement dans une perspective environnementale d'utilisation de l'énergie.

Au Québec la substitution énergétique a grandement profité des chocs pétroliers des années 70. D'importantes substitutions furent réalisées au cours des deux dernières décénnies, particulièrement par le remplacement des usagers de chauffe au pétrole par de l'électricité. Du point de vue environnemental cela semble représenter un bénéfice important, tout comme d'ailleurs au point de vue énergétique (ressource durable). Toutefois, aucune évaluation du potentiel de substitution énergétique au Québec ne permet d'appréhender les gains futurs en ce sens.

8. CONCLUSION ET ORIENTATIONS

8. CONCLUSION ET ORIENTATIONS

Compte tenu des limites intrinsèques de cette recherche qui ne considère que les effets environnementaux de l'utilisation de l'énergie, sans intégrer les composantes économiques, sociales et politiques de la maîtrise de l'énergie, les orientations suggérées ne peuvent être que partielles et ne devraient donc constituer qu'un des éléments d'une approche plus globale. Nous présentons, ici, les principales conclusions des chapitres précédents de même que des orientations qui nous apparaissent conséquentes à ces conclusions.

8.1 PRINCIPALES CONCLUSIONS

La consommation énergétique au Québec s'est stabilisée au cours des dernières années à un niveau similaire à celui qui prévalait au début des années 1970. Bien que cette consommation soit supérieure à celle des années 1982-1985, elle démontre tout de même une meilleure efficacité générale étant donné la croissance économique qu'a connu le Québec au cours de cette période. Cependant, la consommation per capita demeure une des plus élevées au monde et permet donc de croire que des économies d'énergie substantielles peuvent encore être réalisées.

Par ailleurs, le bilan énergétique du Québec repose essentiellement sur l'utilisation du pétrole et de l'électricité comme principales ressources énergétiques. Le gaz naturel et, dans une moindre mesure, la biomasse complètent le bilan. Le pétrole et le gaz sont importés mais l'électricité est principalement produite par les ressources hydrauliques disponibles au Québec. De façon globale, l'autonomie énergétique du Québec est relativement faible (environ 35%) et repose sur sa production d'hydroélectricité.

D'un point de vue environnemental, les filières hydrauliques sont parmi celles qui présentent le moins d'impacts. La ressource est durable, produisant un flux d'énergie continu et pratiquement inépuisable. Ces filières ont peu d'impacts globaux et spécifiques. Par contre, spécialement dans le cas de la filière hydraulique avec réservoir, les impacts sur le patrimoine mondial peuvent être majeurs.

Les ressources importées, c'est-à-dire le pétrole et le gaz naturel, présentent pour leur part des impacts beaucoup plus importants sur l'environnement. Ce sont des ressources épuisables dont les stocks ne peuvent pas être reconstitués. Les impacts des filières du pétrole sont évalués majeurs pour tous les thèmes d'analyse mais ceux du gaz naturel sont considérés moyens en ce qui concerne les impacts spécifiques et ceux sur le patrimoine mondial.

Parmi les autres ressources disponibles au Québec, les filières de la biomasse présentent de facon générale des impacts importants, habituellement qualifiés de

moyen. L'utilisation réduite de ces ressources au Québec fait en sorte qu'actuellement les effets sur l'environnement sont minimes; par contre tout développement à grande échelle augmenterait significativement le niveau des impacts. Enfin, les filières éoliennes et solaires qui pourraient être éventuellement développées au Québec sont parmi celles dont les effets sont les plus faibles sur l'environnement.

Les processus d'économies d'énergie sont engagés et ont déjà donné des résultats comme le montre l'évolution du bilan énergétique. Cependant, les évaluations et les objectifs actuels d'économies d'énergie présentent deux faiblesses importantes. Tout d'abord l'évaluation des potentiels s'intéresse surtout aux mesures d'efficacité énergétique et aux économies d'énergie tendancielles; elles font conséquemment peu appel aux mesures d'utilisation rationnelle de l'énergie ce qui permettrait d'augmenter significativement les possibilités d'économies. Ensuite, la plus grande part des efforts a porté jusqu'à maintenant sur l'évaluation des potentiels d'économies d'énergie du secteur de l'électricité ce qui implique que des ressources comme le pétrole et le gaz naturel pourraient offrir un potentiel encore plus élevé que ce qui a été déterminé à ce jour.

Finalement, depuis les vingt dernières années, le processus de substitution du pétrole vers l'électricité a complètement modifié le bilan énergétique du Québec. D'un point de vue environnemental, cette substitution apparaît extrêment souhaitable étant donné que les impacts environnementaux de l'électricité apparaissent nettement moins importants que ceux des filières du pétrole.

8.2 ORIENTATION GLOBALE: LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

La conclusion globale, c'est-à-dire celle qui englobe l'ensemble des éléments de cette étude (bilan énergétique, impact environnemental, économies d'énergie et substitution énergétique), pourrait être formulée de la manière suivante: afin de satisfaire les besoins en ressources énergétiques l'alternative la plus viable pour l'environnement est représentée par la réalisation d'économies d'énergie. Aucune autre alternative énergétique ne présente moins d'impact négatif pour l'environnement.

Le potentiel estimé d'économies d'énergie au Québec semble suffisant pour subvenir aux besoins énergétiques québécois dans un futur immédiat, tant en ce qui concerne l'électricité que l'ensemble des ressources. L'instauration de programmes vigoureux d'efficacité énergétique et d'utilisation rationnelle de l'énergie permettraient d'atteindre une partie importante des potentiels d'économies d'énergie identifiés. L'impact environnemental de l'utilisation de l'énergie s'en trouverait comparativement réduit.

Cette conjoncture de réalisation du potentiel d'économies d'énergie permet d'entrevoir trois alternatives:

- Réduction de l'utilisation (production/consommation) de ressources énergétiques au Québec et conséquemment une baisse importante des impacts environnementaux tributaires.
- Maintien de l'utilisation (production/importation) actuelle des ressources énergétiques et constitution d'un surplus, notamment d'énergie hydro-électrique. Ce surplus pourrait alors être exporté vers les États voisins: Ontario, Nouveau-Brunswick et Nouvelle-Angleterre. Ces exportations, en remplacement de la production classique d'électricité (centrales thermiques aux combustibles fossiles et à l'uranium), permettraient de réduire régionalement l'impact environnemental de l'utilisation de l'énergie.[1]
- Maintien de l'utilisation (production/consommation) actuelle des ressources énergétiques et stratégie de substitution énergétique, ainsi que constitution probable d'un surplus. Les économies d'énergie réalisées servant à remplacer des ressources actuellement importées de l'extérieur du Québec, particulièrement le pétrole, le gaz naturel et le charbon. La substitution suppose aussi l'emploi de ressources moins néfastes pour l'environnement et qui soient concurrement d'une nature durable. Le probable surplus de ressources issu des économies d'énergie pouvant alors être employé selon l'une ou l'autre des deux premières alternatives.

Dans les trois cas, la conservation de l'environnement et le développement énergétique à long terme du Québec s'en trouveraient améliorés. Bien sûr, une politique qui chercherait à réunir ces trois alternatives serait elle aussi bénéfique à l'environnement et à la viabilité des ressources énergétiques québécoises.

8.3 ORIENTATIONS GÉNÉRALES

Les orientations générales présentent l'utilisation qui nous apparaît la plus souhaitable des diverses filières énergétiques disponibles en tenant compte essentiellement de leurs impacts respectifs sur l'environnement.

8.3.1 *Ressources durables*

Compte tenu du critère de durabilité des ressources énergétiques employées à travers les différentes filières, certaines apparaissent préférables du point de vue de la pérennité des ressources. Ce sont les différentes ressources identifiées comme durables, c'est-à-dire les filières hydrauliques, solaires, éoliennes et marémotrice.

1 Les récentes objections présentées à l'encontre du contrat d'exportation d'électricité d'Hydro-Québec vers l'État de New York (New York State, 1992(a) et 1992(b)) ne tiendraient plus, étant donné le très faible impact environnemental de programmes d'économies d'énergie comparativement à la production de nouvelles ressources énergétiques chez nos voisins.

La substitution vers de telles ressources représente ainsi un premier pas vers la réalisation d'un «développement énergétique durable».

Ces mêmes ressources sont également celles qui présentent le moins d'impacts sur l'environnement. Généralement elles participent peu aux impacts à effets globaux et elles génèrent peu d'impacts spécifiques. Leurs principaux effets se situent au niveau du patrimoine mondial, spécialement dans le cas de la filière hydraulique avec réservoir. La substitution des ressources les plus dommageables pour l'environnement, spécialement le charbon, le pétrole, le gaz et l'uranium, vers ces ressources à impacts moindres nous apparaît donc souhaitable, du moins d'un point de vue environnemental. En conséquence un effort accru de recherche et développement devrait être consacré aux filières solaires et éoliennes. Le développement des filières hydrauliques devrait également être encouragé mais un effort important devrait être apporté pour diminuer substantiellement les impacts à incidence sur le patrimoine mondial qui peuvent être générés lors de la mise en place de nouvelles centrales. Ces impacts, spécialement lors de la création de grands réservoirs. peuvent être majeurs et doivent être évités.

8.3.2 *Ressources renouvelables*

Compte tenu de l'impact relativement important des diverses ressources renouvelables (biomasse et géothermique) et des exigences nécessaires au maintien du taux de renouvellement, ces ressources ne présentent qu'un intérêt mitigé dans le cadre d'un développement énergétique durable. En effet, leurs différents impacts environnementaux, notamment ceux concernant la modification du paysage et de l'aménagement, ainsi que la pollution thermique et les impacts globaux dans le cas de la biomasse, s'ajoutent aux exigences du maintien du taux de renouvellement. Ceci favorise leur substitution par des ressources plus «douces». Le maintien du niveau actuel d'exploitation (secondaire) et pour certains usages, notamment l'utilisation des résidus de la biomasse forestière, ne devient viable que par un emploi accessoire ou complémentaire.

8.4 POLITIQUE DE DÉVELOPPEMENT ÉNERGÉTIQUE DURABLE

Les interactions entre l'impact environnemental de l'utilisation de l'énergie, la réalisation des potentiels d'économies d'énergie et la transition par la substitution énergétique, ainsi que l'interdépendance des ressources énergétiques et une vision du cycle complet de chacune d'elles militent en faveur de l'élaboration d'une politique globale et complète de l'utilisation de l'énergie. Cette politique devrait s'inscrire dans une politique de développement durable pour le Québec. En plus d'intégrer les impacts environnementaux des diverses filières énergétiques disponibles, cette politique devrait s'appuyer sur des évaluations de potentiels d'économies d'énergie et de substitution énergétique améliorées tout en tenant compte évidemment des impacts sociaux, politiques et économiques.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

ACEEE, 1989. **The potential for electricity conservation in New York State, Final Report,** September 1989, American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE), Prepared for: New York State Research and Development Authority, Niagara Mohawk Power Corporation and New York State Energy Office, Albany, NY, 304p.

AIE/IEA, 1982, **Perspectives énergétiques mondiales,** Agence Internationale de l'Énergie (AIE)/International Energy Agency (IEA), Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE), Paris, 543p.

AIE/IEA, 1986. **Perspectives du gaz naturel.** Agence Internationale de l'Énergie (AIE)/International Energy Agency (IEA), Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE), Paris. 166 p.

AIE/IEA, 1987. **Sources d'énergie renouvelables.** Agence Internationale de l'Énergie (AIE)/International Energy Agency (IEA), Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE), Paris. 396p.

AIE/IEA. 1989. Areas of Environmental Concern. Dans: **Energy and the Environment: Policy Overview.** Agence Internationale de l'Énergie (AIE)/International Energy Agency (IEA), Organisation de Coopération et de Développement Économique, Paris. 272p.

AIE/IEA, 1990, **L'énergie et l'environnement,** Agence Internationale de l'Energie (AIE)/International Energy Agency (IEA), de l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE/OECD), Paris, 272p.

AIE/IEA, 1991, **Energy Efficiency and the Environment,** Agence Internationale de l'Énergie (AIE)/International Energy Agency (IEA), Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE), Paris, 238p.

AIE/IEA, 1992, **Politiques énergétiques des pays de l'AIE.** Agence Internationale de l'Énergie (AIE)/International Energy Agency (IEA), Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE), Paris, 527p.

AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION, COUNCIL OF SCIENCE AFFAIRS, 1978. **Health evaluation of energy generating sources.** Ds: J. *Am. Med. Ass.*, 240: 2193

APCA, 1990. **Environmental challenges in energy utilisation during the 1990's.** Dans: *International Specialty Conference.* University of Toledo. p.2.

ASHMORE, J.P. et W.N. Sont, 1992. **Statistiques annuelles sur les radioexpositions professionnelles selon le fichier dosimétrique national - 1990.** Bull. Ass. Can. Radioprotection 13(1):13-17.

ASSOCIATION NUCLÉAIRE CANADIENNE. **Mémoire présenté à la Commission de l'économie et du travail.** Janvier 1993. Association nucléaire canadienne. 6p.

BAKER, C., 1991. **Tidal power.** Energy Policy 19(8): 792-797.

BERNARD, J-T.. 1991. **Compétition électricité/gaz naturel au Québec.** Texte présenté au "4ième Forum de l'industrie du gaz naturel". Québec septembre 1991.

BERNARD, J-T.. 1992. **Le programme d'efficacité énergétique d'Hydro-Québec et la substitution électricité/gaz naturel.** Texte présenté au "4ième Forum de l'industrie du gaz naturel". Montréal les 22 et 23 octobre 1992. 26p.

BROWN, L.D. 1992. **Les matières radioactives naturelles et l'ACRP.** Bull. Ass. Can. Radioprotection, 13(2):14-15.

CAVANAGH, R. 1986.. **Least-cost Planning Imperatives for Electric Utilities and their Regulators.** Harvard Environmental Law Review. 10:299-344.

CCME, 1990. **Plan de gestion pour les oxydes d'azote (NOX) et les composés organiques volatives (COV).** Phase I. CCME-EPC\TRE-31F. Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement. Winnipeg. Manitoba. 242p.

CHARTERS, W.W.S., 1991. **Solar energy- current status and future prospects.** Energy Policy 19(8): 738-741.

CHERNICK, P., Goodman, I. et I. Espenhorst, 1989. **Analysis of Fuel Substitution as an Electric Conservation Option.** Boston Gas Company, PLC Inc.. Boston.

CHURCHILL, A. A. et R. J. Saunders, 1991. **Le réchauffement de la planète et le monde en développement.** Finances & Développement, 28(2):28-31.

CLARKE, A., 1991. **Wind energy.** Energy Policy 19(8): 742-755.

CLEMENT, R. et R. Kagel, 1990. **Emissions from combustion processes: origin, measurement, control.** Lewis Publishers Inc. Michigan, E.U. 491p.

CONFÉRENCE MONDIALE DE L'ÉNERGIE (CME), 1989. **Environmental assessments, air, water, land.** Conférence mondiale de l'énergie. Session 2, 2.5, 14è congrès, Montréal, p.8.

COMITÉ PERMANENT DE L'ENVIRONNEMENT, 1991. **En rupture d'équilibre: Le risque de changements climatiques irréversibles.** Comité permanent de l'environnement. Chambre des Communes du Canada. Ottawa. 113p.

CONSEIL CANADIEN DE LA RECHERCHE SUR L'ÉVALUATION ENVIRONNEMNTALE (CCREE), 1985. **L'évaluation des incidences sociales- Exposé sur la recherche.** CCREE, Hull, Québec.

CONSEIL DE LA CONSERVATION ET DE L'ENVIRONNEMENT, 1990. **Les éléments d'une stratégie québécoise de conservation en vue du développement durable: l'énergie,** Conseil de la conservation et de l'environnement, Mars 1990. Gouvernement du Québec, 73p.

COURANTS, 1992. **Les trois gorges du Yangtsé et Mercure et centrales au charbon.** Courants, 7(1):27.

CRISP, D.T., 1977. **Some physical and chemical effects of the Cow Green (Upper Teesdale) impoundment.** Freshwater biology 7:109-120.

CUNNINGHAM, W.P. et B. W. Saigo, 1992. **Environmental Science: A Global Concern.** Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, IA, United States of America, 622p.

DESLANDES, J.C., R. Fortin, R. Verdon, D. Roy et L. Belzile, 1992. **Évolution de la communauté de poissons du réservoir de La Grande 2, à la suite de la mise en eau.** Dans: Hydro-Québec et Université de Sherbrooke (eds.), *Les enseignements de la phase I du complexe La Grande.* Actes du colloque du 59 congrès de l'ACFAS: 106-121.

DIPIPPO, R., 1991. **Geothermal energy: electricity generation and environmental impact.** Energy Policy 19(8): 798-807.

DUCLOS, J. et S. Midot, 1984. **Les effets sanitaires et écologiques de la production et de la consommation d'électricité.** Dans: IAEA (eds.), *Risks and Benefits of Energy Systems.* Vienne, p. 321-335.

DUPUIS, F.. 1992. **Production privée intégrée aux besoins énergétiques du Québec.** Texte présenté au "4ième Forum de l'industrie du gaz naturel". Montréal les 22 et 23 octobre 1992. 7p.

EGWERTZ, S. et coll., 1981. **Safety of wind energy conversion systems with horizontal axes.** Technical note HU2229, Aeronautics Research Institutes, Bromma. Sweden.

EL-HINNAWI, E. E. 1981. **The environmental impacts of production and use of energy.** United Nations Environment Programme. Shannon, Tycooly, Press Ltd. 319 p.

EL-HINNAWI, E. E.. (ed), 1980. **Nuclear energy and the environment,** United Nations Environment Programme (UNEP), . Pergamon Press, Oxford, snp.

EMR, 1987(a). **Gestion de l'énergie: Cours de formation opérateur de bâtiments: manuel du participant.** Programme fédéral de gestion de l'énergie. Énergie, Mines et Ressources Canada (EMR). Ottawa. snp.

EMR, 1987(b). **Gestion de l'énergie: Cours de formation pour les directeurs d'immeubles.** Programme fédéral de gestion de l'énergie. Énergie, Mines et Ressources Canada (EMR). Ottawa. snp.

EMR, 1990. **La consommation d'énergie et le changement atmosphérique.** Document de travail. Direction de l'efficacité énergétique et des énergies de remplacement. Énergie, Mines et Ressources Canada (EMR). Ottawa. 78p.

ÉNERGIE PLUS ,1991. **Protection de la couche d'ozone: quel prix à payer ?.** Énergie Plus 102:4-5.

ENVIRONNEMENT CANADA, 1980. **Livre-ressource de la planification de l'environnement.** Écrit par R. Lang et A. Armour pour la Direction générale des Terres, Environnement Canada, Ministère des Approvisionnements et Services Canada, Ottawa,. 387 p.

ENVIRONNEMENT CANADA, 1986. **Émissions des principaux polluants atmosphériques au Canada et tendances (1970 à 1980).** SPE7\AP\17. Direction générale de l'assainissement de l'air, Ottawa, Ontario.

ENVIRONNEMENT CANADA, 1990. **National Urban Air Quality Trends - 1978 to 1987.** Environmental Protection Series, Environnement Canada, Ottawa, 60 p.

ENVIRONNEMENT CANADA, 1991. **Le point sur l'établissement d'un ensemble national d'indicateurs environnemental au Canada.** Groupe de travail sur les indicateurs, Rapport sur l'état de l'environnement, Rapport EDE no.91-1, Environnement Canada, Ottawa, 104 p.

FENHANN, J., H. Larsen, G.A. Mackenzie and B. Rasmussen, 1990. **Environmental models: emissions and consequences.** Riso International Conference, 22-25 may 1989, Elsevier, New York, USA, 489 p.

FICKETT, A.P., Gellings C.W. et A.B. Lovins. 1990. **Efficient Use of Electricity.** Scientific American. 263(3):64-74.

FLAVIN, C. and N. Lenssen, 1990. **Beyond the petroleum age: designing a solar economy.** Worldwatch paper 100, World watch Institute, Washington, D.C., USA.

FRANCOEUR, J.-G.. Qui récolte le vent... 3- De l'énergie propre, propre, propre, Le Devoir, vendredi 29 mai 1992, p. B-1.

GAGNON, L., 1989. **Dissidences énergétiques.** Franc Nord 6(2):30-32.

GARDNER, J. E., 1991. **Neuf aveugles, un éléphant: un premier examen de l'évaluation environnementale et des processus connexes en regard du développement durable.** Dans: CCREE (eds.), *Développement durable et évaluation environnementale: perspectives de planification d'un avenir commun*. p.39-73.

GAUTHIER, P. 1992. **Le gaz naturel d'aujourd'hui et de demain.** Dans: *L'énergie à l'heure des choix*, coll. environnement et géologie. 15ième congrès de l'ABQ. Delisle, C.E., M.A. Bouchard et L. Lauzon (eds). p. 115-122.

GINICCHIO, R., 1980. **Énergie électrique et environnement.** Éditions Eyrolles, Paris, France, 667 p.

GIRARD, D., 1992. **Hydroélectricité et l'environnement: le cas de la rivière Moisie.** Dans: *L'énergie à l'heure des choix*, coll. environnement et géologie. 15ième congrès de l'ABQ. Delisle, C.E., M.A. Bouchard et L. Lauzon (eds). p. 65-74.

GOUVERNEMENT DU CANADA, 1991. **L'État de l'environnement au Canada.** Ministère des Approvisionnements et Services Canada, Ottawa. snp.

GRAY, C.L. (Jr) et J.A. Alson, 1989. **The case for methanol.** Scient. Am. 261(5): 108-114.

HALL, D.O., 1991. **Biomass energy.** Energy Policy 19(8): 711-737.

HIRST, E., 1989. **Electric-Utility Energy and Load-Mangement Programs Resources for the 1990s,** Oak Ridge National Laboratory (ORNL), ORNL/CON-285, June 1989, U.S. Department of Energy (DOE), Oak Ridge, Tennesee, 45p.

HIRST, E., 1991. **Improving energy efficiency in the USA: the Federal role.** Energy Policy19(6):567-577.

HOLDREN, J.P., G. Morris and I. Mintzer. 1980. **Environmental aspects of renewable energy sources.** Ann. Rev. Energy 5: 241-291.

HOLMES, J., 1972. **An ordinal method of evaluation,** Urban Studies 9(1):179-191.

HYDRO-QUÉBEC, 1990. **Hydro-Québec et l'environnement,** Proposition de plan de développement, mars 1990, Hydro-Québec, Montréal, 68p.

HYDRO-QUÉBEC, 1991. **Potentiel réalisable d'amélioration de l'efficacité énergétique au Québec, Groupe Marchés québécois,** le 19 février 1991, Hydro-Québec, Montréal, 39p.

HYDRO-QUÉBEC, 1992(a). **Analyse environnementale des filières de production d'électricité.** Vice-présidence Environnement et Vice-présidence Planification du Réseau, Hydro-Québec, Montréal, 105p.

HYDRO-QUÉBEC, 1992(b). **Combinaisons d'options - Méthodologie d'analyse des impacts,** Plan de développement 1993: Proposition, Hydro-Québec, Montréal, 32p.

HYDRO-QUÉBEC, 1992(c). **Potentiel technico-économique d'amélioration de l'efficacité énergétique au Québec,** Groupe Commercialisation et Affaires internationales, Service Planification commerciale, Mars 1992, Hydro-Québec, Montréal. 52p.

HYDRO-QUÉBEC, 1992(d). **Prévision de la demande d'électricité au Québec,** Plan de développement 1993: Proposition, Document «Annexe 6», Hydro-Québec, Montréal, 173p.

JACCARD, M.K., Fogwill. A. et J. Nyboer. 1992(a). **Potential Canadian Industrial Energy Gains:** 1990-2010. M.K. Jaccard and Associated. Energy, Mines and Ressources Canada. sl. 102p.

JACCARD. M.K., Fogwill. A. et J. Nyboer. 1992(b). **Intra-Sectorial Technology Use Model Representation of Canadian Industry.** M.K. Jaccard and Associated. Energy, Mines and Ressources Canada. sl. 153p.

JACOBS, P. et B. Sadler, 1991. **Développement durable et évaluation environnementale: perspectives de planification d'un avenir commun.** Conseil canadien de la recherche sur l'évaluation environnementale, 204 p.

JAIN, R.K., L.V. Urban et G. S. Stacey, 1977. **Environmental Impact Analysis: a new dimension in decision making.** Van Nostrand Reinhold Company, N. Y., USA, 330 p.

JAQUES, A.P., 1992. **Estimation des émissions de gaz provoquant l'effet de serre au Canada en 1990.** Rapport SPE5\AP\4. Décembre 1992, Série de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa, 80 p.

JAQUES, A.P., 1990. **Inventaire national des sources et des émissions de dioxyde de carbone (1987).** Rapport SPE 5/AP/2. Série de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa, 40p.

KANGAS, M. et H. P. Niininen, 1984. **Risks and benefits of coal, peat and nuclear power.** Dans: IAEA (eds.), *Risks and Benefits of energy Systems*. Vienne, p. 73-81.

KIBBEY, A. et H.W. Godbee. 1975. **Solid radioactive waste prechers at nuclear power plants.** Nuclear Safety 16:581.

KRAUSE, F. et J. ÉTO, 1988. **Least-cost Utility Planning handbook for Public Utility Commissionners.** 2 volumes. Lawrence Berkeley Laboratory (LBL). National Association of Regulatory Utility Commissioners. Washington, D.C. snp.

LAFRAMBOISE, D. 1992. **Les externalités environnementales de l'électricité: quantification, internalisation et recommandations.** Rapport présenté au Ministère de l'Énergie et des Ressources.

LAURMANN, J.A., 1991. **Energy policy greenhouse gas induced climatic change.** International Journal of Energy-Environment-Economics 1(1):51-61.

LE MOIGNE, G., S. Bargonti et H. Plusquellec (eds). 1990. **Dam safety and the environment.** World Bank Technical Paper, 115, Washington D.C.

LEDUC, G. 1992. **Glossaire de la terminologie relative à la maîtrise de l'énergie.** Rapport non publié. Bureau de l'Efficacité Énergétique (BEE). Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. Montréal. 126p.

LEE, T.R., M. Hickman and B. Wren, 1989. **Public responses to the siting and operation of wind turbines.** Proceedings Conference EWEC, Glasgow, UK, Part I, p. 434-438.

LEOPOLD L.B. et coll., 1971. **A procedure for evaluating environmental impact.** Geological Survey Circular 645, É.U., Dept. Interior, Washington, D.C.

LEVI, B. G., 1990. **Climate modelers struggle to understand global warming.** Physics Today, 43(2):17-19.

LIND, N.C., J.S. Nathwani et E. Siddall, 1991. **Managing risks in the public interest.** Institute for Risk Research, University of Waterloo, Ontario, Canada, 242 p.

LOFTNESS, R.L., 1984. **Energy Handbook.** Van Nostrand Reinhold Company, New York, 763 p.

MANUEL, C.A. et coll. 1990. **Glowing on the job:worker exposure to radiation at nuclear power plants.** Public Citizen Critical Mass Energy Project. Washnigton D.C., USA. 37p.

MÉGIE, Gérard, 1989. **Ozone: l'équilibre rompu.** Presses du CNRS, Paris, 260 p.

MEIER, 1982, **Supply Curves of Conserved Energy,** Thèse de doctorat présentée à University of California, Berkeley, California, 153p.

MENVIQ, 1988. **L'environnement au Québec: Un premier bilan.** Document technique, Ministère de l'Environnement du Québec, Québec, 430 p.

MENVIQ, 1992. **La pollution atmosphérique par l'ozone au Québec.** Aspects de la problématique. QEN\QA-36\1. 161 p.

MENVIQ, 1993. **État de l'environnement au Québec, 1992.** Guérin, Montréal, 560 p.

MER, 1991. **L'énergie au Québec: Edition 1991.** Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Gouvernement du Québec, Québec, 121 p.

MER, 1992(a). **L'énergie au Québec: Edition 1992.** Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Gouvernement du Québec, Québec, 123 p.

MER, 1992(b). **La stratégie québécoise d'efficacité énergétique: Orientations et plan d'action,** Direction des Communications, Ministère de l'Énergie et des Ressources (MER), Québec, 55p.

MER, 1992(c). **L'efficacité énergétique au Québec: évaluation du potentiel théorique,** Travaux préparatoires à la stratégie québécoise d'efficacité énergétique. Direction de la planification (Secteur de l'énergie), Travaux du Groupe d'évaluation des potentiels en efficacité énergétique (GREPE), Mars 1992, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec (MER), Québec, 62p.

MER, 1992(d). **La stratégie québécoise d'efficacité énergétique: Une contribution au développement durable,** Direction des Communications, Ministère de l'Énergie et des Ressources (MER), Québec, 94p.

MITCHELL, J.M., 1989. **The greenhouse effect and climate change.** Reviews of Geophysics, 27(1):115-139.

MÜNCHENER Rückversicherungs-Gesellschaft, 1990. **Les systèmes énergétiques aujourd'hui et demain,** Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, République fédérale d'Allemagne, 98 p.

NEW YORK STATE, 1992(a). **Hydro-Québec Draft Generic Environmental Review,** New York State Department of Environmental Conservation, New York State Energy Office, New York State Department of Public Service, June 1992, New York, 96p.

NEW YORK STATE, 1992(b). **Hydro-Québec Economic Study,** New York State Energy Office, New York State Department of Public Service, Draft Report, May 1992, New York, 83p.

NOVEGNO, A. et E. Assulai, 1987. **Études comparatives des risques inhérents à la production d'énergie.** AIEA Bulletin 29 (2):33-38.

OCDE, 1977. **La production d'énergie et l'environnement.** OCDE publication, Paris. 130 p.

OCDE, 1985. **Effet sur l'environnement de la production d'électricité.** OCDE publication, Paris. 175 p.

ODUM, E.P., 1971. **Fundamentals of Ecology,** W.B. Saunders (ed.), Philadelphie, 574p.

ONE, 1991. **L'énergie au Canada: Offre et demande 1990-2010,** Office National de l'Énergie(ONE)\ National Energy Board (NEB), Ministère des Approvisionnements et Services Canada, Ottawa. 496p.

ONTARIO-HYDRO, 1989. **Providing the Balance of Power: Ontario Hydro's Plan to serve Customers Electricity Needs.** Demand/Supply Plan Report. Ontario-Hydro. Toronto. snp.

ONTARIO-HYDRO, 1991. **Fuel Switching Potential in Ontario By Year 2000.** Energy Economics section, Economics and Forecasts Division. Ontario-Hydro. Toronto.

ONU and Economic and Social Commission for Asia anf the Pacific, 1985. **Summary of environmental effects of Pa Mong dam/reservoir projection on Mekong river.** Dans: *Environmental Impact Assesment, Guidelines for Planners and Decision Makers,* Organisation des Nations Unies, Bangkok.

OTTINGER, R.L., D.R. Wooley, N.A. Robinson, D.R. Hodas, and S.E. Babb, 1990. **Environmental costs of electricity.** Pace University center for environmental legal studies. Oceana publications, N.Y., U.S.A., 769 p.

PEAT MARWICK STEVENSON & KELOGG. 1991(a). **The Economically Attractive Potential for Energy Efficiency Gains in Canada: May 1991.** Executive Summary. Peat Marwick Stevenson & Kelogg. Marbek Resource Consultants. Torrie Smith Associates. WATSRF. Prepared for Energy, Mines and Resources Canada. Toronto. 10p.

PEAT MARWICK STEVENSON & KELOGG. 1991(b). **The Economically Attractive Potential for Energy Efficiency Gains in Canada: May 1991.** Project Report. Peat Marwick Stevenson & Kelogg. Marbek Resource Consultants. Torrie Smith Associates. WATSRF. Prepared for Energy, Mines and Resources Canada. Toronto. 139p.

PELLERIN, G. et A.J. Fortin, 1992. **Revégétation des sites affectés par les travaux du complexe La Grande, à la Baie James.** Dans: Hydro-Québec et Université de Sherbrooke (eds.), *Les enseignements de la phase I du complexe La Grande.* Actes du colloque du 59 congrès de l'ACFAS: 91-97.

PRIGENT, M. G. De Soele et R. Dozieri. 1991. **The effects of aging on nitrous oxide (N2O) formation by automotive tree-way catalysts.** Dans: *Catalysis and automotive pollution control,* vol II, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Hollande.

PROULX, J.R. 1992. **Bilan des impacts humains en milieu Cri de la phase I du projet de la Baie James.** Dans: Hydro-Québec et Université de Sherbrooke (eds.), *Les enseignements de la phase I du complexe La Grande.* Actes du colloque du 59 congrès de l'ACFAS: 174-183.

RABEAU, Y. 1992. **Quelle place devrait occuper le gaz naturel dans le bilan énergétique du Québec ?** (Une étude sur la gestion intégrée des ressources au Québec). Version complète. Texte présenté au "4ième Forum de l'industrie du gaz naturel". Montréal les 22 et 23 octobre 1992. 87p.

REED, M.J. and G.E. Campbell. 1975. **Environmental impact of development.** Dans: *The Geysers geothermal field*, USA. Proc. 2nd U.N. Symp. Develop. Use Geothermal Ressources, San Francisco 2:1399-1410.

ROSENFELD, A.H. 1988. **Energy Conservation , Competition and National Security,** Strategic Planning and Energy Management. 7(1):5-30.

ROTHÉ, P. ,1973. **Geophysics report.** Dans: Ackerman et al. (eds) Man Made Lake. Amer. Geophysical Union Monograph 17.

ROTURIER, J. et E. MILLS, 1991. **Les économies d'énergie: l'École de Berkeley,** La Recherche. 22(229):256-266.

SENIOR EXPERT SYMPOSIUM IN ELECTRICITY AND THE ENVIRONMENT (SESEE), 1991. **Ranking of environmental impacts.** Dans: *Comparative Environmental and Health Effects of Different Energy Systems for Electricity Generation*. Key Issues Paper no. 3, Helsinki.

SENIOR EXPERT SYMPOSIUM IN ELECTRICITY AND THE ENVIRONMENT (SESEE), 1991. **Energy sources and technologies for electricity generation.** Key issues, paper no2, Helsinki.

SIMOS, J. 1990. **Évaluer l'impact sur l'environnement, une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation.** Presses polytechniques et universitaires romandes.

SIMS, G.P., 1991. **Hydroelectric energy.** Energy Policy 19(8): 776-786.

SODERSTROM, J., 1984. **Measuring energy savings-problems.** Energy Policy. 12(1):104-106.

STAINIER, A., 1992. **Les impacts des installations de transport de l'électricité.** Dans: Delisle, C.E., M.A. Bouchard et L. Lauzon (eds). *L'énergie, à l'heure des choix.* Collection Environnement et géologie. 15ième Congrès de l'ABQ. 9-10 nov 1990, p. 55-64.

STATISTIQUE CANADA, 1991. **Activité humaine et l'environnement 1991.** Statistique Canada. Division de l'environnement et des comptes du patrimoine. Ottawa. 247p.

STATISTIQUE CANADA, 1991. **Bulletin trimestriel disponibilité et écoulement d'énergie au Canada.** Catalogue 57-003, 1990-IV. Ottawa. 147p.

STATISTIQUE CANADA, 1992. **Bulletin trimestriel disponibilité et écoulement d'énergie au Canada.** Catalogue 57-003, 1991-IV. Ottawa. 147p.

STATISTIQUE CANADA, 1993. **Statistique de l'énergie électrique.** Catalogue 57-001, Vanier 1992. Ottawa. 19p.

STONE & WEBSTER (eds.), 1989. **Methods to Integrate Demand and Supply Options and Evaluation of Least Cost Planning Models,** U.S. Department of Energy Least-cost Utility Planning Program Integrated Utility Planning, Report DE-FG01-87CE27478, April 1989, Stone & Webster Management Consultants, Inc., Englewood, CO, USA, snp.

SUTER, G. W. (Ed.), 1993. **Ecological Risk Assessment.** Lewis Publishers. Chelsea. Michigan. 538p.

THÉRIEN, N., 1992(a). **Étude des enjeux environnementaux: création de réservoirs hydroélectriques et gaz à effet de serre; futur réservoir Eastman 1,** Vice-présidence environnement, Hydro-Québec, Montréal.

THÉRIEN, N., 1992(b). **La création de réservoirs hydroélectriques et les gaz à effet de serre.** Dans: Hydro-Québec et Université de Sherbrooke (eds.), *Les enseignements de la phase I du complexe La Grande*. Actes du colloque du 59 congrès de l'ACFAS: 26-34.

TREMBLAY, B.H., 1990. **La gestion des problèmes environnementaux et l'industrie pétrolière.** Dans: Delisle, C.E., M.A. Bouchard et L. Lauzon (eds). *L'énergie, à l'heure des choix*. Collection Environnement et géologie. 15ième Congrès de l'ABQ. 9-10 nov 1990, p. 105-113.

UNESCO, 1979. **Hydrological problems arising from the development of energy**. Technical Paper Hydrology. United Educational Scientific and Cultural Organisation. Paris, 17 p.

VINE, Edward L. et Jeffrey P. HARRIS, 1990. **Evaluating Energy and non-energy impacts of Energy Conservation Programs: A Supply Curve Framework of Analysis**. Energy 15(1): 11-21.

WALLISER, B., 1990. **Le calcul économique.** La découverte, Paris.

WATHERN (ed.), 1988. **Environmental Impact Assessment, Theory and Practice.** Unwin Hyman Ltd, Londres.

WHITNEY, J.B.R. et V.W. Maclaren, (eds.), 1985. **A framework for the assessment of EIA methodologies.** dans Whitney et Maclaren (eds.). *Environmental Impact Assessment: The Canadian Experience*. Institute for Environmental Studies. University of Toronto. Toronto. pp.1-31.