

*ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DES
FILIÈRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ*



Mars 1992

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Table des matières	i
Liste des tableaux	v
Liste des figures	vi
1- Introduction	1
1.1 Contenu	1
2- Contexte des choix énergétiques du Québec	3
2.1 Efficacité énergétique.....	3
2.2 Besoins en électricité : énergie et puissance	4
2.3 Prévisions de demande.....	5
2.4 Choix collectif.....	6
3- Options énergétiques	7
3.1 Réserves énergétiques de la planète	8
3.2 Sources d'énergie disponibles au Québec	9
3.3 Technologies de conversion en électricité	11
3.3.1 Technologies thermiques.....	11
3.3.2 Technologies mécaniques : hydraulique, éolienne	12
3.3.3 Technologies physico-chimiques.....	13
3.4 Filières envisagées.....	14
3.5 Filières éliminées.....	14
3.6 Filières retenues pour étude	16
4- Cadre d'analyse.....	17
4.1 Approche.....	17
4.2 Critères environnementaux.....	19
4.2.1 Qualité de l'eau, de l'air et du sol.....	19
4.2.2 Écosystèmes naturels	19
4.2.3 Conditions atmosphériques globales	19
4.2.4 Occupation et structuration du territoire.....	20
4.2.5 Perceptions et changements sociaux.....	20
4.2.6 Sécurité.....	20

	Page
5- Filières à combustibles fossiles	21
5.1 Descriptions techniques.....	21
5.1.1 Centrales thermiques classiques	21
5.1.2 Turbines à gaz.....	25
5.2 Analyse environnementale.....	27
5.2.1 Qualité de l'eau, de l'air et du sol.....	27
5.2.2 Écosystèmes naturels	32
5.2.3 Conditions atmosphériques globales	34
5.2.4 Occupation et structuration du territoire.....	35
5.2.5 Perceptions et changements sociaux.....	36
5.2.6 Sécurité.....	37
5.3 Synthèse	39
6- Filières hydroélectriques.....	41
6.1 Description technique	41
6.1.1 Centrales à réservoir	41
6.1.2 Centrales au fil de l'eau	43
6.1.3 Petites centrales.....	43
6.2 Analyse environnementale.....	43
6.2.1 Qualité de l'eau, de l'air et du sol.....	45
6.2.2 Écosystèmes naturels	46
6.2.3 Conditions atmosphériques globales	49
6.2.4 Occupation et structuration du territoire.....	50
6.2.5 Perceptions et changements sociaux.....	51
6.2.6 Sécurité.....	51
6.3 Synthèse	52
7- Filières solaires.....	57
7.1 Description technique	57
7.1.1 Filière photovoltaïque	57
7.1.2 Filière héliothermique.....	59

	Page
7.2	Analyse environnementale.....61
7.2.1	Qualité de l'eau, de l'air et du sol.....61
7.2.2	Écosystèmes naturels61
7.2.3	Conditions atmosphériques globales62
7.2.4	Occupation et structuration du territoire.....62
7.2.5	Perceptions et changements sociaux63
7.2.6	Sécurité.....63
7.3	Synthèse63
8-	La filière éolienne.....65
8.1	Description technique65
8.2	Analyse environnementale.....66
8.2.1	Qualité de l'eau, de l'air et du sol.....68
8.2.2	Écosystèmes naturels68
8.2.3	Conditions atmosphériques globales69
8.2.4	Occupation et structuration du territoire.....69
8.2.5	Perceptions et changements sociaux69
8.2.6	Sécurité.....70
8.3	Synthèse70
9-	Filières thermiques à base de biomasse.....73
9.1	Description technique73
9.1.1	Bois74
9.1.2	Tourbe74
9.1.3	Déchets domestiques.....76
9.2	Analyse environnementale.....76
9.2.1	Qualité de l'eau, de l'air et du sol.....76
9.2.2	Écosystèmes naturels77
9.2.3	Conditions climatiques globales79
9.2.4	Occupation et structuration du territoire.....79
9.2.5	Perceptions et changements sociaux80
9.2.6	Sécurité.....80
9.3	Synthèse80

	Page
10- Filière thermique nucléaire.....	83
10.1 Description technique	83
10.2 Analyse environnementale.....	84
10.2.1 Qualité de l'eau, de l'air et du sol.....	84
10.2.2 Écosystèmes naturels	87
10.2.3 Conditions atmosphériques globales	89
10.2.4 Occupation et structuration du territoire.....	89
10.2.5 Perception et changements sociaux.....	90
10.2.6 Sécurité.....	91
10.3 Synthèse	92
11- Bilan	93
11.1 Principaux critères techniques.....	93
11.2 Problématique environnementale des filières.....	94
11.2.1 Filière thermique à gaz.....	95
11.2.2 Filière thermique au pétrole	95
11.2.3 Filière thermique au charbon	95
11.2.4 Filière thermique à biomasse.....	95
11.2.5 Filière thermique nucléaire.....	96
11.2.6 Filière hydroélectrique	97
11.2.7 Filière éolienne.....	97
11.2.8 Filières solaires	98
11.3 Conclusion.....	98

Liste des références

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 3.1 : Liste des filières de production d'électricité considérées et retenues.....	15
Tableau 4.1 : Liste indicative d'éléments du milieu généralement considérés dans l'évaluation environnementale de projets de production d'électricité.....	18
Tableau 5.1 : Production d'énergie électrique au Canada par source principale (GWh), 1990	22
Tableau 5.2 : Sources d'énergie utilisées au Canada pour produire de l'électricité, 1990	23
Tableau 5.3 : Émissions de SO ₂ , NO _x , et CO ₂ dues à la production d'électricité, 1990 (1 000 tonnes)	29
Tableau 5.4 : Émissions atmosphériques de SO ₂ et de NO _x d'une centrale thermique produisant 4,2 TWh par année.....	30
Tableau 5.5 : Émissions atmosphériques de CO ₂ d'une centrale thermique produisant 4,2 TWh (Mt/an).....	35
Tableau 5.6 : Résumé des taux de décès (décès/1 000 MW année) pour différentes filières de production électrique.....	38
Tableau 6.1 : Quelques caractéristiques des sites potentiels de centrales hydroélectriques de 25 MW et moins sur le territoire du réseau relié d'Hydro-Québec.....	56
Tableau 9.1 : Émissions atmosphériques estimés de CO ₂ , NO _x , et SO ₂ pour une centrale thermique utilisant divers combustibles de la biomasse	78
Tableau 11.1 : Analyse environnementale des filières de production d'électricité, Grille de référence technique des filières retenues pour étude	100
Tableau 11.2 : Analyse environnementale des filières de production d'électricité, Grille de référence environnementale des filières retenues pour étude	101

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 5.1 : Centrale thermique classique	24
Figure 5.2 : Centrale à turbine à gaz	26
Figure 6.1 : Centrale hydroélectrique à réservoir.....	42
Figure 6.2 : Centrale hydroélectrique au fil de l'eau.....	44
Figure 7.1 : Centrale héliothermique.....	58
Figure 7.2 : Centrale héliothermique.....	60
Figure 8.1 : Les éoliennes	67
Figure 9.1 : Centrale thermique par type avec emploi de la biomasse comme combustible	75
Figure 10.1 : Centrale nucléaire.....	85

1- INTRODUCTION

Le présent document est un dossier de référence où sont réunies des données environnementales pertinentes à chacune des filières de production d'électricité. Par filière, on entend la chaîne technologique nécessaire pour transformer une source d'énergie primaire en électricité.

Certaines considérations ont influencé l'analyse des données et la rédaction du document. Ce sont :

- l'analyse de chaque filière doit être absolue et non relative. L'objectif n'était pas de produire une évaluation comparative mais de mettre en parallèle les données pertinentes à chaque filière;
- les considérations environnementales réfèrent à des technologies de pointe, c'est-à-dire celles susceptibles d'être implantées au tournant du siècle;
- l'étude ne prend en compte que les filières techniquement au point et applicables au contexte énergétique du Québec;
- les filières sont analysées en fonction d'une contribution significative au réseau actuel de production d'Hydro-Québec; on retient à cette fin une puissance théorique de quelques centaines de MW (mégawatts),¹ pour une production annuelle de quelques milliards de kilowattheures par année.²

1.1 CONTENU

Outre le chapitre introductif, cette étude comprend 10 chapitres.

- le chapitre 2 explicite le contexte des choix énergétiques du Québec;
- le chapitre 3 fait la synthèse des diverses options énergétiques disponibles;
- le chapitre 4 indique le cadre d'analyse environnementale;
- les chapitres 5, 6, 7, 8, 9 et 10 présentent la description technique ainsi que la problématique environnementale des principales filières retenues pour analyse à savoir :
 - . les filières à combustibles fossiles
 - . les filières hydroélectriques
 - . les filières solaires
 - . la filière éolienne

¹ Un mégawatt est égal à un million de watts ou à 1 000 kilowatts.

² Un milliard de kilowattheures est égal à un térawattheure (TWh).

Entre 1979 et 1989, la valeur de la production économique produite pour une même quantité d'énergie consommée s'est cependant accrue, en dollars constants, de près du tiers. Cette tendance semble cependant s'être inversée au cours des deux dernières années¹ qui ont été marquées par une augmentation plus rapide de la consommation d'énergie, et surtout de pétrole.

Malgré cette amélioration de l'efficacité énergétique, la part croissante prise par l'électricité dans le bilan énergétique a résulté en une augmentation continue de la consommation globale d'énergie électrique. Entre 1982 et 1988, alors que la consommation totale d'énergie restait relativement inchangée au Québec, la consommation d'électricité a effectivement augmenté de près de 40 %, soit de plus de 6 % en moyenne par année.

Hydro-Québec a adopté, en 1990, un important programme d'efficacité énergétique s'étendant sur dix ans. On entend ainsi réaliser, à l'horizon 1999, des économies annuelles de consommation d'environ 9,3 TWh. Ce programme fait partie du Plan de développement d'Hydro-Québec au même titre que les grands projets de construction de nouveaux équipements de production, et contribuera de la même façon à maintenir un équilibre essentiel entre l'offre et la demande d'énergie électrique sur le marché québécois.

Ainsi, le programme d'efficacité énergétique devrait prendre en charge près d'un quart de la croissance anticipée de 2,6 % par année de la demande en électricité et la réduire à 2%. Pour l'instant, il ne semble pas réaliste d'envisager que l'efficacité énergétique puisse, au cours de la présente décennie, répondre à une partie plus importante de la croissance prévue de la demande et, a fortiori, éliminer toute croissance de la demande. Il importe donc d'évaluer les différentes options qui s'offriront pour produire les quantités supplémentaires d'électricité qui deviendront nécessaires au cours des années à venir.

2.2 BESOINS EN ÉLECTRICITÉ : ÉNERGIE ET PUISSANCE

A l'heure actuelle, les besoins globaux annuels en énergie électrique d'Hydro-Québec se situent à environ 160 TWh.² Cette énergie n'est évidemment pas consommée de façon uniforme tout au long de l'année. Si c'était le cas, une puissance installée d'à peine plus de 18 000 MW serait suffisante pour y répondre. La demande en énergie électrique varie constamment. En période de pointe hivernale, cette demande atteint presque le double de son plus bas niveau estival.

Les équipements de production d'électricité doivent donc avoir une puissance qui leur permette de débiter une quantité suffisante d'énergie en période de très forte demande. Au cours de l'hiver 1991-92, les besoins de puissance maximale du

¹ Gouvernement du Québec, L'énergie au Québec, 1990, p.8.

² Hydro-Québec, Proposition de plan de développement d'Hydro-Québec, 1990-92, horizon 1999, 1990, p.80.

réseau d'Hydro-Québec ont été estimés à 29 000 MW. Ce besoin maximal n'existe évidemment que pendant une très courte période de temps.

Lorsqu'on planifie les infrastructures et les équipements qui seront appelés à répondre à des besoins énergétiques futurs, il faut se soucier aussi bien de l'évolution de la demande globale en énergie électrique, calculée en milliards de kilowattheures par année, ou térawattheures (TWh), que de la puissance maximale, énoncée en mégawatts (MW), qui sera exigée en période de pointe. Même si ces deux aspects de la demande en électricité évoluent inévitablement en parallèle, on doit faire appel pour les satisfaire à des équipements et à des stratégies qui peuvent être très différents.

Certains équipements sont très bien adaptés à ce que nous appelons la consommation de base et peuvent fonctionner économiquement de façon continue. C'est le cas des grands aménagements hydroélectriques, des centrales nucléaires et des grandes centrales thermiques. Ces grands équipements, surtout ceux qui fonctionnent en utilisant le cycle de la vapeur (thermique et nucléaire) sont d'ailleurs généralement lents et coûteux à démarrer et ont avantage à fonctionner de façon ininterrompue.

D'autres filières énergétiques sont plus efficaces lorsqu'il s'agit de faire face à des fluctuations instantanées de la demande en électricité. C'est le cas des turbines à gaz ou des groupes électrogènes à moteur diesel, qui sont très flexibles mais coûteux à utiliser sur une base continue. On peut également procéder à une gestion spécifique de la demande de pointe, en intervenant auprès des consommateurs, ou à l'achat temporaire d'électricité auprès de réseaux voisins.

Lorsqu'on analyse différentes filières énergétiques, il convient donc de mettre en parallèle que des équipements ayant les mêmes profils d'utilisation. C'est ainsi que, par exemple, on ne peut interchanger des turbines à gaz, qui sont des équipements de pointe très flexibles pouvant être démarrés à demande, avec des parcs d'éoliennes dont la production est liée aux caprices du vent.

2.3 PRÉVISIONS DE DEMANDE

Selon le scénario moyen de croissance actuellement prévu pour la décennie en cours,¹ les besoins de livraison en énergie électrique d'Hydro-Québec devraient connaître une croissance relativement faible de moins de 5 TWh par année, pour atteindre environ 210 TWh au tournant du siècle. En terme de puissance installée, on prévoit également une croissance plutôt lente des besoins globaux qui devraient augmenter en moyenne à 2 % par année, soit de 600 à 700 MW additionnels, et nous amener à une puissance requise d'environ 40 000 MW à la fin des années quatre-vingt-dix.

¹ Hydro-Québec, Proposition de plan de développement d'Hydro-Québec, 1990-92, horizon 1999, 1990, p. 80.

Il s'agit donc de 45 TWh d'énergie annuelle supplémentaire et de 6 000 à 7 000 MW de puissance supplémentaire à l'horizon de l'an 2000. A titre de comparaison, disons qu'un complexe hydroélectrique comme celui qui pourrait être construit sur la rivière Grande Baleine aurait une puissance disponible à la pointe de 3 168 MW et produirait en moyenne 16,2 TWh par année. L'ordre de grandeur des besoins supplémentaires escomptés pour la présente décennie se situe donc, sur la base d'un scénario moyen de croissance, entre deux et trois fois le potentiel hydroélectrique du complexe Grande Baleine.

A plus long terme, l'évolution des besoins en électricité dépendra aussi bien du degré de succès des programmes d'efficacité énergétique qui ont été mis en place que des décisions qui auront été prises en matière d'exportation d'énergie électrique et de développement industriel basé sur un usage intensif de l'électricité.

2.4 CHOIX COLLECTIF

Depuis le début des années soixante, Hydro-Québec a la responsabilité de fournir de l'électricité à tous les consommateurs québécois. Pour répondre à ce mandat, l'entreprise a mis en place un réseau intégré de production et de transport offrant un même service à tous les consommateurs, où qu'ils se trouvent sur le territoire du Québec. C'est ainsi que le présent document ne s'attarde pas à l'étude des questions comme la production individuelle d'électricité ou les auto-producteurs industriels. Les filières analysées prennent donc toutes la forme d'équipements de production qui seraient rattachés au réseau intégré d'Hydro-Québec et dont l'électricité viendrait s'ajouter à celle qui est déjà disponible à l'ensemble de la communauté québécoise.

3- OPTIONS ÉNERGÉTIQUES

Dans le passé, l'humanité a d'abord choisi d'exploiter les sources d'énergie qui sont les plus directement abondantes et les plus faciles à mettre à profit. Si l'énergie du soleil et des vents, ainsi que la force de l'eau, ont été utilisées depuis la nuit des temps, c'est la découverte du feu, il y a environ 200 000 ans, qui a donné à l'humanité sa première véritable maîtrise de l'énergie. Pendant la majeure partie de l'histoire humaine, le bois est resté la principale source d'énergie utilisée sur la planète. Il y a à peine plus d'un siècle, le bois comptait encore pour plus de 85 % de l'énergie produite au Canada. Le charbon, le pétrole et le gaz naturel, qui constituent des sources d'énergies plus concentrées que le bois, ont ensuite pris la relève pour alimenter la révolution industrielle qui a fait de la planète ce qu'elle est aujourd'hui.

A l'heure actuelle, plus de 85 % de l'énergie utilisée dans le monde provient de réserves non renouvelables d'énergie fossile (charbon, pétrole et gaz naturel). Il en est de même de la production d'électricité qui s'appuie à plus de 65 % sur ces mêmes sources d'énergie. L'humain consomme chaque jour 60 millions de barils de pétrole, 5 milliards de mètres cubes de gaz naturel et une dizaine de millions de tonnes de charbon.

Jusqu'à un passé très récent, la question de la disponibilité des sources d'énergie ne s'était jamais vraiment posée. Après le bois, on avait découvert le charbon; après le charbon, le pétrole; après le pétrole, le gaz naturel; et après le gaz naturel, l'atome qui devait nous fournir une énergie abondante et peu coûteuse. Aujourd'hui, à l'horizon du XXI^e siècle, la réalité est toute autre. L'humanité a pris brusquement conscience des limites de ses ressources énergétiques.

La Commission mondiale sur l'environnement et le développement (commission Brundtland) a proposé, en 1987, la notion de "développement durable"¹ comme principe de base devant guider les stratégies de croissance économique de la planète. En matière d'approvisionnement énergétique, cette notion implique une utilisation de l'énergie qui puisse "répondre aux besoins d'aujourd'hui sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs". A cet égard, le rapport affirme que : "Le développement des années à venir est en grande partie conditionné par la disponibilité à long terme de sources d'énergie fiables, sûres et non polluantes." Même dans ses scénarios les plus optimistes, la Commission constate cependant qu'il faudra accroître encore la consommation énergétique de la planète, ne serait ce que pour fournir un approvisionnement minimal aux populations en forte croissance des pays en développement.

Les nombreux scénarios étudiés par la commission Brundtland vont d'une croissance de 10 % pour la consommation d'énergie d'ici l'an 2030, pour les scénarios dits "très optimistes", à une croissance de 300 %, pour les scénarios les plus forts.

¹ Notre avenir à tous. Rapport de la commission mondiale sur l'environnement et le développement. Éditions du Fleuve, Les publications du Québec, mai 1988, 450 pages.

3.1 RÉSERVES ÉNERGÉTIQUES DE LA PLANÈTE

Les lois de la physique sont formelles en ce qui concerne les sources d'énergie auxquelles nous pouvons nous approvisionner sur la planète. A cet égard, la théorie a précédé la pratique et a répertorié en détail toutes les formes d'énergie qui sont présentes dans la nature. Même si ces formes peuvent apparemment varier à l'infini, elles se ramènent toujours aux grandes forces (gravitationnelle, électromagnétique et nucléaires, faible et forte) qui régissent tous les phénomènes physiques et que les physiciens connaissent depuis la naissance de la science moderne. Il n'y a donc pas à de solution miracle qui risque de venir changer radicalement le panorama énergétique planétaire.

Sur terre comme ailleurs, l'énergie peut être captée, accumulée, transformée, libérée ou dissipée. Elle ne peut jamais être créée ou détruite. Tout ce que nous pouvons faire sur terre, c'est de mettre à profit les formes d'énergie qui nous sont accessibles et de s'assurer qu'elles se transforment en faisant un travail qui nous soit utile plutôt que de se dissiper en pure perte. Ce que la recherche fondamentale et l'innovation technologique peuvent cependant nous apporter, ce sont des façons nouvelles, plus efficaces, d'exploiter les sources d'énergie que nous connaissons déjà.

Les sources d'énergie qui sont disponibles dans la nature sont relativement peu nombreuses. En fait, l'essentiel de l'énergie disponible sur Terre provient du rayonnement solaire. C'est cette énergie par exemple qui alimente le cycle hydraulique des rivières et le régime des vents. C'est toujours l'énergie du soleil qui, grâce au processus de photosynthèse, permet à la matière végétale de croître et d'accumuler de l'énergie sous forme de biomasse. Une partie de l'énergie de la biomasse peut même s'accumuler pendant des millions d'années dans le sous-sol et former de vastes gisements d'énergie fossile, sous forme de pétrole, de gaz naturel et de charbon. Toutes les grandes réserves d'énergie fossile que nous utilisons aujourd'hui ne sont en fait que de l'énergie solaire accumulée petit à petit pendant les millénaires passés.

L'énergie qui est contenue dans la structure même de la matière, que l'on désigne sous le nom d'énergie nucléaire ou atomique, constitue une source d'énergie complètement différente. Cette formidable source d'énergie nous vient également de très loin dans le temps. Cette énergie a été emprisonnée dans la matière il y a des milliards d'années, au moment où l'univers prenait forme au coeur de vastes explosions cosmiques infiniment plus puissantes que celles qui alimentent toujours le feu du soleil.

D'autres sources d'énergie font finalement appel à différents phénomènes naturels. C'est le cas de la géothermie, qui s'approvisionne à la chaleur créée par la pression gravitationnelle et l'activité radioactive du centre de la Terre, ou de l'énergie marémotrice, qui s'appuie sur l'interaction gravitationnelle entre la Terre et la Lune.

Certaines sources d'énergie ne peuvent être exploitées qu'au rythme où elles sont continuellement alimentées par le soleil. C'est le cas des énergies solaire, éolienne et hydraulique qui sont dites renouvelables puisqu'elles sont constamment

renouvelées. Si elles ne risquent pas de s'épuiser un jour, ces sources d'énergie sont cependant limitées quant à la quantité d'énergie qu'elles peuvent mettre instantanément à notre disposition. L'énergie de la biomasse met plus de temps à se reconstituer et peut donc connaître une rupture de stock si le rythme d'exploitation est trop rapide. Ceci est encore plus vrai dans le cas des réserves de charbon et d'hydrocarbures dont l'accumulation se fait à un rythme très lent et qui nécessitent des périodes de maturation qui se comptent en centaines de millions d'années. En fait, l'humanité consomme actuellement en une année une quantité d'énergie fossile que la Terre a mis plus d'un million d'années à accumuler. Même si les grandes sources d'énergies fossiles sont toutes issues de l'énergie du rayonnement solaire, elles ne peuvent donc être considérées comme renouvelables.

Quant à l'énergie nucléaire, elle s'appuie, dans sa forme actuelle, sur des réserves d'uranium qui, quoique très abondantes, sont limitées et non renouvelables. La technologie nucléaire peut cependant mettre à profit des filières technologiques plus avancées qui permettront de tirer davantage d'énergie d'une même quantité d'uranium ou encore qui sauront mettre à profit d'autres types de combustibles nucléaires. Pour ces filières plus avancées (cycle du thorium, surgénérateurs, etc) la question de l'approvisionnement en matière première énergétique ne pose qu'un problème minime par rapport aux difficultés technologiques de leur mise en oeuvre.

A plus long terme, la fusion thermonucléaire devrait permettre de produire de l'énergie à partir d'atomes d'hydrogène qui sont disponibles sur Terre en quantité presque illimitée et de lithium dont les réserves sont très abondantes. Cette filière, dont les principes scientifiques sont connus depuis une cinquantaine d'années tarde cependant à se concrétiser et se bute toujours à des obstacles technologiques très importants.

3.2 SOURCES D'ÉNERGIE DISPONIBLES AU QUÉBEC

Le Québec est peu choyé relativement aux grandes sources d'énergie qui répondent actuellement à l'essentiel des besoins de la planète. On n'y trouve aucune source appréciable d'énergie fossile, et aucun gisement d'uranium n'y est actuellement en exploitation. Outre la force du vent et le rayonnement solaire, l'énergie hydraulique constitue en fait la seule source d'énergie qui soit disponible en grande quantité sur le territoire québécois. Si d'autres filières doivent être mises à contribution pour produire de grandes quantités d'électricité, elles devront s'appuyer sur des sources de faible puissance (vent, soleil, biomasse) ou faire appel à des intrants énergétiques qui seront importés.

Les réserves actuelles d'énergies fossiles ne font pas face à un épuisement imminent. Les réserves prouvées et connues de pétrole à ce jour sont égales à environ 44 années au rythme actuel de consommation.¹ Quant aux réserves de gaz naturel, même si elles correspondent à une quantité d'énergie équivalente à

¹ Oil and Gas Journal Data Book, Penn Well Publishing, 1989.

celles des réserves de pétrole, elles sont actuellement exploitées à un rythme plus lent et peuvent couvrir une soixantaine d'années de consommation au rythme actuel. Cependant, la consommation d'énergie de la planète augmente continuellement et les nouvelles découvertes d'hydrocarbures n'arrivent plus à combler les quantités qui sont consommées chaque année. Il faudra donc de plus en plus se tourner vers des gisements moins avantageux et plus coûteux à mettre en production. Cette situation exercera dans l'avenir une pression constante vers la hausse du prix des hydrocarbures à laquelle se superposeront des fluctuations de prix liées au contexte politico-économique plus immédiat.

Même si la disponibilité des hydrocarbures ne doit pas poser de problème pour un avenir prévisible, le prix peut fluctuer de façon imprévisible au gré des tensions politiques et économiques planétaires. Le pétrole constituant encore l'unité de référence dans le monde de l'énergie, il est à prévoir que toute augmentation du prix du pétrole se répercuterait immédiatement sur les prix du gaz et du pétrole importés au Québec.

Le charbon constitue de loin la source d'énergie fossile la plus abondante. A l'échelle de la planète, les réserves de charbon sont, en terme d'énergie, au moins 20 fois plus importantes que les réserves de pétrole. Il en est de même au Canada où les réserves de charbon comptent pour environ 80 % des réserves totales d'énergie fossile.

Dans un contexte d'épuisement progressif des réserves planétaires en énergie fossile, l'hydroélectricité constitue, là où elle est disponible, la forme d'énergie renouvelable la plus intéressante. A l'heure actuelle, le Québec, tout comme le Manitoba et la Norvège sont les seuls grands producteurs d'électricité à s'appuyer presque essentiellement sur une source d'énergie renouvelable, à savoir l'énergie hydraulique de ses rivières.

Le recours croissant à l'hydroélectricité a amené une augmentation du degré d'autonomie énergétique de l'économie québécoise, qui est passé de 50 % au milieu des années soixante-dix à plus de 70 % aujourd'hui.¹ Cela constitue une bonne police d'assurance contre les conséquences d'un bouleversement toujours possible de la géopolitique énergétique internationale et contre les fluctuations du prix des hydrocarbures et en particulier du pétrole.

Contrairement à la plupart des pays industrialisés, et même si d'importants aménagements hydroélectriques y ont déjà été réalisés, le Québec dispose encore d'une grande quantité de ressources hydrauliques non aménagées. Le potentiel hydroélectrique encore disponible s'y situe à environ 50 000 MW, dont 18 800 MW sont plus économiques que toute autre source de production. C'est donc surtout en fonction de l'option hydroélectrique que les autres filières de production d'électricité doivent être analysées.

¹ Gouvernement du Québec, L'énergie au Québec, édition 1990, 1990, p.9.

3.3 TECHNOLOGIES DE CONVERSION EN ÉLECTRICITÉ

La découverte des principes de production de l'électricité, il y a un peu plus de 150 ans, a changé radicalement la situation énergétique de la planète. On s'est rendu compte à cette époque qu'il suffisait de faire tourner une bobine de fil métallique à l'intérieur d'un champ magnétique pour y produire un courant électrique. C'est en mettant à profit ce principe élémentaire que les alternateurs des centrales électriques produisent leur électricité. La force de l'eau, du vent, de la vapeur ou d'un gaz est alors utilisée pour faire tourner, via une turbine, l'immense bobinage électrique qui constitue le coeur d'un alternateur.

L'électricité constitue une forme d'énergie particulièrement flexible qui peut être mise à profit beaucoup plus facilement que les formes d'énergie thermique ou mécanique auxquelles l'humanité était limitée jusque-là. A cet égard, le Québec a l'énorme avantage de pouvoir compter sur d'importantes ressources hydroélectriques moins coûteuses que d'autres sources, ce qui permet à l'électricité d'occuper environ 40 % de son bilan énergétique comparativement à une moyenne de 12 % à l'échelle de la planète.

De fait, la plupart des pays doivent utiliser des sources d'énergie thermique pour produire de l'électricité. Or, la conversion de l'énergie thermique en énergie électrique se fait toujours difficilement et occasionne généralement une perte de plus de la moitié de l'énergie thermique nécessaire. C'est pour cette raison que l'électricité est perçue comme étant une forme "noble" d'énergie dont la valeur est toujours supérieure à celle de son simple contenu énergétique. Sur le plan des systèmes physiques, il n'existe qu'un nombre limité de filières technologiques permettant de transformer de l'énergie en électricité. Pour être vraiment efficace, chaque filière doit être adaptée aux caractéristiques de la source d'énergie à laquelle elle s'approvisionne, car les techniques actuelles ne permettent pas de transformer toute forme d'énergie en électricité avec la même efficacité. Compte tenu des limites des réserves en énergie fossile de la planète et de la pollution engendrée par la conversion de ces énergies en électricité, il importe que cette conversion se fasse de la façon la plus efficace possible.

3.3.1 Technologies thermiques

Les filières thermiques classiques ont recours à une source de chaleur pour produire la force mécanique nécessaire pour actionner un alternateur. Cette source de chaleur peut provenir aussi bien de la combustion de matières organiques, comme la biomasse ou les carburants fossiles, que d'une réaction nucléaire. Les énergies fossiles sont bien adaptées à ce type d'usage, puisqu'elles peuvent se transformer en chaleur avec une efficacité de presque 100 %. La chaleur des profondeurs du sous-sol (géothermie) ou des éruptions thermiques ou volcaniques peuvent également être utilisées tout comme le gradient de température qui existe toujours entre la surface et le fond des océans. La chaleur directe du soleil peut finalement être concentrée par des systèmes de miroirs et transformée en électricité.

Dans les grandes centrales thermiques, on utilise généralement le cycle de la vapeur pour transformer la chaleur en électricité via une turbine couplée à un alternateur. On peut également brûler directement le combustible dans une turbine à gaz ou dans un moteur à explosion qui seront couplés à un alternateur. Un dispositif particulier sera choisi en fonction du combustible, de la quantité d'énergie en cause et des paramètres d'exploitation de la centrale.

Comparativement aux grands complexes hydroélectriques et aux centrales nucléaires, les centrales thermiques peuvent être construites en un temps relativement court et à un coût relativement faible. Elles seront cependant plus coûteuses à exploiter à cause des frais en combustible et leur prix de revient, au kilowattheure produit, est généralement supérieur à celui des centrales hydroélectriques et nucléaires au Québec lorsqu'elles sont utilisées sur une base régulière.

Dans ce type de filière, l'efficacité de la conversion de l'énergie thermique en électricité se bute toujours aux limites d'efficacité intrinsèques du cycle thermodynamique qui détermine le fonctionnement des turbines à vapeur et des moteurs à combustibles. Règle générale, plus la température est élevée, plus la conversion électrique sera efficace. Mais quelle que soit la température ou la sophistication de la filière utilisée, cette efficacité globale de conversion en électricité ne peut atteindre que 50 % pour certaines filières. Elle se situe généralement entre 35 et 40 %.

L'énergie thermique non transformée en électricité est généralement perdue dans le cycle de refroidissement de la centrale. Cette énergie thermique peut cependant être récupérée pour fournir du chauffage pour des besoins domestiques ou industriels. Même s'il n'augmente pas la quantité d'électricité produite, un tel système augmentera l'efficacité d'utilisation du combustible.

Dans le cas des centrales dont les turbines sont actionnées directement par les gaz de combustion (turbines à gaz), les gaz d'échappement de la turbine sont très chauds. On peut récupérer une bonne partie de cette chaleur et l'utiliser pour produire de la vapeur. Cette vapeur peut être utilisée pour faire tourner une turbine à vapeur et dans ce cas on a un cycle combiné (cycle gaz et cycle vapeur). Cette vapeur peut aussi être utilisée dans un procédé industriel et dans ce cas on a de la production combinée aussi appelée cogénération.

3.3.2 Technologies mécaniques : hydraulique, éolienne

L'alternateur électrique peut transformer tout travail mécanique en électricité avec une grande efficacité. À l'heure actuelle, toutes les grandes filières commerciales utilisent donc des alternateurs pour produire de l'électricité. Pour l'énergie hydraulique et l'énergie éolienne, il s'agit d'extraire l'énergie cinétique de fluides en mouvement pour faire tourner un alternateur électrique. L'efficacité globale de ces filières dépend essentiellement de l'efficacité des turbines utilisées. Une bonne turbine à eau permet généralement de transformer en énergie mécanique plus de 95 % de l'énergie cinétique de l'eau en mouvement. L'énergie hydraulique est donc particulièrement bien adaptée à la production d'électricité. Il n'est d'ailleurs

pas étonnant de constater qu'on a d'abord utilisé les sources d'énergie hydraulique pour produire de l'électricité. Au Canada par exemple, toute l'électricité a été essentiellement produite à partir de sources hydrauliques jusque vers la fin des années soixante.

Quant aux turbines éoliennes, elles doivent fonctionner dans des conditions très variables qui ne leur permettent pas d'être optimisées comme le sont les turbines à eau. Leur efficacité moyenne se situe généralement autour de 25 %, ¹ c'est à dire qu'elles réussissent à capter seulement un quart de l'énergie cinétique du vent qui traverse la section du rotor. Quant à l'efficacité des alternateurs qui transforment l'énergie mécanique des turbines éoliennes et en électricité, elle est généralement de plus de 95 %.

3.3.3 Technologies physico-chimiques

Outre les filières mécanique et thermique, il existe un certain nombre de technologies permettant de produire de l'électricité à partir d'une source quelconque d'énergie. Ces différentes filières s'appuient sur des phénomènes physiques ou chimiques par lesquelles différentes formes d'énergie (rayonnement, chaleur, énergie chimique, énergie cinétique, etc.) peuvent alimenter une source d'électricité.

La plus intéressante de ces filières est peut-être la filière photovoltaïque qui met à profit l'effet photovoltaïque grâce auquel certains matériaux semi-conducteurs génèrent directement une différence de tension électrique lorsqu'ils sont exposés à un rayonnement lumineux comme celui qui nous vient du soleil. Cette différence de tension appliquée à un circuit produit un courant électrique. Très coûteuses, les cellules photovoltaïques ont d'abord été utilisées pour l'alimentation électrique des satellites et des véhicules spatiaux. Avec les années, le prix de ces cellules a cependant diminué de façon importante. Même si l'efficacité de conversion de ces dispositifs s'est considérablement amélioré au cours des ans, elle se situe encore à environ seulement 20 %.

D'autres filières de production d'électricité sont également à l'étude dans le monde depuis plusieurs années. Parmi celles-ci, les alternateurs magnétohydrodynamiques et les piles à combustible semblent être les plus prometteuses. Les alternateurs magnétohydrodynamiques produisent directement de l'électricité en faisant passer un gaz très chaud dans un champ magnétique. Quant aux piles à combustible, il s'agit, comme leur nom l'indique, de piles électrochimiques qui produisent de l'électricité à partir d'un combustible chimique comme de l'hydrogène ou du gaz naturel. Même si elles doivent recourir à des sources d'énergie traditionnelles, ces nouvelles filières montrent déjà des facteurs d'efficacité variant entre 50 et 60 %. Il s'agit cependant de technologies qui ne sauraient être commercialisées à des prix concurrentiels avant plusieurs années.

¹ Canadian Wind Energy Technical and Market Potential. Alternative Energy Division, CANMET, Draft Document, août 1991, p.22.

3.4 FILIÈRES ENVISAGÉES

Il existe somme toute une multitude de technologies permettant de transformer en électricité les différentes formes d'énergies trouvées dans la nature. Pour que l'une ou l'autre de ces filières énergétiques soit susceptible de contribuer de façon non négligeable à l'approvisionnement en électricité d'une société développée, il faut cependant à la fois qu'elle s'alimente à une source d'énergie relativement abondante et qu'elle puisse transformer efficacement cette énergie en électricité et ce, à un coût acceptable. Les filières de production d'électricité qui sont capables de satisfaire à cette double exigence sont cependant moins nombreuses qu'on pourrait le croire.

Dans le cadre de la présente analyse, près d'une vingtaine de filières ont été envisagées initialement. Chacune de celles-ci est en mesure de produire de l'énergie électrique à partir d'une source d'énergie en mettant à profit une technologie efficace de conversion. Toutes ne sont évidemment pas économiquement compétitives avec l'hydroélectricité ou les autres grandes filières commerciales alimentées aux énergies fossiles ou à l'énergie nucléaire. Certaines des filières considérées n'ont d'ailleurs pas encore atteint un niveau de développement technologique suffisant pour être implantées à une échelle commerciale.

Le tableau 3.1 donne la liste des filières considérées et les regroupe en fonction des sources d'énergie qu'elles mettent à profit.

3.5 FILIÈRES ÉLIMINÉES

Les filières qui ont été retenues pour analyse sont celles qui s'appuient sur des sources d'énergie qui existent au Québec ou qui peuvent être importées, ainsi que celles qui bénéficient de technologies qui sont actuellement disponibles sur le plan commercial ou qui risquent de le devenir d'ici la fin de la présente décennie.

Ces critères de sélection ont conduit à l'élimination, dans le cadre de la présente étude, de certaines filières comme celles basées sur la géothermie, les marées, l'énergie des vagues ou le gradient thermique des océans. La fusion thermonucléaire s'offre comme une option énergétique très intéressante à long terme, mais n'a pas encore atteint l'étape du prototype.

Quant à l'hydrogène, même si on la présente souvent comme l'énergie de l'avenir, il ne constitue pas une source d'énergie, comme le soleil, le vent ou l'atome, mais plutôt une forme d'énergie ou un vecteur énergétique, tout comme l'électricité. Il ne s'agit donc pas d'un élément qui puisse contribuer à notre approvisionnement énergétique, puisque la production d'hydrogène nécessite une autre source d'énergie comme l'hydroélectricité ou l'énergie nucléaire.

Tableau 3.1 : Liste des filières de production d'électricité considérées et retenues

NATURE	SOURCE D'ÉNERGIE	FILIÈRE DE PRODUCTION	ÉLÉMENT DISCRIMINANT		SÉLECTION
			Pertinence dans le contexte du Québec	Maîtrise technologique dans l'horizon 2000	
FOSSILE	Gaz	Thermique			OUI
	Pétrole	Thermique			OUI
	Charbon	Thermique			OUI
RENOUVELABLE	Hydraulique	Mécanique			OUI
	Solaire	Héliothermique			OUI
		Photovoltaïque			OUI
	Éolienne	Mécanique			OUI
	Biomasse	Thermique			OUI
	Géothermique	Thermique	Non		NON
	Marémotricité	Mécanique	Non		NON
	Vagues	Mécanique		Non	NON
Gradient thermique de l'eau	Thermique		Non	NON	
NUCLÉAIRE	Fission des atomes lourds	Thermique			OUI
	Fusion des atomes légers	Thermique		Non	NON

La production combinée d'électricité et de chaleur à partir d'une réaction thermique de combustion (on parle plus souvent de "cogénération"), ne constitue pas une filière qui a été spécifiquement analysée. Outre l'avantage économique qui peut en découler, la cogénération présente les mêmes enjeux environnementaux que la filière thermique à laquelle elle vient s'accoler, si ce n'est bien sûr une diminution des rejets thermiques dans l'environnement.

3.6 FILIÈRES RETENUES POUR ÉTUDE

En plus de l'hydroélectricité, on retrouve parmi les filières de base retenues pour fins d'analyse, les trois filières thermiques à combustible fossile, à savoir le charbon, le pétrole et le gaz naturel, ainsi que la filière thermique à base de fission nucléaire. Ces cinq filières sont déjà bien maîtrisées et implantées et produisent actuellement la quasi totalité de l'électricité utilisée dans le monde. Dans les pays de l'OCDE, les filières thermiques à combustibles fossiles produisent près de 60 % de l'électricité consommée contre environ 20% respectivement pour l'hydroélectricité et l'énergie nucléaire. Si ces cinq filières sont tellement utilisées, c'est qu'elles exploitent des sources d'énergies à la fois importantes et condensées et qu'elles réussissent à les transformer en électricité à des coûts avantageux. En terme d'intrant énergétique, aucune de ces filières ne présente de lacune quant à la disponibilité d'approvisionnement pour la durée d'amortissement de leurs équipements.

Sur le plan environnemental, les cinq filières à l'étude sont toutes capables de produire de grandes quantités d'électricité sans présenter d'impacts environnementaux reconnus comme nettement inacceptables. Les filières en cause peuvent également bénéficier d'améliorations technologiques qui sont susceptibles d'en réduire considérablement les impacts environnementaux. Comme il s'agit de technologies qui pourraient être améliorées d'ici l'an 2 000, il convient de prendre en compte les versions les plus avancées de chacune des filières à l'étude.

Il faut également ajouter à ces filières, celles qui sont basées sur l'exploitation du rayonnement solaire, de la force du vent et de la biomasse. Même si elles restent encore relativement peu utilisées, il s'agit là de formes d'énergie qui ont l'avantage d'être renouvelables et, pour les énergies éolienne et solaire, de ne libérer directement aucune pollution. Si certaines de ces filières ne sont pas encore compétitives sur le plan économique, ou n'ont pas à elles seules la capacité de répondre à une partie non négligeable de la demande des années à venir, elles présentent cependant des avantages indéniables qui peuvent compenser certaines de leurs lacunes.

4- CADRE D'ANALYSE

4.1 APPROCHE

Malgré l'interaction reconnue et évidente des éléments humains et naturels qui composent l'ensemble des écosystèmes de la planète, l'analyse environnementale s'appuie généralement sur le découpage des écosystèmes en unités différenciées généralement appelées des éléments ou des ressources du milieu. Le tableau 4.1 rend compte de différents efforts de classification des éléments du milieu pour fin d'analyse environnementale.

Un tel découpage des écosystèmes en unités différenciées répond d'abord aux besoins propres de l'analyse. Considérant en effet la multiplicité des disciplines en cause (géologie, climatologie, hydrologie, biologie, urbanisme, sociologie, archéologie, etc), l'approche par élément du milieu facilite la répartition des tâches d'investigation et permet un traitement ordonné et systématique de l'analyse. C'est une approche qui facilite également une gestion efficace de la problématique environnementale, autant en termes d'atténuation ou de bonification des interventions que de surveillance des travaux ou de suivi environnemental. C'est d'ailleurs sur la base d'une telle fragmentation de l'environnement que s'élaborent les directives d'études d'impacts sur l'environnement et en fonction d'une couverture systématique de tous les éléments identifiés que sont émises les autorisations gouvernementales.

Il s'avérerait inutile, dans le cadre du présent document, de traiter systématiquement de tous les sujets normalement couverts dans une évaluation environnementale classique. Ceci n'indique pas que les sujets non retenus ici apparaissent peu importants dans le contexte propre de la réalisation d'un projet, mais plutôt qu'ils concernent généralement des impacts sur l'environnement qui disposent d'un encadrement normatif et de pratique largement connu. Ainsi, a-t-on convenu par exemple de ne pas prendre en considération des problématiques environnementales ponctuelles et locales comme la traversée des cours d'eau, les techniques de déboisement, la gestion des huiles usées ou encore le respect des caractéristiques paysagères ou historiques d'un milieu donné.

Nous avons donc retenu six thèmes d'analyse généraux permettant de caractériser chaque filière de production d'électricité sur une base sensiblement comparable : *la qualité de l'eau, de l'air et du sol, les écosystèmes naturels, les conditions atmosphériques globales, l'occupation et la structuration du territoire, les perceptions et changements sociaux, et enfin, la sécurité*. Ces thèmes ont été retenus en fonction des enjeux environnementaux les plus couramment identifiés, aussi bien par la population que par la communauté scientifique. Ils sont décrits brièvement dans la section 4.2 et sont repris systématiquement par la suite (chapitres 5 à 10 inclusivement) lors de l'analyse de chaque filière de production d'électricité.

Tableau 4.1 : Liste Indicative d'éléments du milieu généralement considérés dans l'évaluation environnementale de projets de production d'électricité

Hydro-Québec	UQCN/ AQLPA	OCDE	ONU	SESEE
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 fauniques - mercure - végétation aquatique - végétation terrestre - végétation riveraine Milieu humain - mode de vie des populations - accès routiers - utilisation du territoire - composantes économiques et sociales - chasse - pêche - pourvoirie - canot-camping - kayak - villégiature - navigation - baignade, etc - transport - paysage - foresterie	Acidification - SO ₂ - NO _x Hydrocarbures Ozone troposphérique Particules, suies Effet de serre - CO ₂ /CH ₄ - N ₂ O Métaux toxiques Résidus - extraction - traitement Déforestation/érosion Destruction des habitats Incompatibilité/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 Maritime pollution Land use and siting impact Radiation and radioactivity Solid waste disposal Hazardous air pollutants Ambient 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 developm. - navigation - recreation Human values - resettlement - public health - socio-economics - archaeology - 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 - particulates - radioactive - H. metals - VOC - CO ₂ Aquatic - hydrocarbons - particulates - radioactive - acid dr. water Terrestrial - disturbance - subsidence - destruction

- Hydro-Québec

Hydro-Québec, Impacts et mesures d'atténuation, dans, Aménagement hydroélectrique de l'Ashuapmushuan. Synthèse des études sectorielles. Avant-projet phase 1, avril 1991.

- UQCN/AQLPA

Union québécoise pour la conservation de la nature et Association québécoise de la lutte contre les pluies acides, Impacts environnementaux des alternatives énergétiques au Canada, dans, Franc Nord, printemps 1989.

- OCDE

International Energy Agency, Areas of Environmental Concern, dans, Energy and the Environment : Policy Overview, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris, 1989.

- ONU

Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, Summary of environmental effects of Pa Mong dam/reservoir projection on Mekong river, dans, Environmental Impact Assessment. Guidelines for Planners and Decision Makers, United Nations, Bangkok, 1985.

- SESEE

Senior Expert Symposium on Electricity and the Environment, Ranking of environmental impacts, dans, Comparative Environmental and Health Effects of Different Energy Systems for Electricity Generation, Key Issues Paper No. 3, Helsinki, avril 1991.

Étant donné l'objectif poursuivi, soit de mettre en parallèle la problématique environnementale de chaque filière, il n'est pas, non plus, nécessaire de traiter des impacts environnementaux non discriminants, c'est-à-dire ceux qui sont communs à toutes les filières. Ainsi en est-il particulièrement des impacts associés aux réseaux de répartition et de distribution de l'électricité.

La problématique environnementale de chaque filière couvre enfin tout le cycle de vie des projets : construction, exploitation, démantèlement. Dans le cas des filières à combustible (énergie fossile, nucléaire, biomasse), l'analyse prend en considération la chaîne complète des intrants énergétiques : extraction, traitement, transport, entreposage et gestion des déchets.

4.2 CRITÈRES ENVIRONNEMENTAUX

4.2.1 Qualité de l'eau, de l'air et du sol

Ce thème concerne toute perturbation locale ou régionale de la composition physique, chimique ou biologique de l'eau, de l'air ou du sol. Les changements pris en compte peuvent provenir de l'émission d'un polluant dans le milieu ou de mécanismes perturbant directement la qualité initiale de l'eau, de l'air ou du sol. De tels changements n'ont de véritable signification que s'ils incommode les populations ou compromettent la santé, la sécurité publique ou les écosystèmes naturels.

4.2.2 Écosystèmes naturels

Ce thème concerne toute intervention conduisant à la modification, en nombre ou en qualité, des ressources végétales ou animales de leurs relations et de leurs habitats. Une telle modification peut avoir une incidence sur la richesse globale de notre environnement naturel (par exemple sur sa diversité biologique) ou sur la disponibilité de ressources utiles; alimentaires et sportives notamment. De telles perturbations peuvent résulter d'effets directs (par exemple des destructions), ou encore de modifications du milieu.

4.2.3 Conditions atmosphériques globales

Ce thème concerne toute activité humaine ayant une incidence potentielle sur les conditions climatiques de la planète. Les modifications climatiques globales connues à ce jour résultent de certaines émissions atmosphériques ou de perturbations apportées à des ressources naturelles ayant un pouvoir régulateur sur le climat (par exemple, la végétation). Les principaux problèmes de dérangement atmosphérique global sont le réchauffement de la planète issu de l'augmentation de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre et la destruction de la couche protectrice d'ozone stratosphérique.

4.2.4 Occupation et structuration du territoire

Ce thème concerne l'ensemble des interventions ayant pour effet de modifier la nature, l'ampleur ou la localisation des activités humaines sur le territoire. On regroupe sous ce thème les impacts directs associés à l'occupation compétitive d'un espace donné par les installations de production et de transport d'électricité, les dérangements ou modifications occasionnés par de telles installations sur des ressources ou activités comme le tourisme, la chasse, le patrimoine, les paysages et l'exploitation forestière, ainsi que les effets d'entraînement de ces installations sur l'aménagement du territoire. Dans ce dernier cas, on peut plus particulièrement mentionner l'ouverture du territoire qu'entraîne la construction d'infrastructures d'accès.

4.2.5 Perceptions et changements sociaux

Ce thème concerne les tensions sociales résultant de modifications de modes de vie usuels ou du bouleversement de valeurs sociales courantes. De telles tensions peuvent conduire à la résistance des populations concernées et alimentent un certain nombre d'inquiétudes, parfois exacerbées, vis-à-vis les conséquences environnementales et socio-économiques d'un projet particulier de production d'électricité.

4.2.6 Sécurité

Ce thème concerne les risques d'accident pouvant conduire à des atteintes à la vie et à la santé de la population ainsi qu'à l'environnement. Ces accidents peuvent résulter d'une défaillance structurale ou mécanique de l'installation de production d'électricité, d'un mauvais fonctionnement du système de production, d'une erreur humaine ou d'évènements externes comme les tremblements de terres, les ouragans ou les sabotages.

5- FILIÈRES À COMBUSTIBLES FOSSILES

Les filières à combustibles fossiles produisent environ 60 % de l'électricité consommé actuellement dans le monde. La situation est très différente au Canada où 63 % de l'électricité produite est de source hydraulique et 15 % nucléaire. Au Canada, moins du quart de l'électricité produite vient de sources fossiles. Le charbon compte pour 75 % de l'énergie consommée dans ces centrales thermiques contre 15 % pour le pétrole et 9 % pour le gaz naturel. Les tableaux 5.1 et 5.2 résument la situation de la production d'électricité au Canada en 1990.

5.1 DESCRIPTION TECHNIQUE

Même si elles s'alimentent à une source de chaleur, les filières électriques à combustibles fossiles utilisent toujours un alternateur électrique pour produire de l'électricité à partir d'un travail mécanique. Ce travail est généralement produit par une turbine en rotation qui est directement couplée à l'alternateur. La turbine peut être entraînée par la détente de la vapeur sous pression ou directement par la détente des gaz de combustion à haute température.

5.1.1 Centrales thermiques classiques

Pour les centrales thermiques de grande puissance, on utilise surtout le cycle de la vapeur d'eau pour transformer la chaleur de combustion en électricité (figure 5.1). La chaudière de combustion peut alors être alimentée en gaz naturel, en mazout lourd ou encore en charbon. La chaudière des centrales thermiques à vapeur est tapissée de tuyaux où circule de l'eau qui se transforme en vapeur avant d'être canalisée vers une turbine. En se dilatant, la vapeur pousse les aubes de la turbine et la fait tourner. Un alternateur, fixé au même arbre transforme cette énergie en électricité.

Un circuit de refroidissement force la vapeur à se condenser à la sortie de la turbine, ce qui maintient une plus grande différence de pression et augmente d'autant l'efficacité de la turbine. L'efficacité de centrales thermiques n'est malgré tout pas très grande. Règle générale, environ seulement 35 % de l'énergie contenue dans le combustible sera finalement transformé en électricité. Environ 15 % sera perdu dans les gaz de cheminée et près de la moitié au niveau du circuit de refroidissement de la turbine à vapeur.

L'énergie thermique perdue dans le circuit de refroidissement sera diffusée sous forme de rejets thermiques dans les cours d'eau qui sont utilisés comme sources froides. Lorsque les débits disponibles d'eau de refroidissement sont limités, on peut recourir à des tours de refroidissement qui diffusent une partie des rejets thermiques dans l'air ambiant. Au Québec, compte tenu de la grande disponibilité en eaux courantes, il est à prévoir qu'on s'en tiendrait à un circuit de refroidissement ouvert où l'eau de refroidissement ne fait qu'un passage dans la centrale avant d'être renvoyée dans la nature.

Tableau 5.1: Production d'énergie électrique au Canada par source principale (GWh), 1990

Province	Charbon	Pétrole	Gaz naturel	Total combustibles fossiles	Nucléaire	Hydro-électricité	Autres	Total
Terre-Neuve	0	1 881	0	1 881	0	34 932	0	36 813
Ile-du-Prince-Édouard	107*	81	0	188	0	0	0	188
Nouvelle-Écosse	5 680	2 470	0	8 150	0	1 150	130	9 430
Nouveau-Brunswick	1 140	6 293	0	7 433	5 338	3 484	303	16 558
Québec	0	1 908	0	1 980	4 146	129 404	0	135 458
Ontario	26 352	1 087	2 000	29 439	59 353	40 225	326	129 343
Manitoba	345	5	8	358	0	19 747	44	20 149
Saskatchewan	8 623	14	507	9 144	0	4 220	176	13 540
Alberta	35 195	0	5 123	40 318	0	2 060	496	42 874
Colombie-Britannique	0	688	1 569	2 257	0	57 245	1 160	60 662
Yukon	0	57	0	57	0	423	0	480
Territoires du Nord-Ouest	0	215	0	215	0	257	0	472
Canada	77 442	14 699	9 207	101 348	68 837	293 147	2 635	465 967

* L'Ile-du-Prince-Édouard détient une participation de 10 % dans l'unité 2 de la Centrale au charbon de Dalhousie au Nouveau-Brunswick

Sources: Énergie, Mines et Ressources Canada, 1991

Tableau 5.2: Sources d'énergie utilisées au Canada pour produire de l'électricité, 1990

Province	Charbon (10 ³ tonnes)	Pétrole (m ³)	Gaz naturel (10 ⁶ m ³)
Terre-Neuve	0	493 556	0
Ile-du-Prince-Édouard	45	46 000	0
Nouvelle-Écosse	2 184	614 000	0
Nouveau-Brunswick	510	1 634 560	0
Québec	0	346 495	0
Ontario	9 546	455 000	1 141
Manitoba	298	1 379	2
Saskatchewan	7 458	4 455	167
Alberta	21 781	0	1 332
Colombie-Britannique	0	198 909	442
Yukon	0	17 299	0
Territoires du Nord-Ouest	0	76 000	0
Canada	41 822	3 887 653	3 084

Note: 1 M³ mazout = 6,3 barils
 1 m³ gaz = 35,5 pi³
 1 tonne = 1000 kg

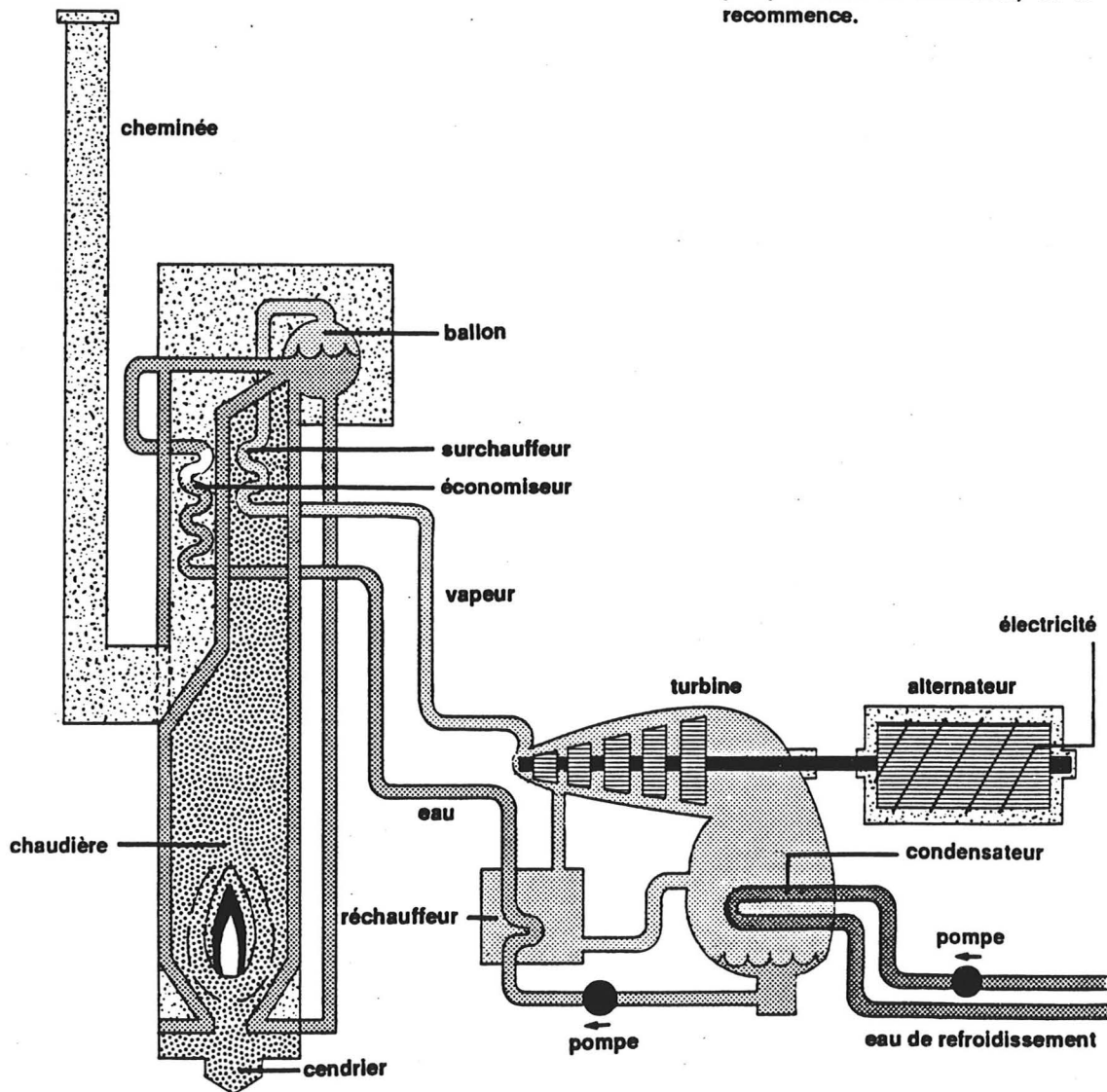
Un baril de mazout représente 5 800 000 Btu
 Un pied cube de gaz naturel représente 1 000 Btu
 Un gramme d'uranium représente 603 825 Btu

Source: Énergie, Mines et Ressources Canada, 1991

Figure 5.1 Centrale thermique classique

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La combustion porte l'eau de la chaudière à ébullition. La vapeur ainsi produite est recueillie dans un ballon, puis repasse dans la chaudière où elle est surchauffée et asséchée avant de se diriger vers les turbines. En se détendant, elle fait tourner une turbine qui entraîne à son tour un alternateur. En sortant des turbines, la vapeur passe par les condensateurs où elle retourne à l'état liquide. L'eau est ensuite pompée vers la chaudière, et le cycle recommence.



Sept des 10 plus grandes centrales thermiques classiques installées au Canada sont alimentées au charbon, deux au mazout et une au gaz naturel. Avec ses 600 MW de puissance électrique, la centrale de Tracy est la seule centrale thermique de ce type au Québec. Elle est alimentée au mazout lourd.

5.1.2 Turbines à gaz

Pour des unités de petite puissance, ou qui fonctionnent par intermittence, on peut brûler directement du gaz naturel ou des hydrocarbures dans une turbine, semblable à un moteur d'avion, qui actionne directement un alternateur (figure 5.2). Le rendement énergétique d'une turbine à gaz peut varier entre 30 et 40%. Les frais d'exploitation de ces turbines sont ainsi plutôt élevés en raison du coût du combustible. Du fait de leur montée rapide en puissance et de leur coût d'exploitation relativement élevés, ces turbines sont surtout utilisées pour répondre à des besoins de pointe.

Ces turbines se composent en premier lieu d'un compresseur qui ressemble à une turbine qui fonctionnerait à rebours. Cet étage de compression dirige de l'air vers une chambre à combustion dans laquelle on fait brûler un hydrocarbure léger. Les molécules du gaz sous pression qui est éjecté de la chambre de combustion viennent ensuite frapper des pales d'une turbine et l'entraînent en un mouvement rotatif qui, via un alternateur, produit de l'électricité.

Même si le combustible utilisé peut être aussi bien du mazout léger ou du gaz naturel, on parle de turbine à gaz pour désigner ces turbines qui sont actionnées par la force des gaz qui sont expulsés de la chambre de combustion.

On peut également combiner des turbines à gaz et des turbines à vapeur. Ce type d'installation, dite à "cycles combinés" permet de produire plus d'électricité en récupérant une partie de l'énergie thermique contenue dans les gaz d'échappement de la turbine à gaz pour produire la vapeur et actionner une turbine à vapeur. Le rendement global de l'installation peut alors atteindre 50 %.

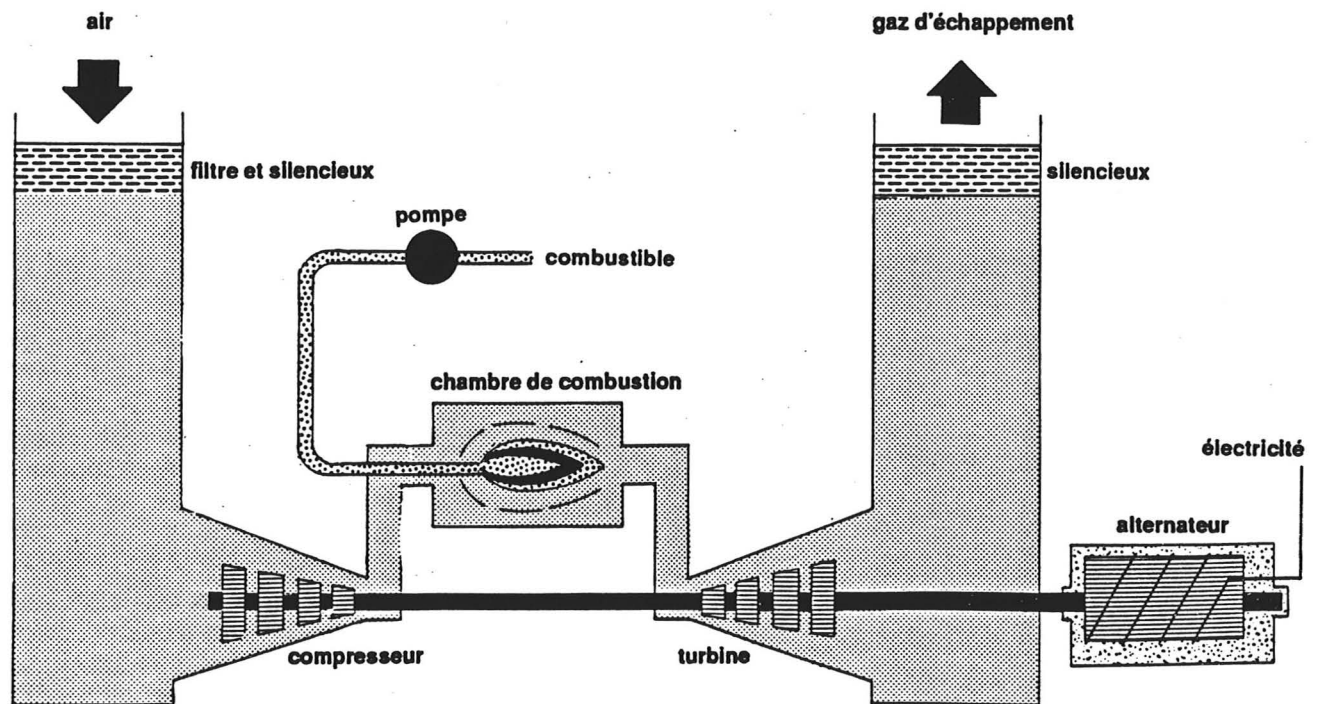
Deux centrales à turbines à gaz sont en service au Québec uniquement pour répondre aux besoins de pointe. La centrale de Cadillac en Abitibi a une puissance totale de 162 MW et celle de La Citière, sur la rive sud du Saint-Laurent, de 300 MW. Une nouvelle centrale de 400 MW est également en construction dans la région de Bécancour.

L'utilisation des groupes électrogènes actionnés par des moteurs diesel se limite à des sites isolés, non reliés au réseau d'Hydro-Québec. Ils n'ont donc pas été considérés dans cette étude qui porte sur des filières de production d'électricité pouvant être mises à profit à l'échelle de l'ensemble du réseau.

Figure 5.2 Centrale à turbine à gaz

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

L'alternateur est entraîné par une turbine constituée d'une roue à ailettes. C'est la poussée exercée sur les ailettes par la détente d'un mélange gazeux qui fait tourner la turbine. On obtient souvent le mélange gazeux en faisant brûler du mazout léger en présence d'air comprimé. L'air est comprimé par un compresseur actionné par la même turbine que l'alternateur.



5.2 ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

5.2.1 Qualité de l'eau, de l'air et du sol

Les centrales thermiques de production d'électricité contribuent à la pollution du milieu, notamment par l'émission de gaz à effet de serre, le rejet d'émissions dans l'air et dans l'eau et la contamination des sols. Les émissions de gaz à effet de serre ayant des incidences à l'échelle planétaire sont abordées dans la section 5.2.3 sur les conditions atmosphériques globales alors que les autres polluants de l'eau, de l'air et du sol sont considérés dans la présente section.

Les technologies utilisant des combustibles fossiles produisent au moment de la combustion, des volumes substantiels de polluants, plus particulièrement des oxydes d'azote (NO_x), du bioxyde de soufre (SO₂) et du bioxyde de carbone (CO₂), susceptibles de modifier la qualité de l'eau, de l'air et du sol, en contribuant plus particulièrement à l'acidification du milieu, à l'augmentation du niveau d'ozone troposphérique et à la contamination des sols.

Avant d'aborder les effets de chacun des polluants émis par la combustion des sources fossiles, quelques données sur les émissions actuelles sont présentées aux tableaux 5.3 et 5.4 pour cerner l'ampleur de la contribution éventuelle de nouvelles centrales thermiques à l'augmentation des charges polluantes.

Bioxyde de soufre (SO₂)

En 1985, la charge totale canadienne des émissions de bioxyde de soufre (SO₂) s'établissait à 3 704 000 tonnes alors que la production d'électricité représentait près de 20 % de cette charge.¹ Pour la même année, le Québec contribuait pour 702 673 tonnes dont 30 355 étaient attribuables à la production d'énergie.² Quant à l'Ontario, elle en produisait à la même période, 1 500 000 tonnes par année et près de 340 000 tonnes provenaient de la production d'énergie.

Les estimations préliminaires de 1990 établissent les niveaux de SO₂ à 12 000 tonnes pour le Québec et à 196 000 tonnes pour l'Ontario aux seules fins de la production d'électricité par opposition à la production d'énergie totale.

Environnement Canada prévoit une baisse substantielle des émissions canadiennes de SO₂ de l'ordre de 15 % d'ici l'an 2005. Au moment de la

¹ MacRaw, Morgan K., Coal, New Coal Technology and Electric Power Development, Canadian Energy Research Institute, Study 38, Ottawa, Calgary, 1991.

² Ministère de l'Environnement, L'environnement au Québec, un bilan, Gouvernement du Québec, 1988.

signature de l'entente Long Range Transboundary Air Pollution (LRTAP), le Canada s'était engagé à réduire sa production de SO₂ de 30 % du niveau de 1980, dès 1993. Par la suite, cette entente internationale a été traduite dans le Programme canadien de contrôle des pluies acides. Plus tard, les objectifs furent redéfinis dans le Plan vert sur l'environnement et précisés pour l'an 2000.

Oxydes d'azote (NO_x)

La production canadienne de NO_x s'établissait à 1 887 000 tonnes annuelles en 1985 et la production d'électricité comptait pour 13 % de cette charge. La contribution totale du Québec était estimée à 245 000 tonnes et celle de l'Ontario à près de 600 000 tonnes dont 9 500 servaient à des fins de production d'électricité. Les données de 1990 démontrent que les émissions de NO_x dues à la production d'électricité s'élevaient à 121 000 pour l'Ontario et à un faible niveau pour le Québec.

Lors de la révision de l'entente LRTAP en 1988, les signataires se sont engagés à prendre les mesures nécessaires pour limiter les émissions de NO_x à leur niveau de 1987. Le Plan de gestion des NO_x et des composés organiques volatiles (VOC) déposé en 1990, prévoit plusieurs mesures pour réduire les émissions pour respecter les obligations internationales du Canada, notamment le Protocole pour le contrôle des oxydes d'azote avec la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe.

Bioxyde de carbone (CO₂)

Le bioxyde de carbone issu de la combustion à des fins énergétiques contribuaient (1989) à 57 % des émissions responsables de l'effet de serre. Le tableau 5.3 donne la répartition provinciale des émissions de CO₂ générées par la combustion des combustibles fossiles pour produire de l'électricité en 1990.

On note que le Québec, avec ses centrales thermiques, est responsable d'un peu plus de 1 % de la charge canadienne de CO₂ générée par la production d'électricité alors que l'Ontario y contribue pour 30 % et l'Alberta pour 40 %. La charge totale de CO₂ s'établissait, en 1988, à environ 55 mégatonnes pour le Québec, 170 pour l'Ontario et 125 pour l'Alberta.

En 1990, le gouvernement du Canada s'est engagé à travailler à stabiliser les émissions de CO₂ en l'an 2000, au niveau de l'an 1990. Le Plan vert sur l'environnement a concrétisé ces objectifs sous forme de ressources budgétaires et d'actions.

Tableau 5.3: Émissions de SO₂, NO_x et CO₂ dues à la production d'électricité, 1990 (1 000 tonnes)

Province	SO ₂ (1 000 tonnes)	NO _x (1 000 tonnes)	CO ₂ (1 000 tonnes)
Terre-Neuve	24	0	1 585
Ile-du-Prince-Édouard	2	1	243
Nouvelle-Écosse	143	30	6 846
Nouveau-Brunswick	141	0	6 846
Québec	12	0	1 113
Ontario	196	121	27 403
Manitoba	3	2	499
Saskatchewan	76	21	10 220
Alberta	109	89	39 777
Colombie-Britannique	0	0	1 449
Yukon	0	0	56
Territoires du Nord-Ouest	0	0	244
Total des services d'électricité	706	274	95 924

Source: Énergie, Mines et Ressources Canada, 1991

Dépôts acides

Les émissions de NO_x et de SO₂ contribuent de façon significative à la création de dépôts acides. Ces émissions peuvent être considérées comme des polluants atmosphériques d'envergure régionale par opposition à planétaire.

Les dépôts sont de deux types. Les dépôts à base de soufre constituent les principales retombées acides à moins de 50 km d'une source alors que plus de 96 % du soufre contenu dans le combustible est transformé en SO₂ au moment de la combustion. Dans l'atmosphère, le SO₂ se transforme lentement en acide sulfurique et en sulfate. Les dépôts à base d'azote sont formés des oxydes d'azote générés lors de la combustion. Plus de 90 % des oxydes d'azote sont émis dans l'atmosphère sous forme de NO, le reste étant émis sous forme de NO₂.

Les polluants précurseurs de dépôts acides peuvent être transportés sur de longues distances par la pluie, la neige, la poussière ou encore le brouillard. Ils représentent une préoccupation environnementale à long terme alors qu'ils peuvent augmenter

l'acidité des lacs et des cours d'eau, contaminer les eaux souterraines et les sols. De plus, ils s'attaquent aux bâtiments et aux matériaux. Ils contribuent à accroître les problèmes respiratoires chez les êtres humains.

Hydro-Québec a estimé qu'une centrale thermique produisant 4,2 TWh par année, avec un contrôle de 90 % de l'émission du SO₂ et de 80 % du NO_x, produirait entre 3 150 et 4 150 tonnes par année de SO₂ et entre 450 et 1 300 tonnes annuellement de NO_x. Les estimations sont présentées au tableau 5.4.

Tableau 5.4: Émissions atmosphériques de SO₂ et de NO_x d'une centrale thermique (1) produisant 4,2 TWh par année(3)

Combustible (2)	SO ₂	NO _x
Gaz naturel	--	450
Pétrole	3 150	960
Charbon	4 150	1 300

Source: Hydro-Québec, 1991

- (1) Estimations basées sur un rendement global de 35 %.
- (2) Les pouvoirs calorifiques des combustibles sont: 49,72 MJ/kg pour le gaz naturel, 42,57 MJ/kg pour le charbon anthracite.
- (3) Avec un contrôle de SO₂ de 90 % et du NO_x de 80 %.

Les données du tableau précédent sont basées sur l'hypothèse que des techniques de pointe de réduction des émissions polluantes sont installées. Ces technologies existent déjà. Elles sont cependant relativement coûteuses et leur utilisation exige la gestion d'une grande quantité de déchets tels les acides sulfuriques et les sulfates issus de l'assainissement des gaz de combustion.

Ainsi, en plus d'entraîner l'accroissement des déchets polluants, l'utilisation des combustibles fossiles imposerait des contraintes supplémentaires au Québec au chapitre de la réduction des dépôts acides pour respecter les objectifs internationaux. Par exemple, une seule centrale thermique augmenterait de plus de 34 % les émissions québécoises de SO₂ dues à la production d'électricité en 1990 et serait la source ponctuelle la plus importante quant aux émissions de NO_x.

Ozone troposphérique

Contrairement à l'ozone stratosphérique (couche d'ozone), la présence d'ozone (O₃) dans la basse couche de l'atmosphère, appelée la troposphère, est indésirable étant donné ses impacts néfastes tels que la réduction de la croissance de la végétation, de la production agricole et l'oxydation accélérée des matériaux et les incidences sur les maladies respiratoires.

La formation photochimique de l'ozone dans la troposphère est principalement causée par les oxydes d'azote (NO_x) issus de la combustion fossile et les composés organiques volatiles (VOC) dont les hydrocarbures imbrûlés (Hc) de même que par les émissions de méthane (CH₄) issues principalement de l'utilisation du gaz naturel. Les automobiles et diverses sources de pollution industrielle comme la combustion à des fins de production d'électricité sont les principaux responsables.

Les zones urbaines subissent généralement de fortes concentrations d'ozone et déjà le corridor Windsor-Québec et toute la vallée du Saint-Laurent et de l'Outaouais ont, à l'occasion, des niveaux qui excèdent les normes environnementales.

Contamination des sols

En plus d'être acidifiés, les sols peuvent être contaminés tant par les activités d'extraction, de préparation, de transport et d'entreposage du charbon et du mazout que par des déversements accidentels lors du transport du combustible. Les contaminants empruntant en surface les réseaux de drainage pénètrent le sol. Les produits sont alors acheminés jusqu'à la nappe phréatique selon un rythme qui est fonction de la perméabilité de la couche de surface, de l'épaisseur des zones non saturées ainsi que la présence de vallées souterraines drainant l'aquifère.

L'effet des polluants sur la végétation résulte de leur diffusion dans les pores du feuillage et de leur dissolution dans l'eau. Les réactions sont diverses: décoloration des feuilles, lésions foliaires, diminution de la croissance et de la production, réduction de la photosynthèse, destruction des cellules et malformation.

En fait, la pollution affecte l'arbre de la même façon qu'un climat rude ou un sol pauvre. Les oxydes d'azote (NO_x) en plus de contribuer à l'acidification des pluies, participent à l'augmentation du niveau de fer dans les racines des plantes, rendant plus difficile l'absorption de l'eau. Les végétaux peuvent aussi être affectés de d'autres façons. Les principales sont l'absorption de bioxyde de soufre (SO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x) par le feuillage, l'appauvrissement du sol en éléments nutritifs lorsque le pH diminue, une augmentation des concentrations de métaux lourds ainsi que l'accroissement de la susceptibilité au gel.

Les feuillus sont plus touchés par les sols acides que les conifères et en particulier l'érablière à bouleau jaune et l'érablière laurentienne. L'acidification sous forme de

dépôts secs peut également toucher les conifères, les lichens, les mousses et quelques plantes potagères et céréalières sensibles. Des dommages ont été notés chez les espèces végétales cultivées (tournesol, radis, carotte, betterave, pomme de terre, etc.) à la suite de précipitations acides de l'ordre de pH₂ à pH₄.

5.2.2 Écosystèmes naturels

Les modifications aux écosystèmes naturels découlant des impacts de l'exploitation d'une centrale thermique proviennent principalement des effets des dépôts acides, de la contamination par les rejets thermiques et de la pollution atmosphérique.

Effets de l'acidification

Compte tenu des besoins en eau d'une centrale thermique d'envergure et des contraintes technico-économiques associées au transport de quantités importantes de combustibles fossiles et la localisation des agglomérations urbaines, il est vraisemblable que les centrales thermiques québécoises de production d'électricité seraient situées dans la vallée du Saint-Laurent et celle de l'Outaouais.

Les données recueillies par le ministère de l'Environnement du Québec démontrent que les moyennes annuelles de pH des précipitations observées au Québec variaient entre 4,3 et 4,8 pour la période 1982-1984; les pH les plus bas se trouvant dans le sud et le sud-ouest du Québec, plus particulièrement dans la vallée de l'Outaouais.¹ Un relevé des eaux acidifiées, effectué en 1985 par le ministère de l'Environnement du Québec, situe la fourchette d'échantillonnage entre 11 et 20 kg de dépôts acides par hectare par année alors que la norme reconnue pour protéger les écosystèmes aquatiques est de 20 kg/ha par année. Ainsi, même en utilisant une technologie de réduction sévère des émissions des polluants acides, les émissions à teneur acide d'une centrale thermique de 600 MW pourraient conduire à des dépôts de sulfate de l'ordre de 1,8 à 6 kg/ha par année et ce dans un rayon de 5 à 10 km de la centrale. Par effet cumulatif avec les autres sources polluantes du milieu, cet apport significatif pourrait situer les dépôts humides annuels de sulfate au-delà de la norme reconnue pour protéger les écosystèmes aquatiques.

Un milieu acide entraîne un appauvrissement des communautés benthiques, contribuant ainsi à contaminer la chaîne trophique. Les populations d'insectes diminuent à mesure que l'acidité augmente et le déclin des populations entraîne une diminution de nourriture pour les animaux insectivores. L'acidité peut toucher plusieurs maillons de la chaîne alimentaire, menant à un appauvrissement graduel de la faune aquatique et à une baisse de productivité des écosystèmes.

¹ Ministère de l'Environnement, L'Environnement au Québec, un bilan, Gouvernement du Québec, 1988.

L'effet de l'acidité sera nettement perceptible chez les poissons et pourrait se traduire par l'absence de captures, le faible poids de celles-ci, des rendements insuffisants, des fluctuations de prises difficilement explicables et une faible diversification des espèces. Quant à la flore aquatique, on a remarqué que la diversité des plantes vasculaires diminue avec l'augmentation de l'acidité et que les sphaignes et les mousses envahissent les plans d'eau acides, accélérant d'autant la disparition des macrophytes.

Effets des rejets thermiques

Les rejets thermiques d'une centrale thermique constituent une autre source d'impact sur les écosystèmes. En s'en tenant à un gain de température d'environ 10°C, le système de condensation d'une centrale thermique nécessiterait environ 20 mètres cubes d'eau de refroidissement par seconde pour chaque tranche de 1 000 MW. Compte tenu de ces besoins, il est probable qu'une telle centrale serait située le long du Saint-Laurent dont le débit minimum est d'environ 6 500 mètres cubes par seconde, soit au moins 300 fois les besoins de la centrale.

Prenant en compte cette forte dilution des eaux de rejet, l'impact thermique d'une telle centrale thermique serait donc essentiellement local. Règle générale, l'écart de température en surface ne serait pas supérieur à plus de deux degrés après 1 km de parcours environ. Il importe cependant de bien diffuser l'eau de retour afin de minimiser l'impact thermique sur la faune et la flore aquatiques.

Un des plus importants problèmes liés aux rejets thermiques est le "choc thermique". En hiver, les diminutions brusques de température de l'eau, lors d'un arrêt de la centrale, peuvent occasionner le décès de poissons qui se sont acclimatés aux températures plus élevées de la zone de diffusion des eaux de rejet.

L'amenée d'eau peut également éliminer par capture un volume non négligeable de poissons, de larves et d'oeufs de poissons. L'installation de filtres ainsi que l'utilisation d'une prise d'eau submergée, plutôt qu'un canal d'amenée, peuvent minimiser ce problème.

Il est également à prévoir que la plus grande partie du plancton présent dans l'eau de refroidissement sera tuée lors du passage dans le condensateur de la turbine à vapeur et dans le canal de sortie. Il s'agit cependant là d'un phénomène marginal par rapport au débit total d'un cours d'eau comme le fleuve Saint-Laurent.

Effets de la pollution atmosphérique sur les êtres vivants

La recherche en laboratoire est peu développée quant aux effets de la pollution atmosphérique sur les êtres vivants. Les scientifiques s'accordent pour reconnaître que la pollution atmosphérique peut affecter à divers degrés la santé. Par exemple, on peut observer en laboratoire et dépendant des concentrations, des altérations du métabolisme et des changements du collagène pulmonaire ainsi que des modifications morphologiques. Les hydrocarbures aromatiques

polycycliques sont des agents cancériques reconnus. De plus, les tests en laboratoire chez les animaux démontrent que le HAP est un agent mutagène. Cependant, l'interprétation de ces résultats de tests de mutagénicité pour l'humain est purement spéculatif. Toutefois, il semble y avoir suffisamment d'évidences que le cancer de la peau chez les travailleurs exposés à la suie, au goudron et à l'huile est causé par le HAP. En grande concentration (plus de 10 ppm) les oxydes d'azote (NO₂) et l'anhydride de sulfureux (SO₂) irritent instantanément la peau, les yeux et les cellules muqueuses en plus d'affecter le système pulmonaire. L'inhalation constitue le mode d'exposition le plus important chez l'humain.

De plus, selon les études épidémiologiques, les personnes les plus sensibles au (SO₂) sont les personnes âgées, les adultes atteints de maladies chroniques du coeur ou des voies respiratoires, ainsi que les enfants.

5.2.3 Conditions atmosphériques globales

La production d'électricité à l'aide des combustibles fossiles entraîne aussi une forte émission de gaz à effet de serre. Les principaux polluants responsables du réchauffement planétaire sont le bioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et les chlorofluorocarbones (CFC) et à un degré moindre, l'oxyde d'azote nitreux (NO₂).

Ces polluants absorbent la chaleur réfléchiée de la surface de la terre et agissent comme un manteau conservant la chaleur et par conséquent générant un accroissement de la température. Malgré les incertitudes scientifiques qui entourent le débat, les experts s'entendent aujourd'hui sur l'hypothèse que l'accroissement des gaz à effets de serre, d'ici les cinquante prochaines années, pourrait résulter en une augmentation de la température moyenne de la planète entre 1,5 et 3,5°C, allant jusqu'à 5°C à la fin du XXI^e siècle.

Un réchauffement d'une telle amplitude pourrait avoir des impacts majeurs. Les patrons de précipitations pourraient changer, la fréquence et la sévérité des températures extrêmes pourraient augmenter et le niveau des mers pourrait être haussé de près de 1,5 mètres. Les changements de température les plus dramatiques auraient lieu dans l'hémisphère Nord au cours des mois d'hiver. Les habitats côtiers, la production agricole et la disponibilité de l'eau potable en seraient affectés, entraînant une déstabilisation économique et des migrations de population.

On a estimé que la production annuelle de CO₂ pour une centrale thermique produisant 4,2 TWh, ayant un rendement global de 35 % et un facteur d'exploitation de 80 % varierait entre environ 3 et 4,5 millions de tonnes selon le combustible considéré (tableau 5.5). Ainsi la construction de centrales thermiques pour répondre à la demande potentielle contribuerait de façon sensible à l'augmentation des émissions québécoises actuelles de CO₂.

Tableau 5.5 : Émissions atmosphériques de CO₂ d'une centrale thermique produisant 4,2 TWh (Mt/an)

Combustible *	CO ₂
Gaz naturel	2,82
Pétrole	3,28
Charbon	4,50

* La valeur calorifique des combustibles est donnée au tableau 5.4.

L'utilisation du charbon pour la production d'électricité constituera pour les années à venir une préoccupation majeure à l'échelle planétaire. Quant au gaz naturel, et à un degré moindre le pétrole, ils sont des sources énergétiques de production d'électricité ayant des impacts inférieurs au charbon quant à l'émission de CO₂. Par exemple, pour le gaz naturel, le rapport du carbone émis par rapport à l'énergie produite, est environ de moitié celui du charbon. De plus, des développements technologiques récents des turbines à gaz ont rendu l'utilisation de ce combustible encore plus performant. Toutefois, lors de l'extraction du gaz naturel, il y a souvent de fortes émissions de méthane, ce qui contrebalance les avantages reliés à la production d'électricité du gaz. En ce qui a trait au pétrole, son utilisation est, toute proportion gardée, plus intéressante que le charbon.

On peut envisager une réduction significative des émissions de SO₂ et de NO_x au cours des prochaines années par un développement technologique approprié. Cependant, les efforts technologiques pour enrayer la croissance des charges polluantes de CO₂ rencontreront beaucoup plus de difficultés alors qu'on devra plutôt envisager une réduction de la croissance de la demande, une amélioration de l'efficacité énergétique ou un changement de modes de production d'énergie.

5.2.4 Occupation et structuration du territoire

Les effets sur l'organisation du territoire sont présents à toutes les étapes de l'extraction et de l'utilisation des combustibles fossiles. L'espace requis pour l'extraction du charbon est particulièrement important dans le cas des mines à ciel ouvert. Il comprend, de façon générale, la mine exploitée et potentiellement exploitable, les espaces administratifs, la circulation et les bâtiments, les lieux de concassage et de raffinage, les sites de traitement des eaux et les bassins de décantation ainsi que les aires d'entreposage du charbon et des déchets de la mine. On devra de plus prévoir les cours de triage et les stationnements pour les parcs de camions. Pour le gaz et le pétrole, les mêmes espaces sont requis quoique de dimensions inférieures pour les lieux d'extraction.

En ce qui concerne le transport des combustibles par pipeline, on doit considérer l'empiètement territorial que ces installations entraînent sans compter les effets indirects associés à l'usage du sol créés par l'implantation de ports et autres lieux de transbordement, lorsque requis.

Enfin, en ce qui concerne les déchets solides, la filière au charbon mérite une attention particulière car elle génère à elle seule 99 % de tous les déchets solides produits par l'utilisation des combustibles fossiles. Les centrales électriques au charbon produisent deux types particuliers de déchets solides pour lesquels il faut prévoir des sites de confinement adéquats: les cendres lourdes ou mâchefer et les boues issues des dispositifs de désulfuration des gaz de combustion.

De façon générale, à l'exclusion des mines et des lieux de dispositions des déchets, les besoins en espace pour les centrales présentement en exploitation s'établissent dans une fourchette de 100 à 260 m²/MW¹ soit approximativement entre 6 et 16 hectares. Ces besoins sont comparables à ceux de la filière nucléaire et nettement inférieurs à ceux de la filière hydroélectrique. Par ailleurs les centrales thermiques sont généralement localisées près des centres de consommation, soit dans des zones où les conflits d'utilisation sont susceptibles d'être plus importants. Elles ont toutefois l'avantage de réduire le nombre et la longueur des lignes de transport pour desservir le consommateur.

5.2.5 Perceptions et changements sociaux

Les tensions sociales générées par la présence d'une centrale thermique peuvent être fortement atténuées par une localisation appropriée et la réduction à la source des émissions du SO₂ et des NO_x, conformément aux normes et directives gouvernementales. Par ailleurs, les centrales thermiques généralement localisées près des centres de consommation sont à faible distance des populations qui bénéficient de leur production. Ainsi, à l'exception de l'émission des gaz à effet de serre, elles génèrent des nuisances pour ceux qui en bénéficient par opposition, par exemple au harnachement des rivières en milieu nordique dont la production d'électricité alimente surtout les populations au sud.

Quoi qu'il en soit, la vue des cheminées, la présence de tours de refroidissement et la dispersion de panaches de fumée évoquent presque toujours un décor industriel générant de lourdes charges polluantes. De plus, bien que l'implantation de centrales thermiques sur une large échelle représenterait une situation relativement nouvelle au Québec, les problématiques associées à l'acidification et au réchauffement de l'atmosphère sont déjà connues par la population et sont certes des préoccupations à prendre en considération.

¹ Senior Expert Symposium in Electricity and the Environment. Energy Sources and Technologies for Electricity Generation, Helsinki, Key Issues paper no 2, April 1991.

5.2.6 Sécurité

Les sources d'accidents graves dans le cas de la filière du charbon proviennent généralement de feux, d'explosions ou de l'effondrement de structures de soutènement dans les mines, de l'effondrement des barrages qui retiennent les rejets des mines et enfin, des accidents au moment du transport du minerai. Dans le cas du pétrole et du gaz, les principales sources d'accidents sont les feux et les explosions. Les accidents durant l'extraction et le transport peuvent être particulièrement importants et conduire dans le cas de déversement, à des dommages sur de grandes superficies.

Bien que la comparaison entre les filières soit difficile en raison de l'absence de procédure systématique de collecte de données sur les accidents graves pour les filières non nucléaires, les statistiques recueillies indiquent un plus grand nombre de décès causés par des accidents graves, pour la filière du charbon.

Le rejet dans l'atmosphère des milliers de tonnes de NO_x , et de SO_2 pour une centrale thermique, entraînerait des effets sur la santé des populations des régions avoisinantes (rayon de 20 à 30 km) tant par les niveaux ambiants élevés de SO_2 , de NO_2 et d'ozone qui pourraient en résulter que par les dépôts acides de diverses substances à base de soufre et d'azote qui s'ensuivraient. Outre ces émissions, les filières thermiques utilisant du pétrole ou du charbon pourraient également entraîner l'émission dans l'atmosphère d'une quantité d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), dont plusieurs sont des substances cancérogènes reconnues ainsi que l'émission d'une quantité de divers métaux toxiques dont le mercure, l'arsenic, le cadmium, le chrome, le nickel et le plomb.

Toutefois, afin d'évaluer convenablement l'impact réel sur la santé humaine des polluants générés par la combustion des énergies fossiles, on doit tenir compte du cycle complet des combustibles concernés. Un tel exercice est complexe et coûteux. Un comité d'experts¹ internationaux, réuni à Helsinki au printemps 1991, a présenté une synthèse des risques pour la santé humaine selon le cycle complet des combustibles fossiles utilisées à des fins de production d'électricité. L'évaluation des experts, adaptée dans le tableau 5.6 par Hydro-Québec, résume les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs et des populations, exprimés en termes de nombre de décès par tranche de production électrique de 1 000 MW par année (soit 8,76 TWh) à partir du charbon, du pétrole ou du gaz naturel (cycle complet).

On doit toutefois insister sur les incertitudes associées à l'évaluation des risques de mortalité. Les estimations rapportées ont surtout une valeur comparative, d'une filière thermique à une autre, plutôt qu'une valeur scientifique absolue.

¹ 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, avril 1991

Les filières thermiques utilisant du charbon ou du pétrole présentent un risque de décès nettement plus élevé que la filière utilisant le gaz naturel. Par ailleurs, l'utilisation du charbon est légèrement moins souhaitable que celle de pétrole. Pour les filières utilisant du charbon ou du pétrole, la phase exploitation constitue le principal élément de risque, alors que pour le gaz naturel, le risque le plus élevé est rattaché au transport du combustible.

Quant aux principales autres sources de nuisances pour les travailleurs, ce sont les bruits des compresseurs et des turbines, les rejets des gaz d'échappement et des systèmes de refroidissement ainsi que la manipulation de matières dangereuses dont le mazout, les huiles lubrifiantes, les glycols, les solvants et les détergents.

Tableau 5.6: Résumé des taux de décès (décès/1 000 MW année) pour différentes filières de production électrique

Source	Travailleurs		Public	
	immédiat	différé	immédiat ^a	différé
Charbon	0,4-3,2 ^b 0,16-1,7 ^e	0,13-1,1 ^c 0,02-0,15 ^f	0,1-1,0	2,0-6,0 ^d
Pétrole	0,20-0,85 ^g 0,22-1,35 ^h		0,001-0,1	2,0-6,0 ^d
Gaz	0,10-0,5 ^g 0,17-1,0 ^h		0,2	0,004-0,2 ^d

* Source: SESEE, 1991 et compilation Hydro-Québec, 1991.

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.
- b S'applique aux conditions d'exploitation de mines souterraines.
- c S'applique à l'exploitation de mines souterraines qui est l'élément du cycle qui contribue le plus au risque.
- d S'applique à l'exploitation de la centrale électrique qui est l'élément du cycle qui contribue le plus au risque.
- e S'applique aux conditions d'exploitation de mines en surface.
- f S'applique à l'exploitation de mines en surface qui est l'élément du cycle qui contribue le plus au risque.
- g S'applique à l'extraction terrestre.
- h S'applique à l'extraction en mer.

5.3 SYNTHÈSE

Les conséquences environnementales de l'implantation d'une centrale thermique sont davantage liées à l'exploitation qu'à la construction de la centrale.

Ainsi, au moment de la construction d'une centrale thermique, les conséquences les plus importantes sur le territoire, en plus de l'espace requis au sol, sont reliées à la circulation causée par le transport des matériaux et des équipements. Les manoeuvres de transport ainsi que les travaux d'excavation, de terrassement et d'érection de la centrale peuvent temporairement et ponctuellement perturber les activités et les usages limitrophes.

C'est au moment de l'exploitation d'une centrale et principalement par les émissions atmosphériques de SO₂, NO_x, et CO₂ que sont générés des conflits avec les autres usages du sol. En plus d'être conflictuelles avec les différentes occupations du sol, les émissions des charges polluantes peuvent modifier sensiblement les écosystèmes.

L'exploitation d'une centrale peut contribuer à l'acidification des sols ou encore, exposer les êtres vivants aux rejets atmosphériques. Quant aux autres activités, elles peuvent être affectées par les émissions atmosphériques et les rejets thermiques entraînant une modification des écosystèmes naturels. En ce qui a trait au panache, en plus d'être associé à la pollution, il peut affecter la circulation aérienne par la turbulence thermique et la vitesse d'éjection des gaz. Dans certains cas et dépendant de facteurs climatiques locaux, l'opacité du panache pourrait être considérée comme un obstacle à la visibilité et à la circulation aérienne.

Ainsi, les principaux effets directs et de portée régionale sont associés à la formation de dépôts acides et d'ozone troposphérique, à la contamination des sols et aux effets des rejets thermiques.

À plus large échelle, c'est le système planétaire qui peut être modifié alors que la combustion des combustibles fossiles entraîne le rejet dans l'atmosphère de forts volumes de gaz à effet de serre.

Quant aux problèmes associés à la santé et la sécurité, ils sont surtout générés au moment de l'extraction et du transport du combustible.

6- FILIÈRES HYDROÉLECTRIQUES

6.1 DESCRIPTION TECHNIQUE

La force hydraulique a été la première source d'énergie utilisée pour produire de l'électricité en quantité commerciale. Une centrale hydroélectrique constitue un dispositif technique relativement simple. La force d'une chute d'eau fait tourner une roue à aubes ou une turbine qui est couplée directement à un alternateur électrique.

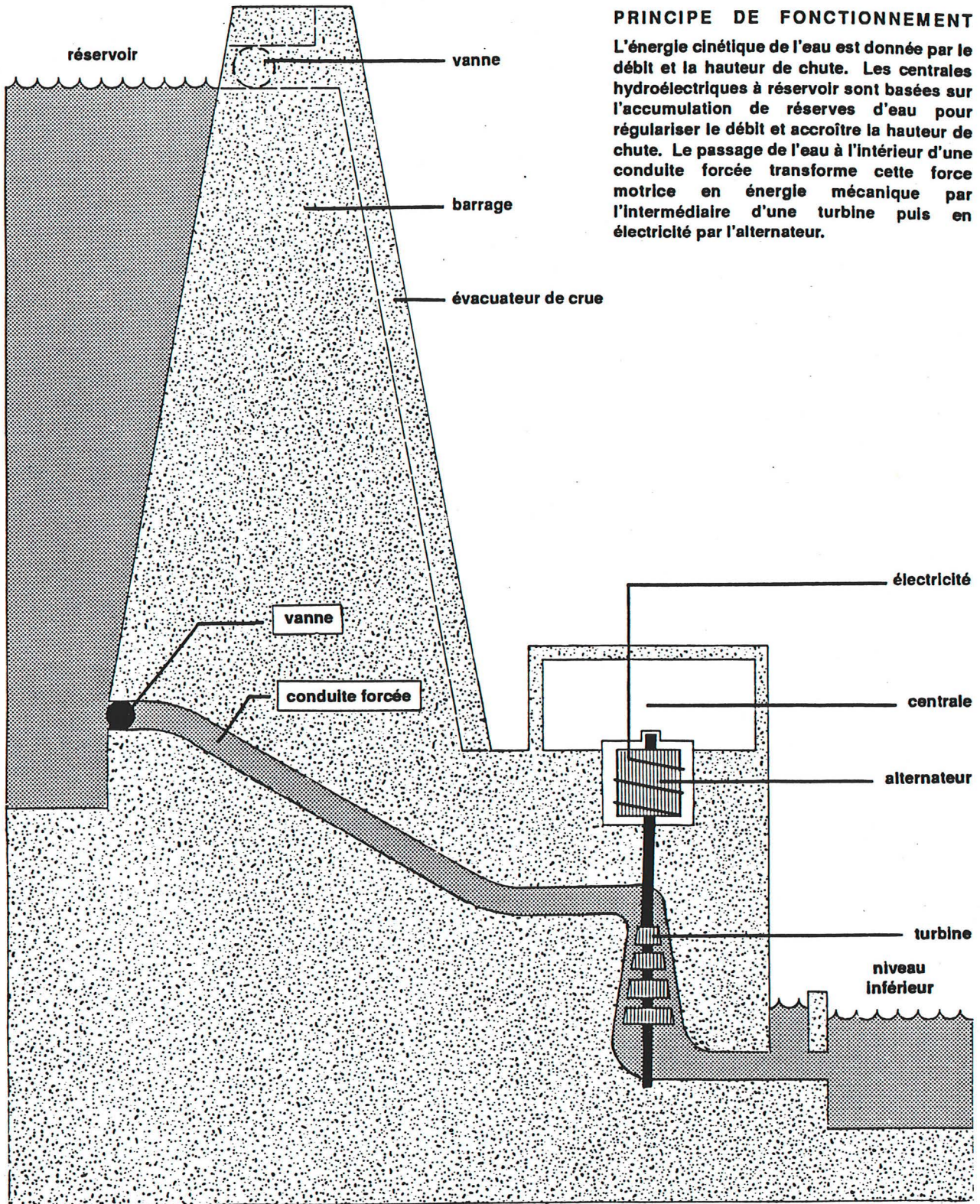
Le potentiel d'aménagement hydroélectrique d'une région est nécessairement limité et est strictement défini par les réalités géographiques du territoire en cause. Contrairement aux autres installations de production d'électricité, les centrales hydroélectriques doivent composer avec un déterminisme géographique rigoureux. La localisation et le type d'aménagement requis pour la mise en production d'un site hydroélectrique dépend essentiellement des conditions physiques locales, principalement la topographie et le débit d'eau disponible. Chacun de ces facteurs a un effet direct sur les enjeux environnementaux et le coût d'aménagement d'un site donné et donc sur celui de l'électricité qui y sera produite.

6.1.1 Centrales à réservoir

La puissance d'une centrale hydroélectrique (voir figure 6.1) est essentiellement liée à deux facteurs : le débit d'eau et la hauteur de chute. La construction d'un barrage augmente la hauteur de chute et donc la puissance électrique d'une centrale. Dans le réseau géré directement par Hydro-Québec, on distingue les grands projets qui ont plus de 100 MW de puissance installée et les projets de taille moyenne, soit ceux dont la puissance installée se situe entre 25 et 100 MW et enfin les petites centrales dont la puissance est inférieure à 25 MW.

L'eau retenue derrière le barrage constitue une réserve d'énergie qui permettra à la centrale de produire de l'électricité au rythme voulu par les consommateurs et sans être affectée par les variations, à court ou à moyen terme, des précipitations et du débit instantané du bassin versant aménagé. Au Québec, l'essentiel des apports hydrauliques naturels se produisent en effet d'avril à juillet alors que le gros de la demande énergétique se situe de novembre à mars. Il est donc essentiel de pouvoir accumuler de grandes réserves d'eau derrière les barrages des centrales hydroélectriques. Ces réservoirs ont même la capacité d'accumuler de l'énergie sur une base interannuelle et de compenser ainsi pour les années de faible précipitation.

Figure 6.1 Centrale hydroélectrique à réservoir



6.1.2 Centrales au fil de l'eau

Si un site hydroélectrique bénéficie d'un très fort débit, on peut se contenter d'une hauteur de chute plus faible. On parle alors d'une centrale au fil de l'eau (voir figure 6.2). C'est le cas de la future centrale LG1 ou de celle de Beauharnois qui, avec sa hauteur de chute relativement faible de 25 mètres, produit 1 645 MW en mettant à profit l'immense débit du fleuve Saint-Laurent. A l'inverse, une centrale à barrage et réservoir comme Manic 5, avec 155 mètres de hauteur de chute, produira presque autant de puissance électrique avec un volume d'eau débité beaucoup plus faible.

Une centrale au fil de l'eau est cependant tributaire des fluctuations à court terme du débit du cours d'eau exploité. Une telle centrale est également incapable de s'ajuster aux fluctuations de la demande ou d'accumuler de l'énergie hydraulique et doit donc être d'abord utilisée pour répondre à des besoins de base très stables.

6.1.3 Petites centrales

Au Québec, on désigne sous le nom de petites centrales hydroélectriques les installations de 25 MW et moins. Les petites centrales sont constituées de petits équipements installés sur des cours d'eau à faible débit et mettant à profit des hauteurs de chute relativement modestes. Comme elles n'ont généralement pas de grands réservoirs, ces petites centrales produisent surtout en période de forte précipitation et contribuent peu aux besoins de puissance électrique pendant les périodes de pointes saisonnières. Il s'agit donc surtout d'une source d'énergie d'appoint.

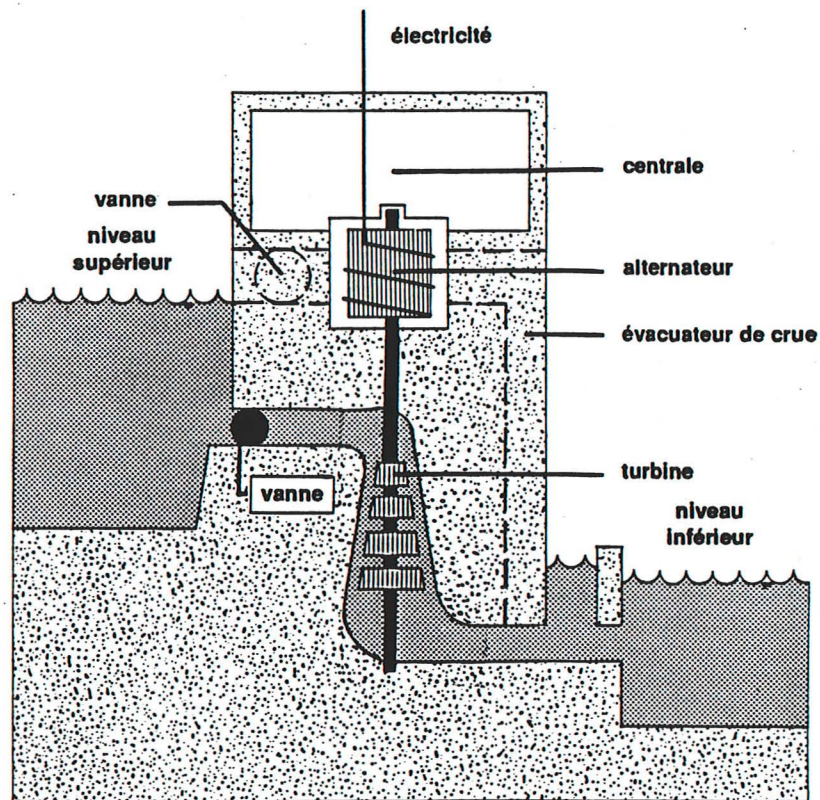
6.2 ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

Les enjeux environnementaux d'un projet hydroélectrique sont largement conditionnés par le type de milieu dans lequel il s'inscrit. Au Québec, les ouvrages récents et les projets envisagés se situent majoritairement en territoire éloigné des centres de consommation avec une faible densité de population, ce qui nécessite la construction de lignes électriques à haute tension sur de longues distances. Ce sont souvent des espaces de type boréal où le relief est peu accentué. Aussi, des réservoirs de grande superficie doivent être généralement créés afin d'obtenir les conditions recherchées pour la gestion du régime hydraulique. Outre des activités forestières, minières ou touristiques, ces milieux sont plus particulièrement consacrés à l'exploitation des ressources fauniques, que ce soit à des fins récréatives ou de subsistance. C'est en prenant en considération un tel contexte que l'on décrit ci-après la problématique environnementale des projets hydroélectriques sur les six thèmes retenus pour fin d'analyse.

Figure 6.2 Centrale hydroélectrique au fil de l'eau

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Les centrales au fil de l'eau sont généralement installées sur des cours d'eau à faible hauteur de chute. La turbine est entraînée par le passage de l'eau et couplée à un alternateur génère l'électricité.



Dans la section qui suit cette description, on établit les enjeux environnementaux spécifiques aux variantes d'aménagement hydroélectrique que sont les centrales au fil de l'eau ainsi que les petites centrales.

6.2.1 Qualité de l'eau, de l'air et du sol

Sous réserve de l'émission de faibles quantités de bioxyde de carbone (CO₂) et de traces de méthane (voir section 6.2.3), les aménagements hydroélectriques n'ont aucune incidence sur la qualité de l'air.

En ce qui concerne la contamination des sols, celle-ci est circonscrite aux équipements du réseau de transport et elle fait l'objet de mesures de contrôle de plus en plus rigoureuses : remplacement des huiles isolantes à risques (BPC), bacs de rétention des fuites d'huiles, réduction de l'utilisation des phytocides, etc. Quant aux problèmes de dégradation des sols causés par l'exploitation des nombreux bancs d'emprunt nécessaires à la construction des digues, ils sont régis par une réglementation environnementale très stricte qui exige la renaturalisation des sites après usage.

En raison de leur exploitation du milieu aquatique, les ouvrages hydroélectriques ont toutefois une incidence notable sur la qualité des eaux, considérant les modifications qu'ils apportent aux constituants physiques, chimiques et biologiques des eaux.

La création de grands réservoirs peut modifier le régime thermique en provoquant un retard dans le réchauffement et le refroidissement des eaux, entraînant un léger refroidissement des températures moyennes en période libre de glace dans les réservoirs, mais surtout en aval en raison de la profondeur des prises d'eau.

Lors des premières années d'exploitation des réservoirs, la mise en eau et le jeu des marnages accroissent la turbidité de l'eau. Ce phénomène tend généralement à s'atténuer au fil des années à des conditions similaires d'exploitation. Toutefois, dans les milieux où les matériaux de surface permettent une stabilisation rapide des berges, les réservoirs agissent comme une trappe à sédiments et permettent une grande transparence des eaux.

En réservoir, la décomposition de la matière organique submergée, que constituent la végétation et les sols forestiers, entraîne une diminution temporaire des teneurs en oxygène dissous, une diminution légère du pH dans les milieux au faible pouvoir tampon et une libération d'ions et d'éléments nutritifs. Dans les milieux nordiques, ces modifications sont habituellement de faible amplitude dans les zones productives des plans d'eau et n'engendrent pas de conditions contraignantes pour les organismes aquatiques. Au contraire, l'enrichissement des plans d'eau provoque un boom biologique pendant une dizaine d'années, ce qui se traduit par une augmentation des biomasses phytoplanctoniques, zooplanctoniques et par conséquent des poissons. Les organismes benthiques mobiles occupent rapidement les nouveaux milieux où la végétation inondée offre

de nombreux supports et permet souvent des biomasses de macroinvertébrés supérieures à celles des lacs naturels avoisinants.

A aval, la qualité de l'eau s'apparente à celle des réservoirs mais les zones de rapides permettent le redressement des teneurs en oxygène dissous et du pH, favorisant d'autant les organismes aquatiques supérieurs. Par contre, les températures plus basses défavorisent les espèces d'eau chaude, comme par exemple l'esturgeon et le doré.¹

La qualité de l'eau des tronçons de rivières à débit réduit dépend de la qualité des tributaires et de l'érodabilité des matériaux de surface du bassin résiduel. Dans les milieux considérés, les réductions de débits conduisent à des conditions plus lacustres et se traduisent souvent par des hausses de la biomasse de l'ensemble des organismes aquatiques. De plus, ces conditions peuvent être favorisées par la construction de seuils permettant de rehausser les niveaux d'eau.

La présence de mercure dans les réservoirs demeure l'impact résiduel le plus important, susceptible de toucher la santé et le mode de vie des Amérindiens et des Inuit dont le régime alimentaire est en partie constitué de poissons. Ainsi, dans les réservoirs, la décomposition intense de la matière organique terrestre inondée provoque, au cours des premières années suivant la mise en eau, une augmentation importante de la teneur en mercure des poissons, de l'ordre de trois à sept fois. A l'aval des ouvrages, le problème est amplifié. Toutefois, les poissons marins ne sont pas affectés et les poissons anadromes le sont très peu. Le phénomène est réversible sur une période de vingt à trente ans. Il est impossible de réduire le problème à la source. Durant cette période, on doit imposer des limitations à la pêche de subsistance et à la pêche commerciale, particulièrement pour les poissons prédateurs.²

6.2.2 Ecosystèmes naturels

Habitats aquatiques

Règle générale, en raison d'un apport important d'éléments nutritifs associés à la décomposition de la matière organique inondée et d'un taux de renouvellement des eaux plus long, les réservoirs connaissent, au cours des premières années, une augmentation significative de la productivité des populations de poissons.³ La

1 Schetagne, Roger, Suivi de la qualité de l'eau, du phytoplancton, du zooplancton et du benthos au complexe La Grande, territoire de la Baie James, Collection Environnement et géologie, Vol. 9, Delisle, C.E. et Bouchard, M.A. éditeurs, Canadian Society of Environmental Biologists, 1990.

2 Groupe Environnement Shooner, Évolutions des teneurs en mercure des poissons du complexe hydroélectrique La Grande, 1978-1989, Hydro-Québec, Vice-présidence Environnement, mai 1990.

3 Ministère de l'Environnement du Québec, L'environnement au Québec, un premier bilan, Document technique, 1988, 430 p.

situation se stabilise par la suite pour assurer aux espèces piscicoles présentes un taux de croissance comparable à ce qui prévalait avant la mise en eau des réservoirs. La capacité de support pour les poissons dépend alors de la dimension des réservoirs, de la plus ou moins grande variété de milieux qu'ils peuvent offrir et du nombre de tributaires. Dans la majorité des cas, on assiste à des modifications de l'abondance relative des espèces de poissons. Des espèces comme le grand corégone et le grand brochet sont généralement favorisés au détriment d'autres espèces comme le meunier rouge et l'omble de fontaine.¹

Certains barrages érigés pour créer les réservoirs empêchent la libre circulation des poissons. De plus, les réservoirs réduisent substantiellement la superficie des habitats essentiels pour les espèces d'eau vive. Les turbines pour leur part sont cause d'un certain nombre de mortalités de poissons.

La régularisation des eaux aux fins de production d'électricité implique d'autre part des réductions ou des augmentations de débits dans des parties du bassin hydrographique ainsi que des modifications importantes des fluctuations saisonnières ou interannuelles habituelles. Par exemple, la régularisation annuelle a pour effet d'uniformiser le débit durant l'année en réduisant les crues printanières et automnales et en relevant les étiages durant l'hiver. Les niveaux des plans d'eau à l'aval et les vitesses d'écoulement varient dans le même sens et en même temps que les modulations de débit. Ces phénomènes apportent des modifications aux habitats aquatiques (profondeur d'eau, végétation riveraine, nature des fonds) et à la qualité de l'eau (régime thermique et turbidité notamment) qui ont des conséquences sur les différentes étapes du cycle vital des espèces aquatiques.

De façon générale, dans les rivières régularisées ou à débit augmenté, on constate que les populations de poissons se maintiennent à des niveaux équivalents ou supérieurs aux conditions initiales. Dans les rivières à débit réduit, les nouveaux milieux sont plus favorables aux espèces lacustres.

Estuaires et milieu marin

Plus en aval, dans les estuaires et le milieu marin, les variations du régime hydrique apportent également des modifications à la température, au panache d'eau douce et à l'avancée du coin salin. Les éléments qui sont potentiellement touchés sont les poissons, la sauvagine et certains mammifères marins comme le

¹ Le groupe de recherche SÉEEQ Ltée, Suivi environnemental, Manic 5, puissance additionnelle, Étude du réservoir, Synthèse 1985, 1988 et 1989, Hydro-Québec, Vice-présidence Environnement, août 1990.

Le groupe de recherche SÉEEQ Ltée, Étude de l'effet du marnage sur la faune ichtyenne (1989), Réservoirs Pipmuacan, Outardes 4 et Baskatong, Hydro-Québec, Vice-présidence Environnement, mai 1990.

Le groupe de recherche SÉEEQ Ltée, Étude de l'effet du marnage sur la faune ichtyenne (1990), Réservoirs Pipmuacan, Outardes 4 et Manic 5, Hydro-Québec, Vice-présidence Environnement, mars 1991.

béluga et le phoque. Les études de suivi environnemental réalisées sur le complexe La Grande au cours des dix dernières années ont permis d'établir que ces modifications écologiques n'ont pas entraîné de répercussion perceptible sur les populations de poissons qui fréquentent les estuaires. Il semble notamment que la suppression de la crue printanière ne modifie pas la productivité biologique du milieu marin nordique car les rivières à cette latitude apportent très peu d'éléments nutritifs dans les estuaires et que les espèces présentes sont adaptées à de grandes fluctuations de salinité. Le long des côtes, près des estuaires en cause, les bancs de plantes aquatiques n'ont pas été modifiés et la sauvagine s'y arrête toujours en aussi grand nombre.¹

Depuis la fin des années 80, des études réalisées sur la Côte-Nord tendent d'autre part à démontrer que le débit d'eau douce ne serait pas l'unique facteur responsable de l'enrichissement des eaux de surface des estuaires maritimes. En conséquence, l'ampleur des modifications attribuables à la gestion hydraulique des rivières pour fin de production d'électricité serait faible par rapport aux causes naturelles comme les courants maritimes, le climat et les variations fluviales saisonnières.

Habitats riverains et terrestres

Selon les caractéristiques biophysiques des berges, de la morphométrie des réservoirs et de la gestion hydraulique des ouvrages, les habitats riverains situés en amont ou en aval des ouvrages peuvent voir leur potentiel réduit ou augmenté. Dans les réservoirs cependant, le marnage et le patron annuel de fluctuations des eaux offrent généralement des conditions peu propices à la reconstitution d'écotones répondant aux besoins de la sauvagine, des lagopèdes, des orignaux et des castors.

La création de réservoirs a également pour effet d'éliminer certains habitats fauniques terrestres et riverains. C'est le cas notamment des habitats utilisés par le caribou et la sauvagine. Les études de suivi réalisées par Hydro-Québec et le ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche ne laissent pas présager d'effet négatif ou même tangible sur la population de caribous. Les surfaces perdues par la création des réservoirs sont minimales par rapport à l'ensemble du territoire utilisable et, de plus, la présence de ces réservoirs facilite l'accès à certaines aires d'alimentation au cours de l'hiver. Depuis quelques années, on constate ainsi qu'un grand nombre de caribous fréquentent les réservoirs La Grande et se nourrissent dans les pessières à lichens qui les bordent ainsi que sur les îles.²

¹ Messier, Danielle, Le milieu marin et les modifications hydrologiques des rivières nordiques. Communication au colloque "Les enseignements de la phase 1 du complexe La Grande", ACFAS, Sherbrooke, mai 1991.

² Hayeur, Gaétan et Doucet, Jean, Le caribou et le complexe La Grande. Communication au colloque "Les enseignements de la phase 1 du complexe La Grande", ACFAS, Sherbrooke, mai 1991.

En ce qui concerne la sauvagine, des études ont montré que la mise en eau des réservoirs de la phase 1 du complexe La Grande aurait déplacé de 7 000 à 9 000 couples de reproducteurs. Malgré l'importance locale des pertes d'habitats et des conséquences sur les oiseaux qui les fréquentaient, le déplacement demeure faible, puisqu'il touche moins de 1 % de tous les couples qui nichent au Québec.¹ L'ajout de tout nouveau projet hydroélectrique dans le nord-ouest du Québec augmentera évidemment les pertes d'habitats. Toutefois, compte tenu de l'immensité des habitats disponibles et considérant le suivi environnemental effectué la protection et la mise en valeur à l'échelle nord-américaine dont bénéficient les oiseaux gibiers migrateurs, ces perturbations ne devraient pas avoir d'effet cumulatif significatif sur les populations de sauvagine fréquentant le Québec.²

6.2.3 Conditions atmosphériques globales

Les recherches réalisées à ce jour indiquent que les projets hydroélectriques n'ont aucune incidence notable sur les conditions atmosphériques. Ainsi, par exemple, l'inondation de ressources végétales, potentiellement aptes à absorber le bioxyde de carbone (CO₂) responsable de l'augmentation de l'effet de serre, n'apparaît pas significative au niveau des grands équilibres planétaires. Ceci est d'autant plus vrai s'il s'agit de la perte de forêts en conditions souvent difficiles de croissance comme c'est le cas de la forêt boréale.

Par ailleurs, selon les résultats préliminaires d'études en cours,³ les émissions de CO₂ dans les futurs réservoirs des projets inscrits dans le dernier plan de développement d'Hydro-Québec seraient en moyenne de 17 000 tonnes par TWH, ce qui correspondrait à un pourcentage de 1,5 à 2,5 % du CO₂ produit, sur une base d'énergie équivalente, par les variantes des filières thermiques faisant l'objet de cette étude. Quant aux émissions atmosphériques de méthane provenant d'un réservoir hydroélectrique, elles représenteraient moins de 1 % de celles de CO₂.⁴ Même en tenant compte du potentiel d'effet de serre de 25 à 30 fois supérieur de ce gaz, par rapport à celui du CO₂, la contribution à l'effet de serre du méthane émis par les réservoirs hydroélectriques demeure négligeable.

1 Julien, M. et Laperle, M., Surveillance écologique du complexe La Grande. Synthèse des études sur la sauvagine, SEBJ, 1986.

2 Hydro-Québec, Étude sur les effets environnementaux cumulatifs du plan des installations. Analyse d'un premier groupe d'enjeux environnementaux, Rapport d'étape, 1990.

3 Thérien, N., Impacts cumulatifs. Enjeu "Qualité de l'air". Études des enjeux environnementaux associés à l'effet de serre suite à la création de réservoirs hydroélectriques, Université de Sherbrooke, Département de génie chimique, décembre 1990.

4 Chamberland, A., Decomposition Model for Flooded Biomass in Reservoirs. Information for the Vermont Public Service Commission, (in collaboration with R. Shetagne and L. Varfalvy), Hydro-Québec, Vice-Présidence Environnement, janvier 1990.

Tant les émissions de CO₂ que de méthane se produisent essentiellement au cours des dix premières années qui suivent la création des réservoirs.

Des études récentes ont enfin permis d'établir que les aménagements hydroélectriques actuels ou projetés au Québec n'auront que des incidences climatiques limitées et locales (entre 5 et 50 km en périphérie des réservoirs). Ces effets sont saisonniers : réchauffement (inférieur à 1°C) des températures automnales, diminution (10 %) des précipitations au printemps et augmentation (5 %) à l'automne.¹

6.2.4 Occupation et structuration du territoire

Les ouvrages hydroélectriques nécessitent de vastes superficies. Ils ont donc une incidence marquée sur l'occupation et la structuration du territoire. Par exemple, le complexe La Grande a requis une superficie d'environ 1 km² par MW de puissance installée, ce qui est nettement plus important que dans le cas des installations thermiques conventionnelles. Ces superficies varient toutefois beaucoup en fonction des caractéristiques géographiques des territoires retenus pour fins de production hydroélectrique.

La création d'un réservoir a pour effet immédiat de soustraire à d'autres types d'utilisation du milieu des ressources ou des espaces qui sont ou pourraient être mis en valeur. Parmi les activités qui sont le plus fréquemment touchées au Québec, on compte l'exploitation forestière, la chasse, la pêche et le piégeage, ainsi que certaines activités touristiques comme la randonnée et le canotage. L'importance de ces impacts est fonction du nombre de personnes touchées ainsi que de l'intérêt social, culturel ou économique des activités concernées. Elle doit également être évaluée en prenant en compte les nouvelles possibilités d'utilisation polyvalente offertes par la présence des réservoirs, notamment en ce qui concerne la pêche (sous réserve des limitations que peut imposer la présence du mercure dans les poissons) et les activités nautiques.

Les réservoirs et ouvrages connexes (digues, canaux de dérivation, évacuateurs de crues, etc.) constituent des obstacles qui peuvent compliquer la circulation des personnes sur le territoire. Un tel dérangement peut être relativement significatif s'il implique des modifications marquées au bon déroulement des activités des populations locales et régionales.

Compte tenu de leur vaste étendue, les projets hydroélectriques nécessitent d'importantes infrastructures d'accès pour la construction et l'entretien des ouvrages et impliquent même la construction d'aéroports et d'établissements permanents. L'ensemble de ces infrastructures a un effet marqué sur le désenclavement du territoire et son développement. Elles permettent l'exploitation de ressources jusqu'alors inaccessibles. Ces nouvelles possibilités

¹ Hydro-Québec, Études sur les effets environnementaux cumulatifs du plan des installations. Analyse d'un premier groupe d'enjeux environnementaux. Rapport d'étape, 1990.

sont positives si elles s'inscrivent au sein d'un plan régional de développement établi en concertation avec les utilisateurs et gestionnaires du milieu. Elles peuvent avoir un effet déstabilisateur si elles apportent des pressions incontrôlées sur les ressources et si elles entraînent des conflits entre différents utilisateurs.¹

Compte tenu de l'éloignement des ouvrages hydroélectriques des centres de consommation, les lignes de raccordement au réseau doivent être implantées sur de longues distances. Par rapport aux autres filières, ces lignes sont plus susceptibles de poser des problèmes d'encombrement du territoire dans des espaces valorisés pour leurs ressources agricoles, récréatives, patrimoniales ou paysagères.²

6.2.5 Perceptions et changements sociaux

L'ensemble des impacts mentionnés précédemment, qu'ils touchent le milieu humain ou le milieu naturel, apportent des réactions variables de la population, dépendant de leurs modes de vie et de leurs valeurs sociales. Il est généralement admis que ces réactions sont plutôt négatives et génératrices de tensions sociales lorsque les ouvrages hydroélectriques sont implantés dans un espace où elles sont susceptibles de provoquer une évolution accélérée des modes de vie. Ainsi en est-il notamment du mode de vie des populations amérindiennes et inuit, qui est en bonne partie axé sur l'exploitation des ressources fauniques. La perturbation de ce mode de vie se traduit par une réorganisation en profondeur des activités de chasse, de pêche et de piégeage, par des tensions avec les autres utilisateurs du territoire et par une accélération des changements sociaux dans les communautés. Ces effets se manifestent aussi bien dans le quotidien des individus et des familles que dans la structure sociale des populations touchées. L'expérience passée démontre que tout projet hydroélectrique dans de tels milieux doit s'engager sur la base d'une concertation avec les communautés et les autres intervenants impliqués, visant à susciter, au sein même de ces communautés, un développement économique et social qui tient compte de leurs besoins.

6.2.6 Sécurité

Les bris de barrage, extrêmement rares, constituent des accidents graves pouvant faire de nombreuses victimes dans les populations à l'aval du barrage. Parmi les accidents les plus fréquemment cités,³ on note le barrage de Canyon Lake qui a

1 Hydro-Québec. Étude sur les effets environnementaux cumulatifs du plan des installations. Analyse d'un premier groupe d'enjeux environnementaux. Rapport d'étape, 1990.

2 Hydro-Québec. Étude sur les effets environnementaux cumulatifs du plan des installations. Analyse d'un premier groupe d'enjeux environnementaux. Rapport d'étape, 1990.

3 Senior Expert Symposium on Electricity and the Environment, Comparative Environmental and Health Effects of Different Energy Systems for Electricity Generation. Key Issues Paper No. 3, avril 1991.

fait 180 victimes aux États-Unis en 1972, de Macchu 2 et de Gujarati en Inde, en 1979, qui ont fait respectivement, 2 500 et 15 000 victimes, et de Cundinamarca en Colombie qui a fait 150 victimes en 1983. Depuis plus d'un siècle que le Québec fait appel à l'hydroélectricité, aucun accident de ce genre n'est survenu. Suite à une analyse effectuée sur 16 000 installations différentes, la Commission internationale des grands barrages a recensé 108 cas de bris, soit 0,7 %.² Cette étude réalisée en 1975 a par ailleurs démontré que ce taux est nettement plus bas pour les ouvrages récents et que dans la majorité des cas recensés, de tels bris avaient donné au préalable des signes avertisseurs évidents qui auraient permis de les éviter.¹ En tant que membre très actif au sein de la Commission internationale des grands barrages, Hydro-Québec est à la fine pointe des technologies de prévention des accidents en ce qui concerne la gestion des risques lors de la planification, de la conception, de la construction, de l'exploitation et de l'entretien de ses ouvrages. Actuellement par exemple, l'entreprise procède au développement d'un système de traitement des données de surveillance des barrages permettant de saisir, stocker et traiter de façon uniforme les données techniques relatives aux actions de surveillance menées sur les barrages.

6.3 SYNTHÈSE

La création de vastes réservoirs entraîne la destruction, par ennoïement, de divers écosystèmes terrestres la création de nouveaux habitats aquatiques, généralement productifs ainsi que des dérangements à la structuration et à l'utilisation du territoire. La gestion des réservoirs et le fonctionnement des centrales génèrent également plusieurs perturbations aux écosystèmes aquatiques et riverains qui connaissent de nouvelles conditions de débit, de vitesse et de température.

Considérant leur localisation généralement éloignée des centres de consommation, les grands complexes hydroélectriques nécessitent souvent l'aménagement d'infrastructures d'accueil et d'accès qui entraînent des modifications sensibles du développement des régions concernées, à cause notamment du désenclavement de territoires jusque là isolés. De plus, ils exigent l'installation d'un important réseau de transport d'électricité qui occasionne des impacts variés sur l'environnement (conflits d'utilisation, acceptabilité sociale, perturbation du paysage, etc).

Abstraction faite de l'émission de quantités limitées de gaz à effet de serre comme le bioxyde de carbone et le méthane, les projets hydroélectriques n'engendrent aucune pollution du milieu.

En ce qui concerne enfin la bioaccumulation du méthylmercure dans la chair des poissons, les différentes études menées sur le terrain par la SEBJ depuis 1978 démontrent que le taux de mercure dans un réservoir retrouve des valeurs

¹ Le Moigne, Guy, Barghonti, Shawki and Plusquellec, Hervé, editors, Dam Safety and the Environment, World Bank Technical Paper no. 115, Washington, D.C., février 1990.

comparables à celles des lacs naturels voisins de 20 à 30 ans après sa mise en eau.¹ Le Comité de la Baie James sur le mercure, mis sur pied en vertu de la Convention sur le mercure (1986), veille pour sa part à ce que le programme visant à réduire les risques pour la santé reliés à la pêche soit respecté. On y discute également des mesures de correction pouvant permettre aux autochtones de poursuivre leurs activités de pêche. L'identification des lacs non touchés, l'ensemencement possible d'étangs et la diversification des activités de subsistance des autochtones en sont des exemples.¹

Centrales au fil de l'eau

Par rapport aux grands complexes hydroélectriques habituels, les centrales au fil de l'eau présentent le grand avantage d'occuper des superficies beaucoup moins importantes, étant donné l'absence de réservoirs directement associés à la centrale considérée. Dans un grand nombre de cas, les centrales au fil de l'eau bénéficient toutefois de réservoirs déjà construits antérieurement, soit pour des fins de régulation des eaux, soit pour des fins de production d'électricité. Dans ce contexte, ils constituent donc souvent des éléments d'optimisation de complexes hydrologiques plus vastes, déjà contrôlés. Toutefois les centrales au fil de l'eau ne permettent pas de suivre les variations de la demande annuelle.

Les centrales au fil de l'eau apportent donc habituellement des dérangements moins importants aux écosystèmes terrestres, aquatiques et riverains, en terme de superficies touchées, à tout le moins. Sur le site même des centrales, les impacts sont sensiblement comparables à ceux des complexes à réservoirs. Il est enfin très souvent nécessaire de procéder à l'érection de structures d'amenée et de fuite des eaux qui peuvent être assez imposantes.

Petites centrales hydroélectriques

Fonction des résultats d'études de faisabilité à venir, on estime que l'on pourrait possiblement aménager des petites centrales hydroélectriques au Québec pour une puissance installée avoisinant 1 500 MW. Ces petites centrales occuperaient au moins 200 sites répartis sur environ 120 rivières différentes.

Considérés individuellement, ces ouvrages hydroélectriques semblent de prime abord beaucoup moins problématiques d'un point de vue environnemental que les grands complexes hydroélectriques. Considérés sur une base cumulative, il semble bien toutefois qu'ils pourraient engendrer des impacts sur l'environnement possiblement plus élevés qu'un complexe hydroélectrique unique de même taille.

Compte tenu de leur localisation à proximité relative des centres de consommation, de telles installations peuvent présenter quelques avantages pour

¹ Perreault, Sylvain, Le mercure et le poisson, dans, Hydro-Press, 71e année, no. 20, fin novembre 1991.

la mise en valeur de certains sites (infrastructures d'accès, régularisation des eaux, utilisation polyvalente). Compte tenu cependant du nombre assez élevé des ouvrages qu'il faudrait construire pour rencontrer une demande de base de seulement 1 500 MW, il faudrait à toute fin pratique harnacher la quasi totalité (sinon la totalité) des rivières accessibles au Québec. Parmi les considérations donc il faut tenir compte dans l'appréciation de la problématique environnementale des petites centrales, on note :

- l'artificialisation, voire la destruction, de chutes et de cascades d'intérêt historique ;
- des fluctuations de débits et de niveaux d'eau pouvant affecter les villégiateurs ;
- des interférences fréquentes avec les activités récréo-touristiques de navigation de plaisance, de canotage et de rafting ;
- des travaux de construction demandant une gestion relativement serrée compte tenu de la proximité de la population.

L'ampleur et l'acuité de ces impacts peuvent être négligeables dans un bon nombre de cas pris isolément. Le recours massif à une telle filière (ex. 1 000 MW pour un horizon de 10 ou 20 ans) ne devrait toutefois pas être retenu sans la réalisation au préalable d'une étude d'impact globale préliminaire. Une telle approche serait prudente considérant qu'en vertu de la réglementation actuelle, toute centrale d'une capacité de moins de 10 MW, soit la majorité des petites centrales, n'est pas assujettie au processus provincial d'étude d'impact sur l'environnement.

Le tableau 6.1 donne quelques-unes des caractéristiques des centrales potentielles identifiées à ce jour au Québec sur le territoire du réseau relié.

Tableau 6.1 : Quelques caractéristiques des sites potentiels de centrales hydroélectriques de 25 MW et moins sur le territoire du réseau relié d'Hydro-Québec

Parmi les 203 sites potentiels identifiés à ce jour, on note que ceux-ci :

- concernent une centaine de rivières différentes;
- touchent à plusieurs reprises des rivières jusqu'à ce jour inexploitées ou peu exploitées comme :
 - . Escuminac en Gaspésie (2 centrales possibles)
 - . Ouelle dans le Bas-Saint-Laurent (2 centrales possibles)
 - . à Mars au Saguenay (3 centrales possibles)
 - . Chaudière dans les Appalaches (6 centrales possibles)
 - . Nicolet dans le Coeur-du-Québec (4 centrales possibles)
 - . Châteauguay en Montérégie (5 centrales possibles)
 - . Dumoine en Outaouais (3 centrales possibles)
 - . du Loup dans Lanaudière (2 centrales possibles)
 - . Mingan sur la Côte-Nord (5 centrales possibles)
 - . Malbaie dans Charlevoix (1 centrale possible)
- dans 17 cas concernent la réhabilitation de centrales qui ont été désaffectées au fil des ans;
- en 10 occasions, se situent à l'intérieur des limites d'un territoire protégé (ex. rivières Petite Caspédia, Matane, Jacques-Cartier, Montmorency);
- dans 12 cas, touchent des rivières ayant un potentiel reconnu pour le saumon (ex. Matamec, Watshishou, Matapédia, Saint-Jean, Matane);
- ont une puissance installée moyenne de 7,5 MW, 15 sites présentant un potentiel entre 20 et 25 MW, 72 sites ayant un potentiel inférieur à 3 MW, dont 30 sites ayant un potentiel de 1 MW ou moins.

Source : Hydro-Québec, décembre 1991

7- FILIÈRES SOLAIRES

Chaque année, le Soleil répand sur terre des milliers de fois plus d'énergie que l'humanité n'en consomme directement. Même si cette étude s'en tient à la seule production d'énergie électrique à partir du rayonnement solaire, il faut souligner que les autres utilisations de l'énergie solaire sont importantes dans la mesure où elles peuvent satisfaire une partie des besoins énergétiques des sociétés. De plus, le soleil est le moteur des cycles naturels auxquels nous devons, entre autres, l'énergie hydraulique et les combustibles fossiles.

Sur le plan des besoins énergétiques de la planète, l'énergie solaire est nettement plus avantageuse comme source de chaleur directe, active ou passive, que comme source d'électricité, via les filières photovoltaïque ou héliothermique. Compte tenu de la valeur intrinsèque de l'électricité, la transformation de l'énergie solaire en énergie électrique reste toutefois un objectif recherché.

7.1 DESCRIPTION TECHNIQUE

Le rayonnement solaire constitue d'abord une source de chaleur qui peut être directement utilisée comme telle pour le chauffage des locaux. Comme toutes les sources de chaleurs, l'énergie solaire peut également être transformée en électricité. Deux filières technologiques différentes sont actuellement utilisées pour opérer cette transformation.

7.1.1 Filière photovoltaïque

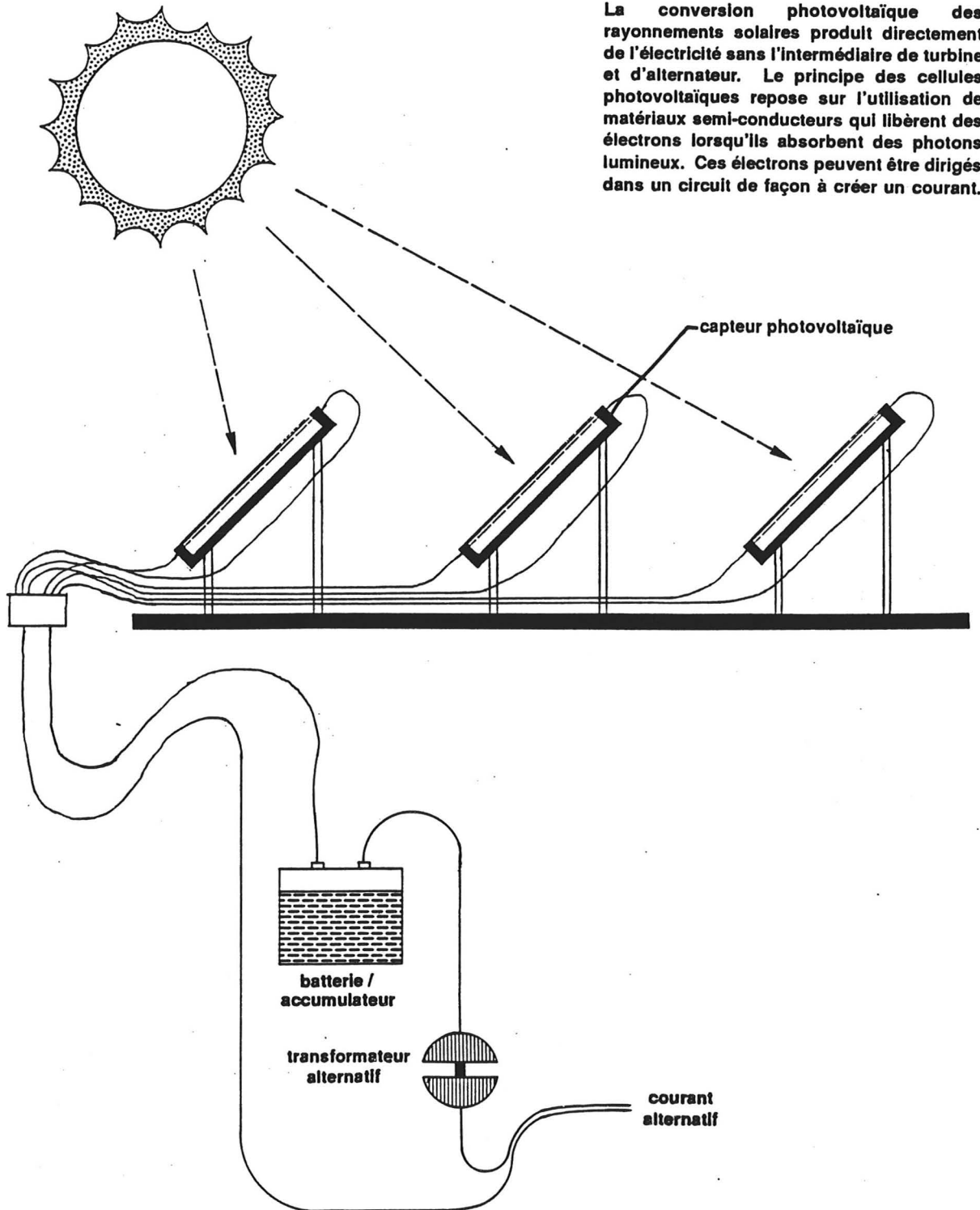
Les capteurs photovoltaïques (figure 7.1) mettent à profit un phénomène découvert le siècle dernier l'effet photovoltaïque. Cet effet se produit lorsque les photons lumineux émis par le soleil pénètrent dans un matériau photosensible (tel le silicium) et y arrachent des électrons qui peuvent être dirigés dans un circuit de façon à créer un courant. C'est le principe des cellules photovoltaïques ou piles solaires qui ont d'abord été mises au point pour les besoins de l'exploration spatiale. La conversion photovoltaïque permet de produire de l'électricité directement, sans turbine, alternateur ou toute autre pièce mobile.

La production électrique d'une centrale photovoltaïque varie instantanément en fonction de l'intensité du rayonnement solaire. Il s'agit donc d'une source d'énergie électrique qui doit être utilisée comme complément à d'autres filières énergétiques ou encore à laquelle on doit ajouter d'importants systèmes d'accumulation. Cette option énergétique est également très coûteuse et reste encore limitée à des marchés captifs où il n'existe pas d'alternative plus économique. L'avenir de cette filière dépend donc directement de l'amélioration de ses paramètres économiques.

Figure 7.1 Centrale photovoltaïque

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La conversion photovoltaïque des rayonnements solaires produit directement de l'électricité sans l'intermédiaire de turbine et d'alternateur. Le principe des cellules photovoltaïques repose sur l'utilisation de matériaux semi-conducteurs qui libèrent des électrons lorsqu'ils absorbent des photons lumineux. Ces électrons peuvent être dirigés dans un circuit de façon à créer un courant.



A l'échelle internationale, l'ordre de grandeur des projets de centrales photovoltaïques varie de 1 à 3 MW de puissance de crête, c'est-à-dire à ensoleillement maximal, et la puissance mondiale installée de production était de 40 MW en 1990. Au Canada, l'ensemble des installations photovoltaïques totalise encore moins de un mégawatt de puissance de crête. Même si le coût de l'électricité photovoltaïque a radicalement baissé au cours des deux dernières décennies, l'énergie solaire photovoltaïque coûte beaucoup plus cher à produire que les sources d'énergie conventionnelles. De plus, les matériaux considérés actuellement se dégradent rapidement et n'assurent pas une production uniforme sur la vie de l'installation.

Les cellules photo-électriques actuellement disponibles en grande quantité sur le marché commercial présentent généralement une efficacité de conversion de moins de 20 %. En laboratoire, on a par contre atteint des facteurs d'efficacité qui s'approchent de 40 %, alors que les prix continuent de diminuer comme ils l'ont fait depuis plus de 40 ans.

7.1.2 Filière héliothermique

Il est possible d'alimenter une centrale thermique à partir du rayonnement solaire (figure 7.2). On peut d'abord utiliser des capteurs qui absorbent la lumière solaire et chauffent un fluide caloporteur qui actionne un turbo-alternateur conventionnel. Pour alimenter de plus grandes centrales, il faut concentrer le rayonnement solaire, selon le principe d'une loupe, à l'aide d'une multitude de miroirs disposés tout autour d'une surface cible où passe le liquide caloporteur. Règle générale, ces miroirs plans (ou héliostats) se déplacent en fonction de la course du soleil et concentrent ses rayons sur une chaudière installée au haut d'une tour où ils chauffent directement un fluide caloporteur. Cette chaleur sera encore une fois utilisée pour produire de la vapeur et faire ainsi tourner un groupe turbo-alternateur. La plus grande centrale du genre au monde a une puissance de 10 MW et est situé près de Barstow, en Californie.

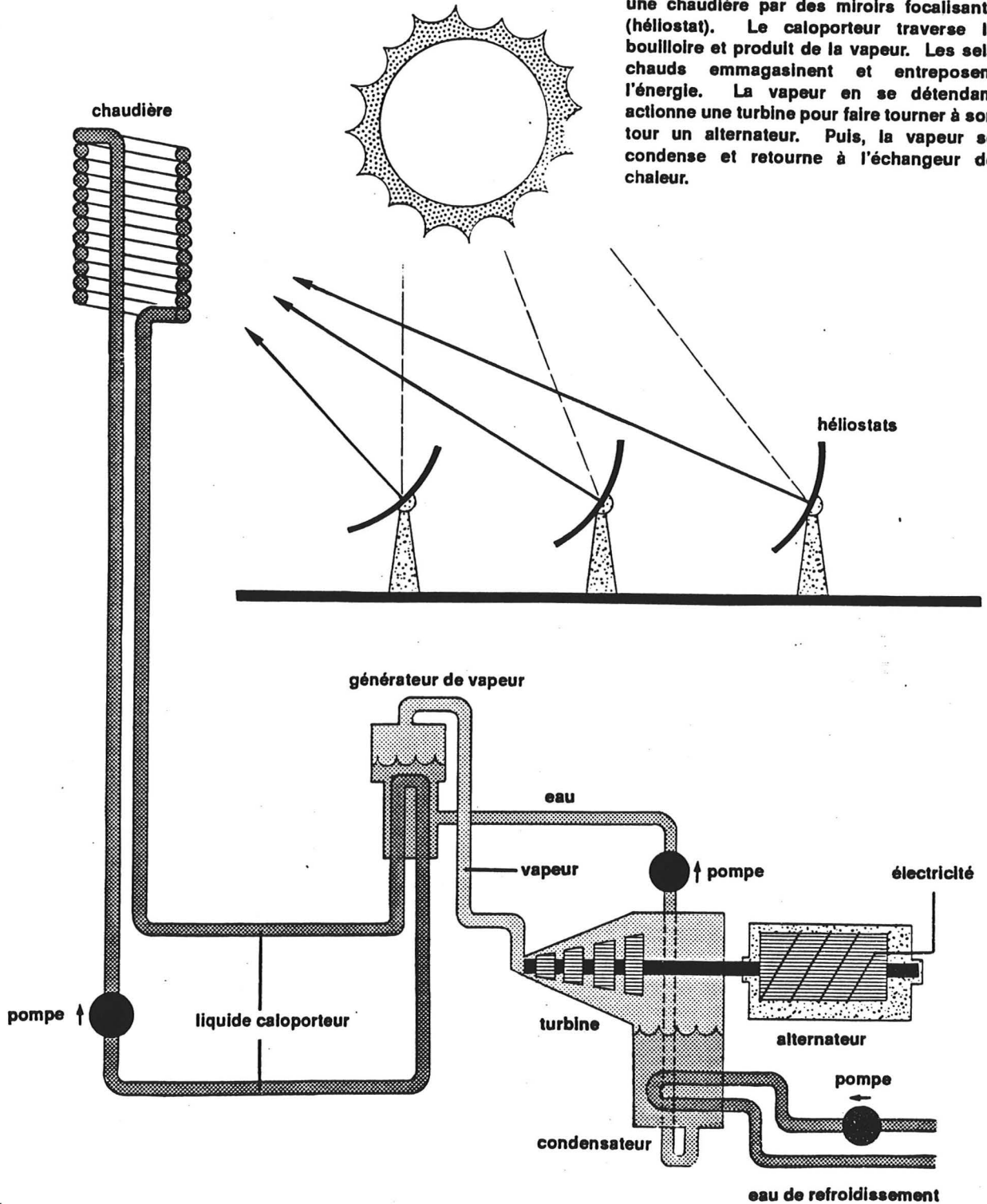
On peut également utiliser des systèmes modulaires réunissant un grand nombre de coupoles ou de longs réflecteurs paraboliques. Le liquide caloporteur passe alors dans un tube placé au foyer de la parabole et absorbe la chaleur concentrée du rayonnement solaire. Les centrales à réflecteur parabolique sont moins coûteuses à construire et peuvent être agrandies au besoin par l'ajout de capteurs supplémentaires. En Californie, on compte déjà une dizaine d'installations du genre dont les puissances varient entre 14 et 80 MW.

Les centrales héliothermiques sont surtout installées dans des zones à fort ensoleillement. Il s'agit d'équipements de grande envergure qui peuvent produire plusieurs mégawatts de puissance électrique. Dans le désert de Mojave, en Californie, on exploite déjà des unités héliothermiques totalisant près de 300 MW de puissance électrique. Dans ce type de centrale, des chaudières d'appoint, alimentées au gaz naturel, remplacent le soleil comme source de chaleur pendant la nuit ou par mauvais temps.

Figure 7.2 Centrale héliothermique

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le rayonnement solaire est concentré sur une chaudière par des miroirs focalisants (héliostat). Le caloporteur traverse la bouilloire et produit de la vapeur. Les sels chauds emmagasinent et entreposent l'énergie. La vapeur en se détendant actionne une turbine pour faire tourner à son tour un alternateur. Puis, la vapeur se condense et retourne à l'échangeur de chaleur.



L'électricité produite par les centrales héliothermiques reste encore très coûteuse et ne devient donc compétitive que dans des pays où l'ensoleillement est très favorable et où les sources alternatives d'électricité sont très coûteuses. Ce n'est évidemment pas le cas du Québec ou du Canada où on ne compte pas encore de centrales héliothermiques en exploitation ou même en projet à l'heure actuelle.

7.2 ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

Règle générale, lorsqu'on prend en considération les aspects environnementaux des énergies dites douces, comme l'énergie solaire ou l'énergie éolienne, on se contente de dire qu'elles présentent un avantage pour l'environnement puisqu'elles permettent de réduire l'utilisation, toujours polluante, de combustibles fossiles. Ce raisonnement est forcément limitatif et a souvent occulté les véritables conséquences environnementales du recours à ces formes d'énergie.

Les études visant à établir l'impact environnemental de ces filières se limitent donc habituellement à mettre en évidence les avantages qu'elles peuvent présenter par rapport aux équipements classiques de production d'électricité. On dira, par exemple, qu'une installation solaire ou éolienne de telle puissance permettra d'éviter la production annuelle de tant de tonnes de gaz à effet de serre et d'émanations atmosphériques responsables des pluies acides. Il n'empêche que de telles filières, surtout lorsqu'elles sont envisagées pour des fins de production massive, présentent des impacts sur l'environnement qui ne sont pas négligeables.

7.2.1 Qualité de l'eau de l'air et du sol

Tout comme l'hydroélectricité, les filières solaires de production d'électricité ne sont pas des sources directes de pollution atmosphérique, terrestre ou aquatique. Certains scientifiques prétendent cependant que l'énergie solaire constitue une source de pollution plus grande que les autres formes d'énergie si on prend en compte la fabrication de tous les matériaux qui y sont utilisés. Ceci est particulièrement vrai pour la fabrication des cellules photo-électriques au silicium ou à l'arséniure de gallium qui requiert la manipulation de grandes quantités de solvants et de produits chimiques hautement toxiques. Le déclassement et l'élimination de millions de mètres carrés de panneaux solaires, une fois leur vie utile de 30 ans terminée, pose également des problèmes environnementaux. Une évaluation complète de ces impacts reste cependant difficile à réaliser, compte tenu de la multitude de phénomènes qui doivent être pris en cause.

7.2.2 Écosystèmes naturels

Les centrales solaires à miroir peuvent représenter une certaine nuisance pour les oiseaux qui seraient désorientés par ces miroirs. Les faisceaux lumineux qui sont

dirigés vers les chaudières de ces centrales sont également suffisamment intenses pour griller instantanément tout oiseau qui aurait l'imprudence de les croiser.

De façon plus générale, l'absorption d'une grande quantité d'énergie solaire et sa transformation en électricité ne peut que changer les conditions thermiques qui prévalent naturellement sur le site aménagé. En effet, le rayonnement solaire qui frappe le sol est généralement absorbé dans une proportion qui varie entre 60 et 80 %. Le reste est réfléchi vers l'atmosphère. Une centrale solaire qui capte une partie de cette énergie a donc l'effet d'une source froide équivalente, puisqu'elle soustrait de la chaleur au milieu ambiant. Si cet effet est certainement négligeable pour des centrales de faible puissance, il peut devenir très important pour des centrales de grande puissance qui absorberaient jusqu'à 40 % de l'énergie solaire incidente sur des surfaces de plusieurs km².

La création artificielle de telles zones plus froides pourrait modifier le régime local des vents ainsi que les autres conditions météorologiques locales. Ceci est particulièrement vrai pour le Québec où l'énergie électrique risque d'être utilisée, et donc redissipée dans la nature, ailleurs que dans la région où elle aura été préalablement extraite à partir du rayonnement solaire.

La plupart des chercheurs s'entendent cependant pour dire que, même s'il ne peut être parfaitement calculé, cet effet ne devrait pas présenter d'impact tangible sur l'écosystème naturel. L'effet produit par de vastes champs de capteurs serait somme toute équivalent à celui d'une forêt qui présente le même type d'absorption thermique.

7.2.3 Conditions atmosphériques globales

Comme les modifications thermiques potentielles évoquées précédemment sont strictement locales, le recours, même massif, à l'énergie solaire ne saurait avoir d'influence sur les conditions atmosphériques globales de la planète.

7.2.4 Occupation et structuration du territoire

L'énergie solaire est une forme d'énergie très diluée. Sur le territoire québécois, on reçoit, par temps clair, environ 100 watts d'énergie solaire par m². En supposant une centrale solaire dont l'efficacité totale serait de 20 %, on calcule facilement qu'il faudrait installer des capteurs sur une surface nette de plus de 30 km² pour produire un TWh d'électricité par année, soit environ le cinquième des nouveaux besoins annuels prévus pour la prochaine décennie. Pour produire l'équivalent de l'énergie électrique du complexe Grande Baleine, on parle de plus de 500 km² de capteurs. Il faut évidemment ajouter à cet espace celui qui est nécessaire pour l'entretien de ces capteurs et pour les équipements électriques correspondants.

Contrairement à l'énergie éolienne qui est davantage liée à certains sites plus avantageux, l'énergie solaire est répartie de façon relativement uniforme sur le territoire québécois. Cette filière laisse donc une très grande liberté quant aux

sites particuliers qui pourraient recevoir des centrales. Toutefois, la filière solaire laisse beaucoup moins de possibilités d'utilisation polyvalente du milieu que les filières éolienne et hydroélectrique. Les centrales solaires nécessitent en effet un usage plus exclusif du territoire aménagé car elles sont spécifiquement conçues pour capter le maximum du rayonnement solaire avant qu'il n'atteigne le sol.

7.2.5 Perceptions et changements sociaux

L'énergie solaire a toujours été vue sous un oeil favorable par l'ensemble de la population. Cette perception pourrait cependant changer si on s'avisait de recourir massivement à cette filière énergétique en implantant des centrales de très grande dimension.

7.2.6 Sécurité

La filière solaire ne présente pas vraiment de risque pour les populations humaines. Les risques liés à la construction et à l'exploitation des centrales sont semblables à ceux de toute activité industrielle équivalente. Dans le cas des centrales héliothermiques à miroirs, des précautions particulières doivent être prises pour éviter les problèmes accidentels de cécité et de brûlure qui pourraient résulter d'une mauvaise orientation des miroirs.

7.3 SYNTHÈSE

Les filières solaires ne présentent pas d'inconvénients environnementaux majeurs. Elles ne produisent directement aucune pollution atmosphérique, terrestre ou aquatique et sont relativement bien acceptées par la population.

L'énergie solaire étant une forme d'énergie très diluée, elle nécessite toutefois l'aménagement de très grandes surfaces de sol pour arriver à produire une quantité appréciable d'énergie électrique. Cette filière laisse cependant une très grande liberté quant aux sites particuliers qui pourraient recevoir des centrales, mais elle laisse peu de place à une utilisation polyvalente du milieu.

L'absorption d'une grande quantité d'énergie thermique solaire et sa transformation en électricité peut changer les conditions thermiques qui prévalent naturellement sur le site aménagé. Cet impact particulier dépend essentiellement de la superficie aménagée et de l'efficacité des capteurs utilisés.

8- FILIÈRE ÉOLIENNE

L'énergie du vent nous vient du soleil. En effet, le rayonnement solaire réchauffe inégalement les masses d'air de l'atmosphère, provoquant ainsi des déplacements de masses d'air entre des zones de températures et de pressions différentes. On estime qu'environ 2 % de l'énergie solaire arrivant sur terre est transformé en énergie cinétique éolienne.

Compte tenu de la grande superficie du territoire québécois et des bonnes conditions de vent qui prévalent sur une partie de ce territoire, la disponibilité en énergie éolienne ne constitue pas en soi un facteur limitant le développement de cette source d'énergie. On évalue qu'il existe une bande riveraine favorable à l'énergie éolienne d'environ 2 500 km le long de la côte gaspésienne, de la Basse-Côte-Nord et des rives de la baie d'Hudson et de la baie James. Sur un plan théorique, on peut calculer que 125 000 éoliennes de grande puissance occupant ce territoire sur une profondeur de 15 km auraient la capacité de produire l'équivalent de toute l'énergie électrique consommée actuellement au Québec.

Comme c'est le cas pour l'énergie solaire, le principal inconvénient de l'énergie éolienne est son intermittence. Il faut donc l'utiliser de façon complémentaire à d'autres sources d'énergie. En fait, comme elles ne peuvent emmagasiner l'énergie qu'elles produisent, pas plus qu'elles ne peuvent ajuster leur production aux fluctuations de la demande des usagers, les éoliennes ont besoin d'un grand réseau électrique pour absorber leur production à toute heure du jour.

L'utilisation de l'énergie éolienne pour la production d'électricité reste encore très limitée. La puissance électrique éolienne actuellement installée dans le monde totalise seulement 2 000 MW. L'essentiel de cette puissance (80 %) est installée en Californie où elle ne contribue qu'à environ 1 % de la production électrique de l'état. Une étude récente d'Énergie, Mines et Ressources Canada¹ fixe également à 1 % la portion d'électricité consommée au Canada qui pourrait être prise en charge par des éoliennes au cours du prochain 25 ans. Cette source d'électricité restera donc marginale tout au long de la présente décennie.

Les paramètres économiques d'utilisation de l'énergie éolienne s'améliorent cependant rapidement. Il s'agit donc d'une source d'énergie qui pourrait occuper une place non négligeable dans les nouvelles contributions au bilan énergétique québécois après l'an 2000.

8.1 DESCRIPTION TECHNIQUE

Une éolienne est en quelque sorte une turbine aérienne qui actionne un alternateur pour produire du courant électrique. Au fil des ans, on a réussi à améliorer

¹ Canadian Wind Energy Technical and Market Potential, Alternative Energy Division, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, Draft Document, août 1991.

considérablement l'efficacité aérodynamique des pales des éoliennes en faisant appel aux concepts et aux techniques les plus avancées du monde de l'aéronautique. Ces machines fabriquées en série ont un taux d'indisponibilité comparable aux meilleurs équipements électro-mécaniques. L'axe de rotation auquel sont fixées les pales peut être aussi bien vertical que horizontal (figure 8.1).

Au Québec, l'énergie éolienne a d'abord été mise à profit comme source d'énergie d'appoint dans des sites isolés non reliés au grand réseau d'Hydro-Québec. A Kuujuaq, une éolienne de 65 kW entièrement automatisée a été couplée, en 1987, à un réseau électrique alimenté par des groupes diesels. L'éolienne produit environ 120 000 kWh par année ce qui donne un facteur d'utilisation de 20%. Chaque kilowattheure ainsi produit est très rentable puisqu'il vient remplacer de l'électricité produite à grand frais par des alternateurs couplés à des moteurs diesels dont le carburant est transporté par avion.

Une éolienne à axe vertical est également exploitée à Cap-Chat en Gaspésie. Avec sa puissance de 4 MW, cette éolienne géante est la plus importante de son genre au monde et compte pour plus de la moitié de toute la capacité éolienne installée au Canada. Haute de 110 m, soit l'équivalent d'un édifice de 30 étages, l'éolienne a un diamètre de 64 m et une surface balayée de 4 000 m².

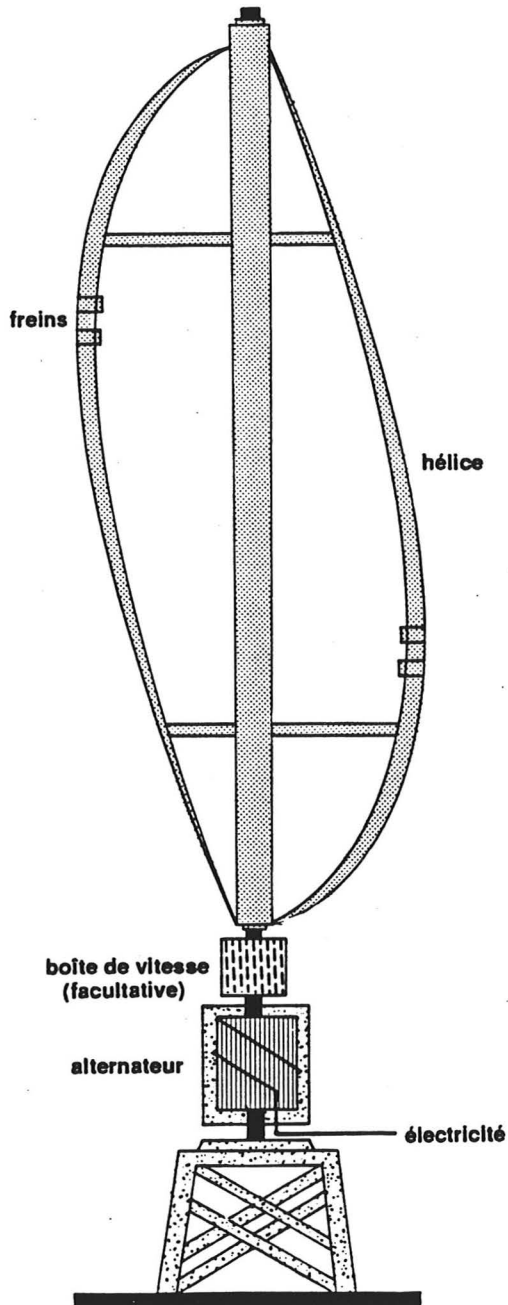
Hydro-Québec poursuit présentement des études sur le rôle que pourrait jouer un parc d'éoliennes dans son réseau principal. Compte tenu du caractère intermittent de leur production, de tels parcs ne pourraient contribuer à la puissance de pointe du réseau. L'énergie produite pourrait cependant être emmagasinée sous forme d'eau non utilisée derrière les barrages hydroélectriques et restituée au moment voulu par les centrales hydroélectriques. La rentabilité d'une telle opération reste à être démontrée.

A titre d'exemple, un parc de 1 500 éoliennes d'une puissance unitaire de 500 kW aurait la capacité de produire environ 2,0 TWh d'énergie électrique par année, ce qui correspond à la moitié de la croissance de consommation annuelle escomptée pour la décennie à venir. Un tel parc occuperait une superficie de 14 km par 14 km, soit environ 200 km².

8.2 ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

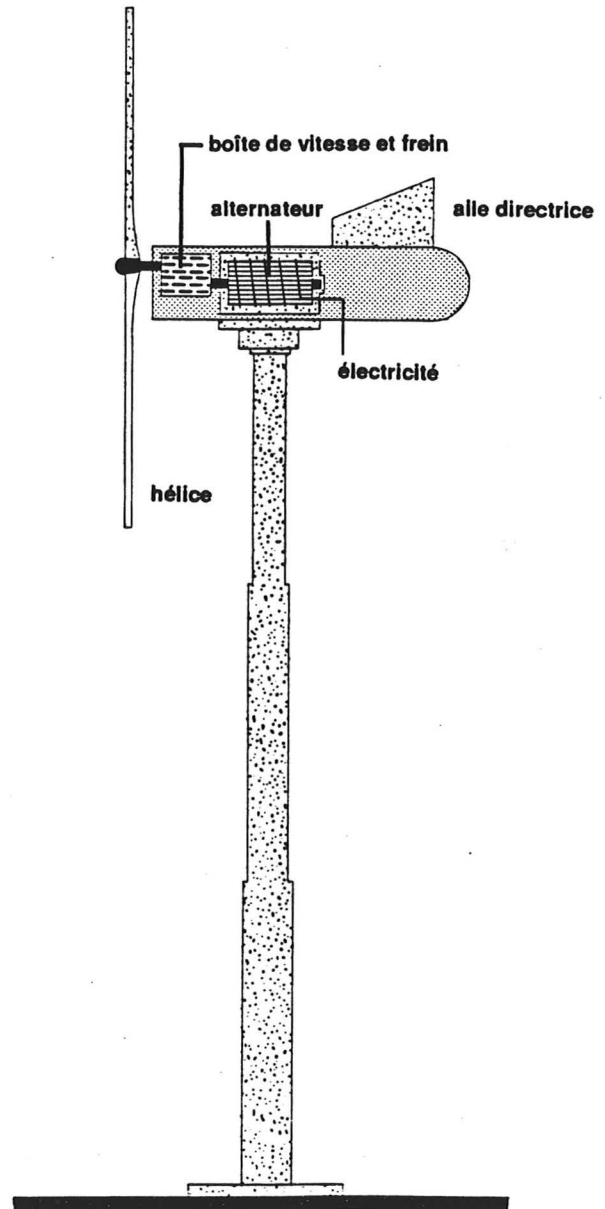
Sur les plans technique et environnemental, l'énergie éolienne se rapproche beaucoup de l'énergie hydroélectrique. Pour ces deux formes d'énergie, l'impact environnemental global est essentiellement lié à la quantité d'énergie requise et donc à l'ampleur des équipements mis en place. C'est ainsi qu'une petite centrale hydroélectrique de quelques centaines de kilowatts n'aura guère plus d'impact sur l'environnement qu'une grande éolienne de même capacité. Ce n'est qu'au moment où on désire produire beaucoup plus d'énergie que les conséquences environnementales de ces sources de production cessent d'être négligeables.

Figure 8.1 Les éoliennes



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Dans une éolienne, la force des vents produit une poussée qui peut être captée au moyen de dispositifs simples tels que les pales d'hélice en mouvement selon un axe de rotation vertical ou horizontal. Ces appareils convertissent l'énergie cinétique des molécules d'air en énergie mécanique. Cette énergie fait tourner un alternateur et produit ainsi de l'électricité.



8.2.1 Qualité de l'eau, de l'air et du sol

La production d'électricité à partir de la filière éolienne ne s'accompagne d'aucune pollution qui puisse diminuer la qualité de l'air, de l'eau ou du sol. Certaines sources de pollution sont cependant associées aux éléments périphériques de cette technologie, comme les huiles utilisées dans les systèmes d'engrenages ou les acides contenues dans les accumulateurs qui pourraient être requis pour certains types d'utilisation. Alors que d'autres sources sont associées au bruit que produisent les éoliennes. Par contre, ce problème varie considérablement d'un modèle d'éolienne et d'autre. A la grande éolienne de Cap-Chat, on a enregistré des niveaux sonores se situant entre 42 et 47 db(A), à 100 m de l'éolienne. Il s'agit là d'un niveau de bruit relativement faible.

Les pales d'acier des éoliennes en rotation peuvent également occasionner des interférences dans la réception des signaux de radio, de télévision ou de radar. L'utilisation de pales non métalliques (en fibre de verre, en bois ou en résine époxy) peut cependant atténuer cet inconvénient.

8.2.2 Écosystèmes naturels

On observe généralement des changements mineurs des conditions de vent, de température et d'humidité dans la région qui se situe directement au pourtour d'une éolienne.¹ Ces changements sont cependant minimes et ne semblent pas de nature à affecter la faune ou la flore occupant cette zone.

Pour les aménagements éoliens en zones forestières, il peut être nécessaire de faire de la coupe à blanc afin d'améliorer la circulation du vent en amont de l'éolienne. L'impact de telles coupes serait a priori comparable à celui de l'exploitation forestière, même si l'orientation de cette zone de déboisement (généralement vers le bas d'une pente) pourrait devenir un facteur spécifique d'érosion.

On craint souvent que les parcs d'éoliennes puissent occasionner la mort d'un certain nombre d'oiseaux ou d'insectes volants qui s'aventurent dans leur voisinage. Il est évidemment difficile d'évaluer l'ampleur de cet impact qui varie avec les paramètres écologiques qui sont spécifiques à chaque site aménagé. A l'heure actuelle, aucune observation ne semble cependant vouloir confirmer ces craintes. Il semblerait également que l'onde de choc aérodynamique qui précède la pale soit suffisamment forte pour repousser les oiseaux qui se trouveraient sur son chemin.²

¹ D. J. de Renzo, Wind Power, Recent Developments, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, 1979.

² David Rittenhouse Inglis, Wind Power and Other Energy Options, The University of Michigan Press, p.181.

8.2.3 Conditions atmosphériques globales

En captant l'énergie du vent, un éolienne lui enlève également sa vitesse et ralentit donc sa course. Un parc d'éoliennes a donc un effet direct sur la dynamique des vents autour du site où elle se trouve. Cet effet est relativement négligeable si on n'arrache au vent qu'une petite partie de son énergie, il l'est certainement beaucoup moins dans le cas de vastes parcs d'éoliennes qui produisent des centaines de mégawatts à même l'énergie du vent. Il est très difficile d'évaluer avec certitude les conséquences qu'une telle modification inévitable du régime des vents peut avoir sur les conditions climatiques locales.

Compte tenu de la quantité relativement faible d'énergie qui pourrait être produite à partir du vent par rapport à l'énergie totale qui anime l'atmosphère terrestre, il semble évident que de tels phénomènes sont essentiellement locaux et ne pourront jamais donner lieu à une modification des conditions climatiques globales de la planète.

8.2.4 Occupation et structuration du territoire

Afin d'éviter les pertes de puissance dues aux interférences, les éoliennes doivent être écartées l'une de l'autre d'une distance égale à au moins dix fois le diamètre du rotor. Il s'agit donc d'équipements qui sont susceptibles d'occuper une grande superficie de territoire. On évalue par exemple qu'il faut équiper quelque 100 km² de territoire pour produire environ un TWh d'électricité par année.¹ A ce taux, c'est plus de 1 600 km² de parcs d'éoliennes qu'il faudrait compter pour équivaloir à la production d'un complexe hydroélectrique comme celui de Grande Baleine, soit par exemple une bande de 160 km le long du Saint-Laurent, par 10 km de profondeur.

Même si les parcs d'éoliennes peuvent s'étendre sur des centaines de kilomètres carrés, il ne faut cependant pas en conclure que le territoire ainsi aménagé perdent automatiquement toute autre utilité. Un peu comme pour les pylônes électriques, on peut continuer de cultiver les terres sous les éoliennes ou même les laisser partiellement en forêts.

8.2.5 Perceptions et changements sociaux

On a reproché aux éoliennes le bruit qu'elles produisent en tournant dans le vent. Ce problème varie considérablement d'un modèle d'éolienne à l'autre et dépend également du type d'engrenage qui est utilisé pour relier l'éolienne à son alternateur électrique.

¹ Énergie éolienne. État de la recherche, IREQ, 25 novembre 1991.

C'est sans doute sur le plan esthétique que l'implantation d'équipements éoliens peut soulever le plus de résistance. Règle générale, les conditions éoliennes les plus favorables se rencontrent sur les pentes, aux faîtes des collines et sur les rives des grands cours d'eau qui agissent comme des corridors canalisant les mouvements du vent. Ces lieux sont en contrepartie aussi ceux qui présentent le plus d'attrait sur le plan du paysage. La résistance de la population pourrait donc être assez importante vis-à-vis de telles considérations esthétiques et fonctionnelles. L'éolienne des Iles-de-la-Madeleine a par exemple une hauteur d'environ 40 m alors que celle de Cap-Chat a plus de 100 m. Les pylônes électriques courants ont une hauteur approximative de 50 m.

L'acceptabilité sociale de grands parcs d'éoliennes dépendra certainement de l'attitude globale des populations face à cette option énergétique particulière et de la façon dont ces projets seront présentés aux populations en cause. Il est cependant à prévoir que la population pourrait réagir positivement à de petits ensembles d'éoliennes mais se montrer plus hésitante face à de grands parcs de production.

8.2.6 Sécurité

Les éoliennes ne sont évidemment pas sans présenter un certain risque d'accident. On se rappellera à cet effet de l'écroulement, en juillet 1978, de l'éolienne de 230 kW des Iles-de-la-Madeleine qui s'était emballée à la suite d'un mauvais fonctionnement de ses aérofreins. Avec ses 200 tonnes, le rotor de l'éolienne de Cap-Chat constitue une énorme masse en mouvement dont le risque de perte de contrôle n'est pas nul. Si ce risque ne peut être évité pour le personnel d'exploitation de l'éolienne, il peut certainement être éliminé pour le grand public qui sera invité à respecter un périmètre de sécurité autour de l'appareil.

8.3 SYNTHÈSE

La production d'électricité à partir de la filière éolienne ne s'accompagne d'aucune pollution qui puisse diminuer la qualité de l'air, de l'eau ou du sol. Ces équipements occasionnent cependant des changements mineurs des conditions de vent, de température et d'humidité dans la région qui se situe directement à leur pourtour. Ces changements sont mineurs et ne semblent pas de nature à affecter la faune ou la flore occupant cette zone.

Il s'agit d'équipements qui sont susceptibles d'occuper une grande superficie de territoire. Contrairement aux champs de capteurs solaires, le territoire équipé en éoliennes reste utilisable pour un certain nombre d'autres fonctions, comme par exemple l'agriculture.

On a reproché aux éoliennes le bruit qu'elles produisent de même que les interférences qu'elles provoquent parfois dans la réception des signaux de radio,

de télévision ou de radar. Mais c'est sans doute sur le plan esthétique que l'implantation d'équipements éoliens peut soulever le plus de résistance.

9- FILIÈRES THERMIQUES À BASE DE BIOMASSE

On désigne sous le nom de biomasse toute substance organique d'origine végétale ou animale. Il s'agit essentiellement de matière vivante qui, après avoir accumulé de l'énergie pendant sa période de croissance vient de compléter son cycle de vie. Cette énergie accumulée a été fournie directement ou indirectement par le soleil. La combustion de toute matière organique est en fait une réaction d'oxydation où, en s'associant à l'hydrogène (H) et au carbone (C) de la matière organique, l'oxygène produit du bioxyde de carbone (CO₂) et de la vapeur d'eau (H₂O). Cette réaction d'oxydation libère toujours de la chaleur et constitue le destin ultime de toute matière vivante, qu'elle pourrisse lentement ou qu'elle brûle en quelques minutes seulement.

L'énergie contenue dans la biomasse est donc toujours susceptible de se transformer en chaleur via une combustion directe ou encore après une fermentation en alcool, une pyrolyse ou une décomposition anaérobique. Historiquement, on a toujours préféré utiliser la biomasse comme source directe de chaleur ou de produits calorifiques plutôt que pour alimenter des filières de production d'électricité. Il s'agit d'un mode de récupération d'énergie plus efficace car la transformation de chaleur en électricité occasionne toujours une grande perte d'énergie.

Malheureusement, cette chaleur ne trouve pas toujours preneur, surtout en été, et il serait souhaitable dans certains cas de produire également de l'électricité. La rentabilité d'une telle filière est cependant difficile à établir de façon générale et est toujours liée aussi bien au coût d'acquisition de la matière première qu'à l'efficacité de la filière utilisée.

9.1 DESCRIPTION TECHNIQUE

Il existe un grand nombre de filières permettant de transformer la biomasse en électricité. Dans le cas d'une combustion directe de la biomasse, la centrale prendrait tout simplement la forme d'une centrale thermique classique où de la vapeur est produite dans une chaudière de combustion avant d'être transformée en électricité par une turbine couplée à un alternateur (figure 9.1). Pour être rentable, cette filière doit cependant fonctionner de façon relativement continue et doit avoir une puissance de plusieurs mégawatts. Son efficacité de conversion est inférieure 40 %.

Il est également possible de transformer la biomasse en un combustible liquide ou gazeux qui pourra ensuite être brûlé dans une turbine à gaz ou même dans un moteur à explosion ; ces dispositifs étant eux-mêmes couplés à des alternateurs pour produire de l'électricité. Si cette formule est plus souple à utiliser, elle implique cependant de nouvelles étapes de transformation et une perte supplémentaire d'énergie lors du processus de conversion du combustible. Une fois qu'un carburant liquide ou gazeux est obtenu à partir de la biomasse, il peut également être utilisé directement pour alimenter des véhicules de transport que pour produire de l'électricité.

La biomasse offre une multitude de combustibles différents pouvant être utilisés pour la production d'électricité. Ces combustibles vont des résidus d'agriculture à la biomasse forestière en passant par les fumiers ou les déchets domestiques. Il est également possible d'obtenir du méthane par décomposition anaérobie à partir de liquides organiques, tels que les effluents d'égouts, le fumier, et les résidus provenant des usines de produits alimentaires. Par contre, pour que la conversion d'un type de biomasse en combustible soit rentable, il faut que la matière première ait une bonne valeur calorifique et qu'elle soit disponible sur une base continue en quantité appréciable. Au Québec, trois formes de biomasse répondent adéquatement à ces exigences : le bois, la tourbe et les déchets domestiques.

9.1.1 Bois

Au Québec, les usines de pâtes et papiers et les industries forestières produisent de grandes quantités de résidus de bois. Chaque année, on y abat quelque 1 600 km² de forêt. Environ 30 % de la biomasse forestière est constituée de déchets sous forme de fibres dont la moitié est abandonnée sur place. En récupérant cette matière organique, il est donc possible de produire une bonne quantité d'énergie thermique et donc d'électricité. En utilisant adéquatement cette source d'énergie, les industries rattachées au bois seraient en mesure de répondre à une portion de leurs besoins en énergie variant entre 30 et 50 %.

Le bois peut également servir de matière première dans la production de gaz ou de liquides combustibles. Au Québec, on a déjà exploité une usine de production de méthanol. Cette filière a cependant été abandonnée pour des raisons de compétitivité économique. En Finlande, des gazéificateurs d'une puissance atteignant 6 MW ont été mis au point pour le chauffage urbain. On a calculé qu'une plantation d'aulnes de 170 km² suffirait à alimenter une centrale thermique de 150 MW. Cependant, dans la majorité des cas, ce type d'exploitation n'est pas compétitif sur le plan économique avec les combustibles fossiles. Règle générale, la production directe de chaleur semble plus rentable que la production d'électricité à partir de la biomasse.

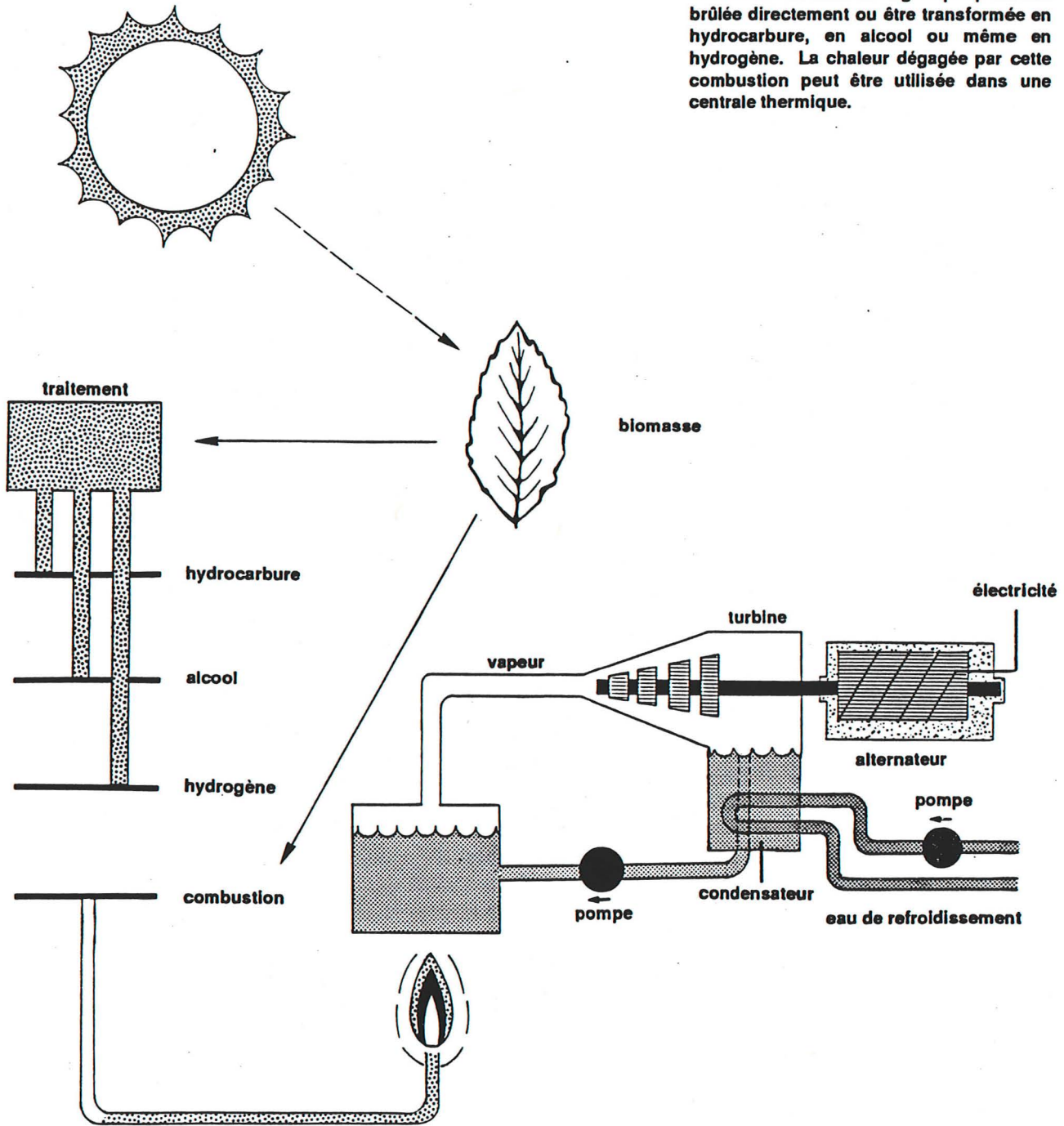
9.1.2 Tourbe

La tourbe est une matière organique partiellement décomposée qui s'est accumulée dans un milieu saturé d'eau. Il s'agit d'un combustible qui se consomme lentement et qui possède une capacité calorifique se situant à mi-chemin entre celles du bois et du charbon. Elle est cependant difficile à récolter et à utiliser. Pour des usages industriels, la tourbe est simplement broyée et brûlée dans une chaudière. La combustion directe de la tourbe n'est évidemment pas le seul moyen d'en extraire l'énergie. On peut également en tirer un gaz qui peut ensuite être brûlé dans une centrale thermique. L'IREQ a déjà fait une étude pour la construction d'une petite centrale de 2 MW qui serait alimentée à partir de tourbe gazéifiée.

Figure 9.1 Centrale thermique type avec emploi de la biomasse comme combustible

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Par la photosynthèse, les végétaux captent et mettent en réserve de l'énergie d'origine solaire. Cette matière organique peut être brûlée directement ou être transformée en hydrocarbure, en alcool ou même en hydrogène. La chaleur dégagée par cette combustion peut être utilisée dans une centrale thermique.



9.1.3 Déchets domestiques

Chaque Québécois produit en moyenne un demi-kilo de déchets par jour, et une bonne partie de ces déchets est réutilisable sous forme de chaleur ou de gaz. Ainsi, à l'incinérateur des Carrières de la Ville de Montréal, on brûle annuellement 300 000 tonnes de déchets pour produire 700 000 tonnes de vapeur. La vapeur produite est acheminée par conduites à des clients qui l'utilisent pour combler leurs besoins en chauffage. La plupart de ces clients n'ont que des besoins irréguliers de vapeur et une bonne partie de cette énergie thermique est tout simplement évacuée dans l'atmosphère sans être valorisée.

Dans le nouveau plan intégré de gestion des déchets proposé par la Ville de Montréal, il est prévu que l'incinérateur devrait être en mesure de fournir une puissance électrique de 35 MW et de livrer annuellement 250 millions de kWh (0,25 TWh). Un projet équivalent doit être réalisé par la Régie intermunicipale des déchets de l'Île de Montréal qui prend en charge les déchets des autres municipalités de l'Île.

La Ville de Montréal exploite également un Centre de tri et d'élimination des déchets. Ce site d'enfouissement contient déjà 30 millions de tonnes de déchets et devrait en accueillir encore 10 millions de tonnes avant d'être renaturalisé en 1994.

L'enfouissement massif d'une telle quantité de déchets organique génère un volume important de gaz de décomposition contenant surtout du méthane, du gaz carbonique, de l'azote et de l'oxygène. A l'heure actuelle, ce gaz est tout simplement capté et brûlé à l'air libre. Une fois le site complété, on a calculé qu'il produira environ 8 000 m³ de biogaz par jour. La Ville construira alors un réseau de captage de plus de 300 puits qui recueillera ce gaz pour l'acheminer vers une centrale thermique de production d'électricité.

Le biogaz sera alors brûlé dans une turbine à gaz qui alimentera un alternateur électrique. On prévoit que cette centrale aura une puissance se situant entre 15 et 20 MW et qu'elle produira plus de 100 millions de kWh (0,1 TWh) par année.

Une fois réalisés, vers le milieu de la présente décennie, ces trois équipements de valorisation énergétique produiront, à partir des seuls déchets générés sur l'Île de Montréal, environ un demi TWh d'électricité par année avec une puissance d'un peu moins de 100 MW.

9.2 ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

9.2.1 Qualité de l'eau, de l'air et du sol

Tout comme les autres filières thermiques analysées au chapitre 5, c'est surtout lors de l'extraction de la ressource et de la combustion que sont générés les principaux impacts néfastes sur l'environnement.

Les émissions atmosphériques résultant de la combustion comprennent du bioxyde de soufre (SO₂), des oxydes d'azote (NO_x), du bioxyde de carbone (CO₂) ainsi que des particules. Les réactions chimiques entraînées par ces émissions sont les mêmes que celles identifiées pour les centrales thermiques classiques.

Le tableau 9.1 résume les principales charges polluantes émises dans l'atmosphère pour une centrale thermique alimentée à l'énergie de la biomasse. Les données sont compilées en fonction des équipements de référence indiqués au tableau 11.1 et par térawattheure (TWh). Des données pour 4,2 TWh ont été estimées à des fins de comparaison avec les rejets des centrales thermiques classiques.

De façon générale, les charges polluantes générées par la combustion de la biomasse sont inférieures à celles des combustibles fossiles traditionnels. Par ailleurs, il est à remarquer que ces centrales ont une production annuelle d'électricité vingt fois moindre. Ainsi, bien que d'une ampleur plus restreinte, chaque centrale fonctionnant à la biomasse génère des effets semblables tels que la création de dépôts acides, l'accumulation d'ozone troposphérique et la production de gaz à effet de serre.

Bien que de façon générale le pourcentage de cendre par volume soit inférieur à 10 %, il peut présenter des problèmes de gestion. On y retrouve fréquemment des résidus toxiques concentrés dont divers métaux lourds tels que le zinc, le plomb et le mercure.

9.2.2 Écosystème naturels

Les écosystèmes peuvent être perturbés, principalement lors du prélèvement de la biomasse naturelle et lors de la combustion.

Effets du prélèvement de la biomasse

Dans le cas où les résidus de l'industrie forestière ne suffiraient pas à alimenter les centrales, la coupe de forêts, de même que le prélèvement de la tourbe, entraîne des pertes directes d'écosystèmes. Par exemple, certaines méthodes de coupe nécessitent une période de transition importante avant qu'une reprise forestière naturelle ne puisse être enregistrée (environ 20 à 30 ans).

Les forêts ayant de nombreux effets climatiques, leur coupe systématique pourrait réduire le niveau de la température au sol, la capacité d'absorption de la chaleur solaire, le contrôle de la vitesse du vent, l'évapotranspiration qui augmente le niveau d'humidité de l'air et la température plus homogène sous le couvert forestier qui limite l'effet des gelées hâtives ou tardives.

Tableau 9.1 : Émissions atmosphériques estimées de CO₂, NO_x et SO₂ pour une centrale thermique utilisant divers combustibles de la biomasse

	Bois (1)	Déchets domestiques (2)	Tourbe (3)	Résidus agricoles (4) (5)
	1 TWh	1 TWh	1 TWh	1 TWh
CO ₂	(6)	25 619 t/an	(6)	(6)
NO _x	92 t/an	37 t/an	770 t/an	72 t/an
SO ₂	(7)	15 t/an	648 t/an	428 t/an

Mars 1992

-
- (1) Gikis, J. et John O. Burckle, Preliminary Environmental Assessment of Energy Conversion Process for Agricultural and Forest Product Residues, Symposium Papers : Energy from Biomass and Wastes, 1978.
- (2) Lavergne, Serge, Communication personnelle et estimation basée sur la production d'électricité du centre de valorisation énergétique de la Régie intermunicipale de gestion des déchets sur l'île de Montréal, 1991.
- (3) Monenco Maritime Ltd, Environmental Summary; Harvesting and Use of Peat as an Energy Source, N.R.C.C., Division de l'énergie, programme de la tourbe, 1986.
- (4) Énergie, Mines et Ressources Canada, Environmental Challenges Facing the Electricity Utility Industry, Environmental Effects of Utilizing Biomass Energy, 1990.
- (5) Les résidus agricoles ne comprennent que des rebuts végétaux séchés (paille, plant de maïs, etc.).
- (6) Données non disponibles.
- (7) Données non retenues en raison de leur très faible valeur.

En considérant le processus de formation des tourbières qui ne s'effectue que par le biais d'une lente accumulation de matières organiques, son prélèvement à des fins de production d'électricité peut signifier une perte définitive des habitats naturels.

Effets de la combustion

Les trois principaux effets environnementaux générés par la combustion de la biomasse et affectant les écosystèmes sont les dépôts acides et les rejets chimiques ainsi que les bioxydes de carbone qui contribuent à l'effet de serre.

Les dépôts acides affectent principalement les écosystèmes aquatiques et forestiers sensibles à toutes les modifications du pH. En raison de la rareté au Québec de sols riches en calcaire qui peuvent contrebalancer en partie l'effet des pluies acides, l'augmentation du pH des plans d'eau provoque la disparition de nombreuses espèces animales et végétales. En milieu forestier, on peut observer un dépérissement de la végétation causé par l'action directe des dépôts sur les tissus végétaux et sur les sols.

Tout comme les centrales thermiques traditionnelles, le rejet des eaux de refroidissement augmentera localement la température des eaux avec des conséquences sur la faune et la flore aquatiques et riveraines. L'augmentation de la température réduira les quantités d'oxygène dissous. De plus, l'arrêt imprévu de la centrale en hiver, provoquera la mort des poissons s'étant acclimatés à des eaux plus chaudes. Les prises d'eau sont également responsables de la capture de poissons, de larves, d'œufs et de plancton.

9.2.3 Conditions climatiques globales

La combustion de la biomasse entraîne le rejet dans l'atmosphère de CO₂ contribuant à l'augmentation de l'effet de serre. L'importance de ce gaz et la description du phénomène de l'effet de serre sont présentées à la section 5.2.3.

9.2.4 Occupation et structuration du territoire

L'utilisation de la biomasse occasionne des conflits d'utilisation du territoire à plusieurs étapes du cycle de transformation. Par exemple, pour le bois, l'entreposage en forêt, le transport et les aires prévues pour le séchage des résidus occupent de grandes superficies. Dans le cas de la tourbe, il faut aussi prévoir des espaces pour l'entreposage et le séchage. De façon générale, on devra ajouter des aires pour les bâtiments de service, des espaces administratifs et des parcs pour les véhicules et équipements. Quant à la cueillette des déchets domestiques, elle n'implique pas d'espace particulier direct puisque qu'elle fait déjà partie d'un processus établi.

La combustion des divers types de biomasse entraîne la formation de cendres qu'il faut éliminer dans des espaces prévus à cette fin. Dans le cas du bois et de la tourbe, les cendres peuvent être orientées vers les sites d'enfouissement municipaux alors que celles produites via la combustion des déchets domestiques nécessitent l'exploitation des sites spécialisés pour les déchets dangereux.

Les centrales occupent des superficies de dimensions variables. À titre d'exemple, les centres de tri et de valorisation des déchets domestiques mis de l'avant par la Régie intermunicipale de gestion des déchets sur l'île de Montréal occuperont une superficie de près de 105 000 m² dont près de 45 % seront requis pour le centre de valorisation énergétique.

9.2.5 Perceptions et changements sociaux

L'utilisation de résidus ou de déchets pour la production d'électricité est généralement bien reçue par la population. Celle-ci constate les aspects positifs associés à la réduction des espaces hypothéqués par les aires d'enfouissement, au recyclage et à la valorisation des déchets, ce qui apporte une solution écologique à la grande quantité de résidus de consommation, notamment les déchets domestiques. Cependant, consciente que l'utilisation des résidus de biomasse génère des émissions gazeuses polluantes et des cendres parfois toxiques qui ne sont pas prises en compte lorsqu'on s'attarde à considérer une seule centrale, la population pourra être sensibilisée aux effets cumulatifs pour une production annuelle d'électricité comparable à celle d'une centrale thermique classique.

9.2.6 Sécurité

À l'exception des données relevées pour l'exploitation d'une centrale thermique traditionnelle, il n'existe pas de statistiques pertinentes sur la sécurité des populations et des travailleurs.

De façon générale, les accidents sont liés à la manipulation des équipements, aux activités de chargement et au transport.

9.3 SYNTHÈSE

L'utilisation de la biomasse à des fins de production d'électricité présente des problèmes environnementaux semblables à ceux des centrales thermiques: les émissions de SO₂, NO_x et CO₂ entraînent une acidification des milieux, la contamination des sols, une modification des écosystèmes et une contribution à l'accroissement de gaz à effet de serre.

La combustion de la biomasse génère pour chaque type de centrale envisagée une charge polluante inférieure à celle des centrales thermiques traditionnelles.

Cependant la production annuelle d'électricité n'est pas de même ampleur. De plus les résidus de combustion nécessitent une gestion étroite, du fait notamment qu'ils contiennent souvent des métaux toxiques.

Dans la mesure où cette filière s'approvisionne de résidus forestiers, agricoles ou domestiques, elle présente des avantages écologiques associés à la réduction de produits polluants et à la valorisation énergétique.

L'extraction de ressources naturelles comme le bois ou la tourbe présente enfin les problèmes typiques de l'exploitation forestière ou de l'exploitation de la tourbe.

10- FILIÈRE THERMIQUE NUCLÉAIRE

L'option nucléaire est particulièrement alléchante pour des pays industrialisés qui ne disposent d'aucune ressource abondante d'énergies conventionnelles, comme les hydrocarbures, le charbon ou l'hydroélectricité. C'est le cas d'un pays comme la France qui a choisi d'investir massivement dans l'atome afin de se doter d'une certaine autonomie énergétique. Aujourd'hui, 75 % de la production électrique française provient d'un parc nucléaire qui compte une soixantaine de réacteurs. En Belgique, cette proportion est de 60 % et en Allemagne de 33 %. Le nucléaire fournit également environ le quart de l'électricité consommée au Japon, au Royaume-Uni et en Espagne. En Belgique, cette proportion est de 61% alors qu'elle est de 45% en Suède, de 41% en Suisse, de 38% en Espagne, de 34% en Allemagne, de 28% au Japon, de 22% au Royaume-Uni, de 19% aux États-Unis etc.

Au Canada, l'Ontario qui ne dispose que de ressources limitées en hydroélectricité, a choisi d'asseoir son développement économique et industriel sur la technologie nucléaire. Les 16 réacteurs nucléaires d'Ontario Hydro fournissent actuellement la moitié de l'électricité consommée dans cette province, une proportion qui augmentera encore avec la mise en service de quatre nouveaux réacteurs d'ici 1993. Le parc nucléaire d'Ontario Hydro, regroupé dans trois centrales différentes, aura alors une puissance combinée de près de 15 000 MW électriques.

Au cours des 40 dernières années, le Canada a développé sa propre filière nucléaire qui repose sur l'utilisation d'uranium naturel (non enrichi en isotopes fissionables) comme combustible et de l'eau lourde (eau contenant un isotope lourd de l'hydrogène) comme milieu de ralentissement des neutrons et de transport de la chaleur. Ces réacteurs sont disponibles avec des puissances électriques allant de 400 à 1 100 MW. Les réacteurs CANDU se placent au titre de son efficacité, en tête de liste des différentes filières nucléaires développées dans le monde.¹

Avec une production globale de 3 524 MW, à partir de quatre réacteurs, la nouvelle centrale de Darlington en Ontario constitue sans doute un bon équivalent de ce qui pourrait être une alternative nucléaire à un complexe hydroélectrique comme celui de Grande Baleine.

10.1 DESCRIPTION TECHNIQUE

Une centrale nucléaire est essentiellement conçue selon le même principe de base qu'une centrale thermique classique (figure 10.1). La différence essentielle tient au fait que la source de chaleur n'est plus une chaudière à combustion mais plutôt un réacteur nucléaire. La partie turbo-alternateur de la centrale, incluant le système

¹ World Nuclear Industry Handbook 1991.

de condensation reste la même pour toutes les centrales utilisant le cycle de la vapeur.

La chaleur produite dans un réacteur nucléaire provient de la fission d'atomes lourds d'uranium qui se brisent en atomes plus petits après avoir absorbé un neutron. En plus de dégager de la chaleur, chaque fission libère d'autres neutrons qui produiront à leur tour d'autres fissions. Cette réaction en chaîne doit être soigneusement maintenue et contrôlée afin de permettre au combustible nucléaire de libérer son énergie thermique de façon stable et ininterrompue.

10.2 ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

Même si elle ne constitue pas une source directe de pollution, la filière nucléaire est vue par une grande partie de l'opinion publique comme étant problématique sur le plan environnemental, notamment à cause des problèmes posés par la gestion de son combustible usé et des risques associés à l'exploitation des centrales.

10.2.1 Qualité de l'eau, de l'air et du sol

Les infrastructures de production d'énergie nucléaire génèrent peu de polluants chimiques dans l'environnement, si ce n'est l'émission occasionnelle de faibles quantités de sulfure d'hydrogène (H₂S) et de bioxyde de soufre (SO₂) associés à la production d'eau lourde. Les polluants résultant de l'exploitation des mines d'uranium (métaux lourds et produits acides) et au raffinage du métal sont typiques de l'industrie minière et sont gérés à l'intérieur des normes environnementales de cette industrie.

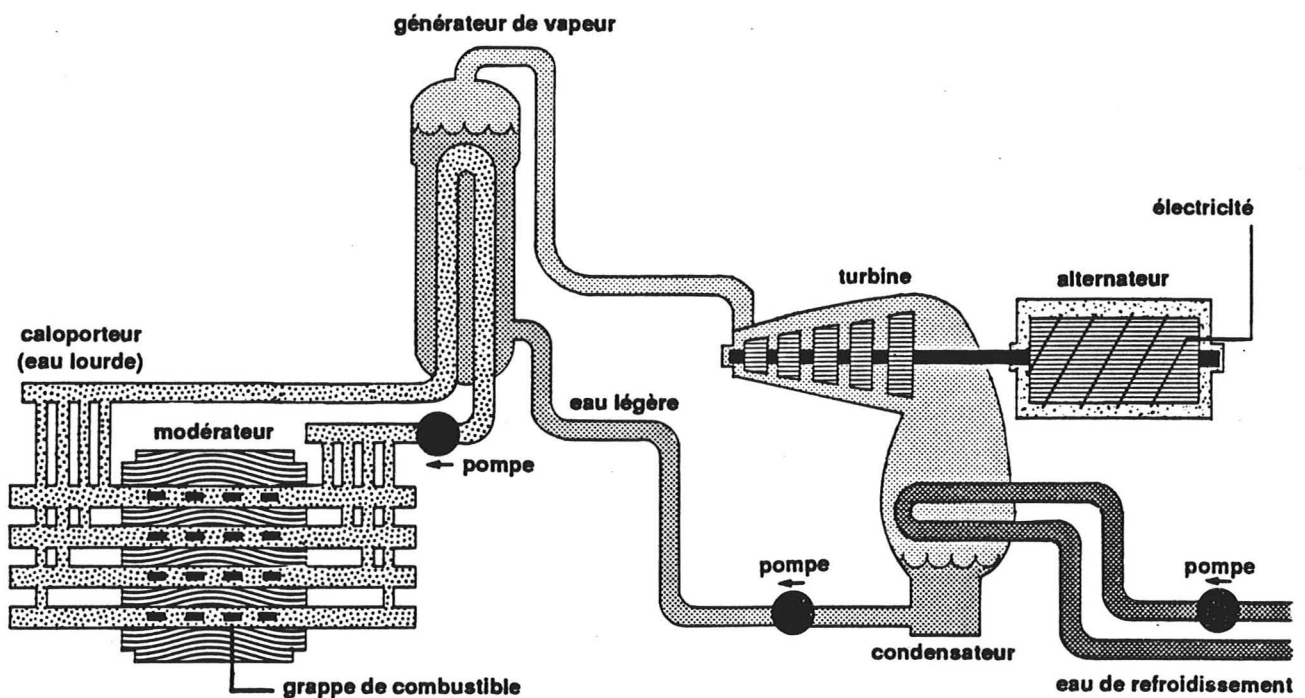
C'est sans doute au niveau de la dissémination possible de radioéléments que la technologie nucléaire pose un problème particulier. L'émission de rayonnement ionisant (radioactivité) est susceptible d'endommager les tissus vivants ou encore de provoquer des mutations génétiques qui peuvent avoir un effet à moyen ou à long terme sur le sujet touché ou sur ses descendants. Comme c'est le cas pour la plupart des contaminants, certains isotopes radioactifs peuvent donner lieu à un phénomène de concentration via la chaîne alimentaire. La radioactivité fait cependant appel à des phénomènes physiques qui sont très bien connus et est très facilement détectable, même à des niveaux infimes.

La gestion du matériel radioactif fait l'objet de réglementations nationales et internationales très détaillées. Au Canada, la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) a la responsabilité de réglementer tous les aspects de l'utilisation d'éléments radioactifs et de l'énergie nucléaire, incluant la santé, la sécurité et les impacts environnementaux. La CCEA définit les normes d'exploitation des installations nucléaires et émet les permis requis.

Figure 10.1 Centrale nucléaire

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La fission d'atomes d'uranium 235 produit de la chaleur qui transforme l'eau en vapeur. Cette vapeur sous pression actionne une turbine qui fait tourner un alternateur. La vapeur se condense et retourne aux générateurs de vapeur, puis le cycle recommence.



A l'heure actuelle, la dose maximale admissible de rayonnement ionisant pour le grand public est établie à 5 mSv/an,¹ soit un peu moins du double de la dose reçue à partir de l'environnement naturel. L'industrie nucléaire s'est cependant donné comme objectif de respecter un niveau de contamination 100 fois plus faible. Au Canada, l'exposition annuelle correspondant au fait de vivre à proximité d'une centrale nucléaire s'établit à 0,05 mSv, par rapport à une exposition associée aux sources naturelles de 2,2 mSv et aux sources médicales de 1 mSv.

L'extraction et la production du combustible nucléaire libèrent dans l'environnement de quatre à cinq fois moins de radioactivité que son utilisation même dans le réacteur.² Il s'agit surtout de traces de radium, de radon-226 et de thorium-230 qui sont diluées dans l'environnement.

En fonctionnement normal, une centrale nucléaire ne libère dans l'atmosphère que des quantités extrêmement faibles d'éléments radioactifs. Ces principaux éléments gazeux sont l'argon-41 et le xénon-133 et -135 ainsi que le tritium pour les réacteurs canadiens. Chacun de ces éléments radioactifs peut présenter un danger pour la santé humaine s'il se retrouve en concentration trop forte dans l'environnement naturel.

Quant à l'eau de refroidissement de la centrale, elle ne reçoit, outre sa charge thermique, aucune pollution biologique ou chimique significative. En terme de pollution radioactive de l'eau, qui est également non significative, les principaux éléments en cause sont le cobalt-60, le césium-134 et -137 et le tritium. Encore une fois, il est essentiel de maintenir la concentration de ces produits à des niveaux très faibles, car ils peuvent menacer directement la santé des populations qui seraient exposées à de plus fortes doses.

Gestion des déchets nucléaires

Compte tenu de la puissance relative de l'énergie nucléaire, cette option énergétique produit un volume relativement faible de déchets. En fonctionnement normal, un réacteur de 600 MW comme celui de Gentilly 2 produit environ 80 tonnes de combustible usé par année. Pour produire une même quantité d'électricité, une centrale thermique au charbon accumulera plus de deux millions de tonnes de cendres contaminées.

Le combustible usé qui est retiré des réacteurs nucléaires est hautement radioactif et présente deux types de danger pour l'environnement. A court terme, le rayonnement radioactif émis directement par le combustible est suffisamment

¹ Un mSv, ou millisievert est égal à 0,1 Rem.

² Essam El-Hinnawi (ed.), Nuclear Energy and the Environment, United Nations Environment Programme, 1980.

intense pour provoquer la mort instantanée de toute créature vivante qui y serait directement exposée. A plus long terme (500 ans et plus), le risque associé aux déchets nucléaires découle surtout de la possibilité de voir certains éléments radioactifs qui y sont contenus se retrouver dans l'environnement naturel et atteindre les populations via la chaîne alimentaire ou l'eau potable.

La radioactivité globale du combustible nucléaire utilisé décroît dans le temps de façon exponentielle. La «demi-vie» de certains groupes d'éléments peut varier d'une fraction de seconde à quelques jours alors que d'autres demeureront radioactifs pendant plusieurs milliers d'années. Après 500 ans, la radioactivité est devenue très faible et ne nécessite plus de blindage. Après 10 000 ans, elle est retombée au niveau de celle du minerai d'uranium à l'état naturel.

Le scénario actuellement retenu au Canada consiste à conserver le combustible utilisé sur le site même de la centrale pour un certain nombre d'années avant de l'entreposer définitivement dans des formations géologiques stables (plutons granitiques) à 500 ou 1 000 mètres de profondeur. Un seul site d'entreposage de 2 km par 2 km serait suffisant pour accueillir 200 000 tonnes de combustible utilisé, soit l'équivalent de la quantité de déchets résultant de 100 ans d'exploitation des vingt réacteurs actuellement en service au Canada.

Le programme canadien de gestion des déchets comporte une analyse de risque détaillée basée sur des modèles de prédiction qui s'étendent sur une période de 10 000 ans. Cette analyse doit garantir un niveau de risque inférieur à 2,5 % de celui qui résulte des radiations normalement présentes dans l'environnement. Une fois qu'il aura été défini en détail, le programme de gestion du combustible utilisé proposé par l'Énergie atomique du Canada devra faire l'objet d'un examen environnemental fédéral (PEEE).

Le transport du matériel hautement radioactif, comme le combustible utilisé, se fait à l'intérieur de châssis de transport blindés et hermétiques spécialement conçus à cet effet et via les réseaux de transports courants. Ce transport se fait selon les normes de sécurité nationales et internationales et ne semble pas présenter de risque environnemental spécifique en terme de fuites de radioactivité.

Déclassement des centrales

Le déclassement des réacteurs nucléaires viendra augmenter le volume de déchets radioactifs à éliminer. Les réacteurs Candu actuels sont conçus pour une vie utile de 30 à 40 ans. Le déclassement d'une centrale se fait plusieurs années après son arrêt définitif.

10.2.2 Écosystèmes naturels

Les rejets thermiques des centrales nucléaires constituent l'élément essentiel de leur impact sur les écosystèmes naturels. L'efficacité thermique des centrales nucléaires dépasse à peine les 30 %, ce qui veut dire que pour chaque mégawatt

d'énergie électrique produite, plus de deux mégawatts de chaleur sont perdus dans le système de condensation des turbines à vapeur et donc relâchés dans l'environnement. Les centrales thermiques nucléaires opèrent à des conditions de température et de pression nettement inférieures à celles des centrales thermiques à vapeur conventionnelles. C'est pour cette raison que pour une même quantité d'énergie électrique, les centrales nucléaires libèrent environ 60 % plus de chaleur dans leurs effluents que les centrales thermiques à combustibles fossiles.¹

En s'en tenant à un gain de température maximal de 10°C, le système de condensation des turbines à vapeur d'une centrale nucléaire nécessitera environ 50 mètres cubes d'eau de refroidissement par seconde pour chaque tranche de 1 000 MW. A titre d'exemple, notons que la centrale nucléaire de Gentilly 2 (685 MW) utilise 26 mètres cubes par seconde d'eau du Saint-Laurent pour son refroidissement. Le débit total du fleuve à cet endroit est au minimum de 6 500 mètres cubes par seconde, soit environ 300 fois les besoins de la centrale. Cette situation est donc très différente de ce qui s'observe dans certaines centrales étrangères où le volume d'eau de refroidissement peut se situer entre 25 et 50 % du débit total d'un cours d'eau.²

Compte tenu de la forte dilution des eaux de rejet, l'impact thermique des centrales nucléaires est essentiellement local. Règle générale, l'écart de température en surface n'est plus que de quelques degrés après 1 km de parcours. Il importe cependant de bien diffuser l'eau de retour afin de minimiser l'impact thermique sur la faune et la flore aquatiques.

L'impact du rejet thermique sur l'écosystème aquatique dépend des caractéristiques des environnements affectés. Il n'est cependant pas clairement établi que cet impact puisse être spécifiquement négatif. Au contraire, on a même observé une augmentation de la population et du nombre d'espèces de poissons à la décharge de la centrale nucléaire ontarienne de Pickering.³ En hiver, les diminutions brusques de température de l'eau, lors d'un arrêt de la centrale, peuvent cependant occasionner le décès de poissons qui se sont acclimatés aux températures plus élevées de la zone de diffusion des eaux de rejet.⁴

L'amenée d'eau d'une centrale nucléaire peut également éliminer par capture un volume non négligeable de poissons, de larves et d'oeufs de poisson. L'installation de filtres ainsi que l'utilisation d'une prise d'eau submergée peuvent minimiser ce problème.

¹ Eichhoez, Geoffrey G., Environmental aspects of nuclear power. Georgia Institute of Technology, 1976, p. 209.

² Oslo Symposium, Environmental effects of cooling system at nuclear power plants, 1975.

³ IBID.

⁴ IBID.

Il est également à prévoir que la plus grande partie du plancton présent dans l'eau de refroidissement sera tuée lors du passage dans le condenseur de la turbine à vapeur et dans le canal de sortie. Il s'agit cependant là d'un phénomène marginal par rapport au débit total d'un cours d'eau comme le Saint-Laurent.

10.2.3 Conditions atmosphériques globales

Contrairement aux centrales thermiques à combustible fossile, les centrales nucléaires ne libèrent aucun gaz associés à l'effet de serre ou aux pluies acides et ne présente pas d'impact potentiel sur les conditions atmosphériques planétaires ou même régionales.

10.2.4 Occupation et structuration du territoire

Mines d'uranium

Compte tenu de la forte densité en énergie de l'uranium (1 kg d'uranium naturel peut fournir autant d'énergie que 20 tonnes de charbon), l'exploitation du combustible nucléaire a relativement moins d'impact sur la surface terrestre que celle du charbon. On évalue que la quantité de matière déplacée et l'utilisation du sol associées à l'énergie nucléaire représentent de 10 à 15 % de ce que la filière thermique au charbon nécessite.¹

On estime que l'extraction de l'uranium nécessaire à l'alimentation annuelle d'une centrale nucléaire de 1 000 MW se situe à environ 300 000 tonnes² de minerais à une concentration moyenne de 0,1 %. La concentration en uranium des gisements canadiens est cependant plus forte que cette moyenne internationale (12 % à Cigar Lake) et implique donc moins de résidus miniers.

Le Canada étant le plus important producteur et exportateur d'uranium au monde, avec 85 % de sa production exportée³ et 35 % du marché mondial, il n'y a pas lieu de croire que l'installation de centrales nucléaires au Québec aurait un impact notable sur l'activité minière canadienne dans ce domaine.

¹ APCA International Specialty Conference, Environmental challenges in energy utilisation during the 1990's, University of Toledo, 1990, p.2.

² Essam El-Hinnawi (ed.), Nuclear Energy and the Environment, United Nations Environment Programme, 1980, p.11.

³ Energy, Mines and Resources, A design components and services industry for solar and wind energy in Canada, 1985, p. G-4.

Compte tenu des faibles volumes en cause, le transport du combustible nucléaire et des déchets nucléaires ne fait appel à aucune infrastructure particulière et ne présente aucun impact spécifique sur l'occupation et la structuration du territoire.

Centrales

Les centrales nucléaires sont des installations de production d'énergie très compactes. La centrale nucléaire de Pickering, en Ontario, qui produit plus de 4 000 MW à partir de 8 réacteurs nucléaires, n'occupe par exemple que 4 km² de territoire. En terme d'occupation de terrain, ces équipements se situent donc dans la même catégorie que les grands complexes industriels.

Les centrales nucléaires peuvent également être placées tout près des centres de consommation, ce qui réduit directement l'encombrement du territoire causé par les réseaux de transport. Situées respectivement à 32 et à 60 km à l'est du centre ville de Toronto, les deux centrales de Pickering et Darlington produisent 7 500 MW aux portes d'un important centre de consommation. Au Québec, la mise en place de centrales nucléaires ne nécessiterait aucun ajout majeur au réseau de transport d'électricité déjà en place.

10.2.5 Perception et changements sociaux

Il existe en effet un écart indéniable entre le risque quantitatif calculé par les scientifiques et le risque perçu par le grand public. Ceci est particulièrement vrai en ce qui concerne l'énergie nucléaire dont les analyses de risque sont perçues avec scepticisme par le grand public. L'énergie nucléaire fait effectivement appel à un ensemble technologique complexe qui repose sur des notions scientifiques fondamentales que ne possède pas la majorité des gens. Le fait que la puissance nucléaire ait d'abord été associée aux armements atomiques n'est sans doute pas étranger à la suspicion qui entoure encore l'énergie nucléaire.

Que ce soit au niveau des risques d'accidents nucléaires graves ou du risque associé à la gestion du combustible usé, la perception publique reste plutôt mitigée face à l'énergie nucléaire. Un sondage pan-canadien réalisé en 1988 montrait que 51 % des Canadiens étaient favorables à l'énergie nucléaire. Au Québec, cette proportion n'était cependant que de 39 %.¹

Dans de nombreux pays, le nucléaire est l'objet ou a été l'objet de vives polémiques. Selon la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (1988), trois positions se dégagent :

- ceux qui continuent de s'opposer au nucléaire et qui choisissent de développer les autres sources d'énergie ;

¹ Canadian Electrical Power Industry, Power to choose : Canada's energy options, 1988.

- ceux qui voient dans la capacité nucléaire actuelle une nécessité pendant une période de transition limitée en attendant une solution de rechange plus sécuritaire ;
- ceux qui optent résolument pour le nucléaire, persuadés que l'on peut - que l'on doit - résoudre les problèmes et risques et que l'on peut garantir une sécurité acceptable à l'échelle nationale comme à l'échelle internationale.

10.2.6. Sécurité

Les réacteurs nucléaires modernes sont conçus pour limiter à une chance sur un million par année, le risque d'un accident fatal pour les populations les plus exposées et à une chance sur 100 000 par année pour les employés d'une centrale.¹ La probabilité de ce type d'accident est cependant difficile à établir puisqu'elle est liée autant à des facteurs technologiques qu'humains. Il semble cependant démontré que les risques associés à l'énergie nucléaire sont négligeables par rapport aux autres risques de la vie quotidienne et que ces risques sont nettement moins importants que ceux associés à l'exploitation de centrales thermiques alimentées au pétrole ou au charbon.² Selon l'Association médicale américaine, une analyse globale des risques associés aux différentes filiales thermiques de production d'électricité permet de conclure que l'énergie nucléaire est, avec le gaz naturel, la filière énergétique qui représente le moins de risque, aussi bien pour les travailleurs de l'industrie que pour le grand public.³

Deux accidents majeurs ont marqué l'histoire récente de l'énergie nucléaire : Three Mile Island, le 28 mars 1979 et Tchernobyl, le 26 avril 1986. L'accident de Three Mile Island, qui n'a fait aucune victime, se situe à l'intérieur de l'enveloppe de risque prévue pour les centrales modernes. Celui de Tchernobyl, qui a fait instantanément au moins une trentaine de morts, est survenu dans un réacteur désuet ne respectant pas les critères modernes de sécurité.

La perte de refroidissement constitue le pire scénario d'accident. Cette perte de refroidissement produit une surchauffe rapide du coeur du réacteur qui peut fondre en libérant une partie de son matériel radioactif. Lorsqu'il n'y a pas d'enceinte de confinement, comme à Tchernobyl, cette matière radioactive peut être libérée dans l'environnement. Tous les réacteurs construits récemment, comme celui de Three Mile Island, possèdent cependant une enceinte de confinement en béton capable d'isoler parfaitement le réacteur de son milieu environnant. Grâce à cette enceinte de confinement, les conséquences

¹ Conférence mondiale de l'énergie, Environmental assessments, air, water, land, Session 2,2,5, 14e congrès, Montréal, 1989, p. 8.

² IBID, p.12.

³ American Medical Association, Council on Science Affairs, Health evaluation of energy generating sources, dans, Journal of the American Medical Association, 240; 2 193, 1978, p.8-69.

environnementales de l'accident de Three Mile Island ont été négligeables pour les populations environnantes.⁴

La perte financière causée par la destruction du réacteur et les frais de décontamination (2 milliards \$ à Three Mile Island) font cependant de ce type d'accident une véritable catastrophe économique.

A plus long terme, le recours à des réacteurs "à sécurité inhérente" est envisagé. Le concept même de ces réacteurs élimine toute possibilité de surchauffe, même en cas de perte complète des circuits de refroidissement.

10.3 SYNTHÈSE

Contrairement aux centrales thermiques à combustibles fossiles, les centrales nucléaires ne libèrent aucun gaz associé à l'effet de serre ou aux pluies acides et ne présentent pas d'impact potentiel sur les conditions atmosphériques planétaires ou même régionales. Même si elle ne constitue pas une source directe de pollution, la filière nucléaire est vue par une grande partie de l'opinion publique comme étant problématique sur le plan environnemental, notamment à cause des problèmes posés par la gestion de son combustible usé et des risques associés aux accidents nucléaires.

En fonctionnement normal, une centrale nucléaire ne libère dans l'atmosphère que des quantités extrêmement faibles d'éléments radioactifs. Chacun de ces éléments radioactifs peut présenter un danger pour la santé humaine s'il se retrouve en concentration trop forte dans l'environnement naturel. Le combustible usé qui est retiré des réacteurs nucléaires est hautement radioactif et présente également un danger potentiel pour l'environnement.

Les rejets thermiques des centrales nucléaires constituent l'élément essentiel de leur impact sur les écosystèmes naturels. Compte tenu de la forte dilution des eaux de rejet, l'impact thermique des centrales nucléaires est essentiellement local et n'est pas très différent de celui des centrales thermiques classiques.

Même si les études probabilistes et statistiques tendent à montrer que l'énergie nucléaire est une des filières énergétiques qui représentent le moins de risque, aussi bien pour les travailleurs de l'industrie que pour le grand public, l'opinion publique reste très sceptique face aux mérites de cette technologie.

11- BILAN

Les chapitres précédents ont permis de colliger, de façon synthétique, les caractéristiques techniques et environnementales les plus significatives de chacune des huit filières de production d'électricité pouvant théoriquement répondre à la croissance prévue d'électricité.

Le présent chapitre résume l'ensemble de ces données sous deux volets spécifiques : le volet technique et le volet environnemental.

En ce qui concerne le volet technique, le tableau 11.1 identifie, pour les installations typiques de chaque filière prises à titre de référence, la capacité de chacune de répondre aux besoins de la société québécoise. Il situe également le potentiel de chaque filière en regard du principe du développement durable en mentionnant la quantité d'intrants énergétiques annuels nécessaires pour alimenter chaque équipement typique sélectionné et en établissant, dans le cas des ressources non renouvelables, la nature de la disponibilité à long terme.

Quant à la grille de référence environnementale (tableau 11.2), elle résume les différentes problématiques documentées dans les chapitres précédents. Seules les considérations environnementales les plus significatives y sont mentionnées.

11.1 PRINCIPAUX CRITÈRES TECHNIQUES

Toutes les filières analysées précédemment ont la capacité de produire une quantité significative d'électricité et de contribuer ainsi à maintenir un équilibre entre l'offre et la demande d'énergie électrique. Le tableau 11.1 résume les paramètres d'implantation typiques de chacune des filières étudiées. On constate que, même pour les filières majeures courantes, il faut au moins une dizaine d'implantations de ce type pour répondre à la croissance de demande anticipée de 2 % par année d'ici l'an 2006.

En regard du développement durable, on doit se préoccuper, en sus des conséquences environnementales directes de la production d'électricité, des conséquences à long terme des différentes filières sur la capacité des générations futures à répondre à leurs besoins essentiels. Sur le plan technique, rien ne semble vouloir limiter l'ampleur des équipements de production de type thermique ou nucléaire qui pourraient être mis en service au cours des prochaines années. Pour ces filières, les limites sont liées à la disponibilité à long terme de leurs intrants énergétiques (hydrocarbures, charbon et uranium) et aux conséquences globales liés à l'accumulation de leurs résidus ainsi qu'aux modifications des conditions atmosphériques planétaires.

Pour ce qui est des énergies renouvelables (biomasse, eau, vent et soleil), les limites prennent une autre forme. Même si ces sources d'énergie connaissent peu de restrictions dans le temps, c'est en terme de capacité totale de production qu'elles sont limitées. Il existe en effet un nombre fini de sites hydrauliques qu'on peut raisonnablement aménager. Le volume de déchets domestiques pouvant être

valorisé énergétiquement est également limité, tout comme l'est le volume de biomasse qui peut être exploité sans menacer la capacité de renouvellement de nos forêts. Pour les énergies solaires et éoliennes, les limites sont actuellement davantage de nature économique et technique. A plus long terme, ces filières énergétiques feront également face à des limites liées à la superficie de terrain qu'elles requièrent et aux impacts environnementaux qu'elles peuvent entraîner lorsqu'elles sont employées massivement.

11.2 PROBLÉMATIQUE ENVIRONNEMENTALE DES FILIÈRES

Toutes les filières de production d'électricité, à l'instar de toute autre forme d'exploitation du milieu, ont des impacts sur l'environnement.

Dans le cas des filières thermiques conventionnelles, les principaux problèmes mis en lumière sont la pollution du milieu et les modifications des conditions atmosphériques globales, sans compter l'utilisation de ressources non renouvelables.

Les centrales thermiques nucléaires génèrent, pour leur part, beaucoup moins de problèmes directs de pollution mais elles suscitent néanmoins plusieurs préoccupations liées à la dissémination accidentelle de radioéléments.

Les centrales thermiques à biomasse quant à elles permettent de solutionner certains problèmes associés à la gestion des déchets, urbains ou autres, tout en ayant cependant les inconvénients typiques des centrales thermiques conventionnelles. De plus, ces centrales ne peuvent produire que des puissances relativement faibles.

L'hydroélectricité n'entraîne aucune pollution significative du milieu mais elle conduit à des modifications sensibles des écosystèmes naturels. Considérant les superficies importantes du territoire qu'elle touche, elle a d'autre part une incidence marquée sur l'occupation et la structuration du territoire ainsi que sur le mode de vie des populations directement affectées.

A l'instar des installations hydroélectriques, les filières solaires et éoliennes s'appuient sur une ressource renouvelable et n'entraînent aucune pollution significative. Elles ont des incidences plus négligeables sur les écosystèmes naturels mais sensiblement comparables au titre de l'occupation et de la structuration du territoire. De plus, les filières solaires et éoliennes doivent compter sur un complément énergétique pour combler les absences de production en période de pointe. Généralement, les centrales thermiques conventionnelles servent à combler les absences de production.

Le tableau 11.2 résume la problématique environnementale de chaque filière retenue pour analyse. On trouvera une description sommaire de ces problématiques dans les sections suivantes.

11.2.1 Filière thermique à gaz

La combustion dans les centrales au gaz contribue à l'augmentation de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre. C'est une filière qui ne rejette que des traces de composés soufrés dans l'atmosphère et son incidence sur l'acidification de l'environnement est en conséquence assez faible. Le principal problème environnemental du gaz réside dans les émissions de SO₂ et de méthane lors de l'extraction et dans les risques de feux et d'explosions associés au transport et à la manipulation du combustible. De tels risques peuvent affecter directement la sécurité de la population et entraîner des émissions de méthane qui est un gaz à effet de serre.

11.2.2 Filière thermique au pétrole

En sus de l'émission de gaz à effet de serre, la combustion de pétrole dans les centrales thermiques entraîne le rejet dans l'atmosphère d'oxydes de soufre et d'oxydes d'azote responsables de l'acidification du milieu. De tels oxydes sont également émis lors de l'extraction et du raffinage du pétrole. A l'instar du gaz, le pétrole présente des risques de feux et d'explosions aux diverses étapes du cycle du combustible. S'y ajoutent les risques de déversement lors du transport. Dépendant de leur importance et de leur localisation, de tels déversements peuvent polluer de façon significative l'environnement, notamment les milieux aquatiques et riverains.

11.2.3 Filière thermique au charbon

Lors de sa combustion, le charbon émet des gaz à effet de serre ainsi que des oxydes de soufre et d'azote qui sont environ du tiers plus importants que les émissions atmosphériques associées au pétrole. S'y ajoute une quantité importante de cendres volatiles qui renferment certaines substances néfastes pour la santé comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et divers métaux toxiques (mercure, arsenic, cadmium, chrome, nickel, plomb). La filière du charbon pose également des problèmes environnementaux à l'amont et à l'aval de la combustion comme telle. Dans le premier cas, on doit plus particulièrement noter les vastes superficies occupées par les mines ainsi que la pollution de l'air apportée par les poussières émises lors de l'affinage du combustible, de son transport et de son entreposage. Dans le deuxième cas, on réfère à la gestion de quantités importantes de déchets solides (les cendres et le mâchefer) qui doivent être confinées dans des sites appropriés.

11.2.4 Filière thermique à biomasse

Dans le mesure où elle s'appuie sur l'utilisation massive de ressources renouvelables (bois) ou non (tourbe), la filière thermique à biomasse présente les

risques environnementaux classiques de l'exploitation des ressources : destruction ou perturbation des écosystèmes naturels, dégradation des sols, diminution du rôle de la végétation dans l'absorption du CO₂, etc. Plus souvent cependant, cette filière s'appuie sur la combustion de déchets ou résidus et elle présente en cela un avantage environnemental au titre notamment de la réduction de la quantité des déchets solides. Un tel bilan positif peut toutefois être atténué si la filière suscite la récupération de résidus qui sont normalement utiles à la régénération des sites perturbés (ex. cueillette en forêt de l'écorce et des branches).

Lors de sa combustion, la biomasse donne lieu à l'émission de monoxyde de carbone, plus que dans le cas du charbon, mais elle émet moins de CO₂. Des oxydes d'azote et de soufre, responsables de l'acidification du milieu, sont également émis, ainsi que des particules. Ces derniers, ajoutés aux cendres, entraînent la production de quantités appréciables de déchets solides. Dans le cas du bois, la gestion de ces cendres pose moins de difficulté que pour les cendres de charbon car on y retrouve moins de traces de substances toxiques. Dans le cas des déchets urbains, les cendres produites contiennent davantage de métaux toxiques que celles des centrales au charbon.

11.2.5 Filière thermique nucléaire

Contrairement aux centrales thermiques à combustibles fossiles, les centrales nucléaires ne libèrent aucun gaz associé à l'effet de serre ou aux pluies acides et ne présentent pas d'impact potentiel sur les conditions atmosphériques planétaires ou même régionales. Même si elle ne constitue pas une source directe de pollution, la filière nucléaire est vue par une grande partie de l'opinion publique comme étant problématique sur le plan environnemental, notamment à cause des problèmes posés par la gestion de son combustible usé et des risques associés aux accidents nucléaires.

En fonctionnement normal, une centrale nucléaire ne libère dans l'atmosphère que des quantités extrêmement faibles d'éléments radioactifs. Chacun de ces éléments radioactifs peut présenter un danger pour la santé humaine s'il se retrouve en concentration trop forte dans l'environnement naturel. Le combustible usé qui est retiré des réacteurs nucléaires est hautement radioactif et présente également un danger potentiel pour l'environnement.

Les rejets thermiques des centrales nucléaires constituent l'élément essentiel de leur impact sur les écosystèmes naturels. Compte tenu de la forte dilution des eaux de rejet, l'impact thermique des centrales nucléaires est essentiellement local et n'est pas très différent de celui des centrales thermiques classiques.

Même si les études probabilistes et statistiques tendent à montrer que l'énergie nucléaire est une des filières énergétiques qui représentent le moins de risque, aussi bien pour les travailleurs de l'industrie que pour le grand public, l'opinion publique reste très sceptique face aux mérites de cette technologie.

11.2.6 Filière hydroélectrique

Sous réserve de l'émission de faibles quantités de bioxyde de carbone et de traces de méthane, les aménagements hydroélectriques ne génèrent aucune pollution du milieu.

Dans un très grand nombre de cas, la création de vastes réservoirs amènent la destruction, par ennoïement, de divers écosystèmes terrestres et riverains entraînant cependant la création de nouveaux habitats aquatiques ainsi que des dérangements à l'occupation et à la structuration du territoire. La gestion des réservoirs et le fonctionnement des centrales entraînent également de nombreuses perturbations aux écosystèmes aquatiques et riverains qui connaissent de nouvelles conditions de débit, de vitesse et de température. Dépendant des caractéristiques du milieu et des modalités de gestion des ouvrages, ces habitats sont productifs et se prêtent à une utilisation polyvalente.

Considérant leur localisation généralement éloignée des centres de consommation, les grands complexes hydroélectriques nécessitent souvent l'aménagement d'infrastructures d'accueil et d'accès qui entraînent des modifications du développement des régions concernées ainsi que divers changements sociaux. De plus, ils exigent l'installation d'un important réseau de transport de l'électricité qui occasionne des impacts variés sur l'environnement.

Considérées individuellement, les petites centrales génèrent dans leur milieu récepteur des impacts environnementaux comparables, mais beaucoup moins importants que les moyens et grands projets hydroélectriques. Par contre, leurs impacts sur une base cumulative, pourraient avoir des effets sur l'environnement plus élevés qu'un complexe hydroélectrique unique.

Les centrales au fil de l'eau, pour leur part, génèrent habituellement moins d'impacts sur les écosystèmes terrestres que les ouvrages hydroélectriques avec réservoirs, étant donné qu'ils inondent des superficies beaucoup moins importantes. Toutefois, l'aménagement de telles centrales réduit significativement le potentiel énergétique qu'on peut retirer des rivières. De plus, ce type de centrale ne permet pas de s'adapter aux fluctuations de la demande énergétique au cours d'une année.

11.2.7 Filière éolienne

La production d'électricité à partir de la filière éolienne ne s'accompagne d'aucune pollution qui puisse diminuer la qualité de l'air, de l'eau ou du sol. Ces équipements occasionnent cependant des changements mineurs des conditions de vent, de température et d'humidité dans la région qui se situe directement à leur pourtour. Ces changements sont cependant minimes et ne semblent pas de nature à affecter la faune ou la flore occupant cette zone.

Il s'agit d'équipements qui sont susceptibles d'occuper une grande superficie de territoire. Contrairement aux champs de capteurs solaires qui sont beaucoup plus

exclusifs quant à l'utilisation du sol, le territoire équipé en éoliennes reste utilisable pour un certain nombre d'autres fonctions, comme par exemple l'agriculture.

On reproche aux éoliennes le bruit qu'elles produisent de même que les interférences qu'elles provoquent parfois dans la réception des signaux de radio, de télévision ou de radar. Mais c'est sans doute sur le plan esthétique que l'implantation d'équipements éoliens peut soulever le plus de résistance.

11.2.8 Filières solaires

Les filières solaires ne présentent pas d'inconvénients environnementaux majeurs. Elles ne produisent directement aucune pollution atmosphérique, terrestre ou aquatique et sont relativement bien acceptées par la population.

L'absorption d'une grande quantité d'énergie thermique solaire et sa transformation en électricité peut changer les conditions thermiques qui prévalent naturellement sur le site aménagé. Cet impact dépend de la superficie aménagée et de l'efficacité des capteurs utilisés.

L'énergie solaire étant une forme d'énergie très diluée, elle nécessite l'aménagement de très grandes surfaces pour arriver à produire une quantité appréciable d'énergie électrique. Cette filière permet cependant une plus grande liberté de localisation que la filière hydroélectrique ou même éolienne.

11.3 CONCLUSION

L'analyse environnementale des filières de production d'électricité a permis de mettre en relief les principales caractéristiques techniques et environnementales des diverses technologies permettant de répondre à la demande anticipée. Dans le contexte d'un "débat de société" sur les divers moyens de production à privilégier, cette analyse indique les principales conséquences du choix de telle ou telle filière. Le recours massif à l'une ou à l'autre des filières implique des défis environnementaux à relever. La nature et les conséquences de ces défis varient cependant selon : l'utilisation rationnelle des ressources renouvelables et non renouvelables, la préservation des grands équilibres de la biosphère, la limitation de l'accumulation de divers résidus polluants, la prise en compte de l'effet cumulatif des impacts irréversibles, etc.

A l'horizon de l'an 2000, les grands enjeux environnementaux ne se limitent plus en effet aux seuls problèmes de pollution mais se définissent davantage en terme de développement durable. Le défi du développement durable, tel que formulé par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (commission Brundtland), consiste à répondre adéquatement aux besoins actuels de la planète sans compromettre la capacité des générations futures de répondre à leurs besoins. Cette même commission recommandait donc de privilégier avant tout les sources d'énergie qui sont renouvelables et qui peuvent ainsi répondre aux besoins d'aujourd'hui sans compromettre ceux de demain.

Depuis quelques années, certains grands enjeux environnementaux sont également apparus au niveau des conditions atmosphériques planétaires. Qu'il s'agisse de la destruction de la couche d'ozone ou de l'accumulation de gaz à effet de serre dans la haute atmosphère, il s'agit là de problèmes majeurs qui menacent l'intégrité fondamentale de l'écosystème planétaire. Ces grands enjeux environnementaux sont devenus des préoccupations prioritaires de l'ensemble de la planète et ont donné lieu à des conventions internationales visant à freiner et idéalement à inverser ces phénomènes de pollution globale.

A cet égard, la communauté scientifique internationale s'entend pour dire que la production d'électricité à partir de combustibles fossiles, qui compte déjà pour près du tiers de la libération de gaz à effet de serre, doit être limitée au minimum lorsqu'une autre solution s'offre comme alternative.

A l'heure actuelle, l'énergie nucléaire et l'hydroélectricité sont les seules options énergétiques qui peuvent remplacer adéquatement les filières thermiques conventionnelles sans contribuer à la détérioration des conditions atmosphériques de la planète. S'y ajoute le recours progressif à des filières encore marginales à ce moment-ci comme le solaire et l'éolien, en tenant compte des améliorations technologiques qui s'accroissent actuellement dans ce domaine. La production d'électricité à partir de la biomasse présente également des avantages dans les cas où elle s'appuie sur la valorisation de résidus qui seraient autrement perdus ou dommageables pour l'environnement.

Les informations recueillies dans le cadre de la présente étude ne permettent pas, à elles seules, d'apporter des réponses à toutes les interrogations liées à la production d'électricité au cours des prochaines années.

Comme cela a été mentionné au début de ce rapport, l'analyse présentée dans ces pages ne permet pas à elle seule d'apporter toutes les réponses à toutes les interrogations liées à la consommation et à la production d'électricité au Québec.

Ainsi, il existe plusieurs scénarios de demande et pour chacun d'eux, plusieurs façons d'associer les différentes filières pour rencontrer les besoins en énergie et en puissance. Dans un tel contexte, pour être complète, l'analyse environnementale doit pouvoir tenir compte de la diversité et de la complémentarité des impacts sur l'environnement des moyens de production envisagés.

Tableau 11.1 : Analyse environnementale des filières de production d'électricité
Grille de référence technique des filières retenues pour étude

Filière	Équipement de référence	Puissance installée MW(é) (1)	Disponibilité garantie en période de pointe	Production annuelle d'électricité (2) TWh	Intran énergétique annuel (3)	Disponibilité des intrants (4)
Thermique gaz	Centrale type théorique	600	oui	4,2	1 milliard de m ³ de gaz naturel	56 ans
Thermique pétrole	Tracy	600	oui	4,2	1 million de tonnes de mazout #6	44 ans
Thermique charbon	Centrale type théorique	600	oui	4,2	1,4 million de tonnes de charbon anthracite	230 ans
Thermique biomasse	Chapais (bois)	25	oui	0,2	235 000 tonnes de résidus de bois (50% d'humidité)	ressource renouvelable
	Île de Montréal (déchets domestiques)	70	oui	0,7	1 million de tonnes de déchets domestiques	
Thermique nucléaire	Gentilly 2	685	oui	4,8	80 tonnes d'uranium	80 ans
Hydroélectrique	Sainte-Marguerite	790	oui	4,1	énergie cinétique de l'eau	ressource renouvelable
	Grande Baleine	3 168	oui	16,2		
Éolienne	Parc théorique de 1 500 éoliennes de 500 kW (superficie de 200 km ²)	750	non	2,0	énergie cinétique du vent	ressource renouvelable
Solaire	Parc théorique de 25 millions de m ² de cellules photovoltaïques (superficie de 100 km ²)	500 (crête)	non	1,0	énergie cinétique du soleil	ressource renouvelable

Mars 1992

(1) La croissance annuelle moyenne prévue dans le dernier Plan de développement d'Hydro-Québec est d'environ 650 MW(é) pour une production annuelle d'électricité d'environ 4,5TWh

(2) La production d'électricité (TWh) tient compte des facteurs d'utilisation typiques de chaque filière (1990)

(3) Données estimées sur la base des équipements de référence

(4) Données approximatives basées sur les réserves connues en 1990. La prospection des réserves d'uranium a été moins systématique que celles des hydrocarbures

Tableau 11.2 : Analyse environnementale des filières de production d'électricité
Grille de référence environnementale des filières retenues pour étude

Filière	Qualité de l'eau, de l'air et du sol	Écosystèmes naturels	Conditions atmosphériques globales (1)			Occupation et structuration du territoire	Perceptions et changements sociaux	Sécurité
			Effet de serre (CO ₂) /an	Précipitations acides /an (SO ₂) (NO _x) (4)				
Thermique gaz	<ul style="list-style-type: none"> • rejets thermiques • pollution atmosphérique 	<ul style="list-style-type: none"> • modification du milieu associé à la pollution et aux rejets thermiques 	670 000	nil	105	<ul style="list-style-type: none"> • perturbations associées au transport 	<ul style="list-style-type: none"> • pollution • risques d'accidents 	<ul style="list-style-type: none"> • risques de fuites et explosions • risques associés à la manutention du gaz naturel liquéfié
Thermique pétrole	<ul style="list-style-type: none"> • rejets thermiques • pollution atmosphérique • particules 	<ul style="list-style-type: none"> • modification du milieu associé à la pollution et aux rejets thermiques 	790 000	740	230	<ul style="list-style-type: none"> • perturbations associées au transport et à l'entreposage 	<ul style="list-style-type: none"> • pollution 	<ul style="list-style-type: none"> • risques de déversements accidentels
Thermique charbon	<ul style="list-style-type: none"> • rejets thermiques • pollution atmosphérique • particules et cendres 	<ul style="list-style-type: none"> • modification du milieu associé à la pollution et aux rejets thermiques 	1 075 000	990	310	<ul style="list-style-type: none"> • perturbations associées aux mines, au transport, à l'entreposage et à l'élimination des résidus 	<ul style="list-style-type: none"> • pollution 	<ul style="list-style-type: none"> • risques associés à l'exploitation minière
Thermique biomasse	<ul style="list-style-type: none"> • rejets thermiques • pollution atmosphérique • particules et cendres 	<ul style="list-style-type: none"> • modification du milieu associé à la pollution et aux rejets thermiques 	bois : ND	nil (2)	92	<ul style="list-style-type: none"> • perturbations associées à la collecte, au transport, à l'entreposage et à l'élimination des résidus 	<ul style="list-style-type: none"> • pollution, mais valorisation et élimination des déchets 	<ul style="list-style-type: none"> • risques négligeables associés à la manutention des intrants énergétiques
			tourbe (3) : ND	288 1008	284 1256			
			déchets domestiques : 25 619	15	37			
Thermique nucléaire	<ul style="list-style-type: none"> • rejets thermiques • rayonnement ionisant très faible 	<ul style="list-style-type: none"> • modification locale et indirecte du milieu associé aux rejets thermiques 	nil	nil	nil	<ul style="list-style-type: none"> • perturbations associées aux mines et à l'élimination du combustible utilisé 	<ul style="list-style-type: none"> • risques d'accidents et problèmes de déchets 	<ul style="list-style-type: none"> • impact de la dissémination accidentelle de produits radioactifs (réacteurs ou déchets)
Hydroélectrique	<ul style="list-style-type: none"> • formation de méthylmercure dans les réservoirs • modifications de la qualité de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • création de vastes habitats aquatiques au détriment d'habitats terrestres • modification des systèmes hydrographiques 	<ul style="list-style-type: none"> • impact négligeable et local 			<ul style="list-style-type: none"> • occupation compétitive sur des territoires très vastes • perturbations associées aux lignes de transport • désenclavement de territoires éloignés 	<ul style="list-style-type: none"> • dérangement des populations locales et régionales 	<ul style="list-style-type: none"> • risques de rupture des barrages
Éolienne	<ul style="list-style-type: none"> • impact négligeable 	<ul style="list-style-type: none"> • impact négligeable 	<ul style="list-style-type: none"> • impact négligeable et local 			<ul style="list-style-type: none"> • occupation compétitive sur de très vastes territoires • perturbations associées aux lignes de transport 	<ul style="list-style-type: none"> • intermittence • bruit • coût 	<ul style="list-style-type: none"> • risques d'emballement
Solaire	<ul style="list-style-type: none"> • impact négligeable 	<ul style="list-style-type: none"> • destruction d'habitats 	<ul style="list-style-type: none"> • impact négligeable et local 			<ul style="list-style-type: none"> • occupation compétitive et restrictive sur de très vastes territoires 	<ul style="list-style-type: none"> • coût • intermittence 	<ul style="list-style-type: none"> • risques négligeables associés à l'exploitation des systèmes

(1) Données en tonne par térawattheure (TWh)

(2) Données généralement non retenues, parce que trop faibles

(3) Les écarts tiennent compte de divers types de tourbe

(4) Selon l'hypothèse de 90 % de contrôle pour les émissions de SO₂ et de 80 % pour les émissions de NO_x

LISTE DES RÉFÉRENCES

APCA International Specialty Conference, Environmental Challenges in Energy Utilisation during the 1990'S, University of Toledo, 1990.

Canadian Electrical Power Industry, Power to choose : Canada's Energy Options, 1981.

CANMET, Canadian Wind Energy Technical and Market Potential, Draft Document, août 1991.

Chamberland, A. Decomposition Model for Flooded Biomass in Reservoirs. Information for the Vermont Public Service Commission, (in collaboration with R. Schetagne and L. Varfalvy), Hydro-Québec , Vice-Présidence Environnement, janvier 1990.

Commission mondiale sur l'environnement et le développement, Notre avenir à tous, Les publications du Québec, mai 1988.

Concord Environnement, Health Risk Assessment - Bécancour Gas Turbine Project, 1990, prepared for Hydro-Québec CEC, File J2323.

De Renzo, D.J., Wind Power. Recent Developments, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, 1979.

Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, Summary of environmental effects of Pa Mong dam/reservoir projection on Mekong river, dans, Environmental Impact Assessment Guidelines for Planners and Decision Makers, United Nations, Bangkok, 1985.

Eichhoez, Geoffrey G., Environmental Aspects of Nuclear Power, Georgia Institute of Technology, 1976.

El-Hinnawi, Essam, editor, Nuclear Energy and the Environment, United Nations Environment Programme, 1980.

Energie, Mines et Ressources Canada, L'énergie électrique au Canada 1990, Direction de l'énergie électrique, 1991.

Énergie, Mines et Ressources Canada, Environmental Challenges Facing the Electricity Utility Industry. Environmental Effects of Utilizing Biomass Energy, 1990.

Gikis, J. et Burckle, John O., Preliminary Environmental Assessment of Energy Conversion Process for Agricultural and Forest Product Residues, Symposium Papers : Energy from Biomass and Wastes, 1978.

Gouvernement du Québec, L'énergie au Québec, 1990.

Le groupe de recherche SEEEE Ltée, Étude de l'effet du marnage sur la faune ichtyenne (1989). Réservoirs Pipmuacan, Outardes 4 et Baskatong, Hydro-Québec, Vice-présidence Environnement, mai 1990.

Le groupe de recherche SEEEE Ltée, Étude de l'effet du marnage sur la faune ichtyenne (1990). Réservoirs Pipmuacan, Outardes 4 et Manic 5, Hydro-Québec, Vice-présidence Environnement, mars 1991.

Le groupe de recherche SEEEE Ltée, Suivi environnemental, Manic 5, puissance additionnelle. Étude du réservoir, Synthèse 1985, 1988 et 1989, Hydro-Québec, Vice-présidence Environnement, août 1990.

Groupe Environnement Shooner, Évolutions des teneurs en mercure des poissons du complexe hydroélectrique La Grande, 1978-1989, Hydro-Québec, Vice-présidence Environnement, mai 1990.

Hayeur, Gaétan et Doucet, Jean, Le caribou et le complexe La Grande, Communication au colloque "Les enseignements de la phase 1 du complexe La Grande", ACFAS, Sherbrooke, mai 1991.

Hydro-Québec, Analyse des principaux enjeux environnementaux des filières de production d'électricité, janvier 1992, 36 pages.

Hydro-Québec, Étude sur les effets environnementaux cumulatifs du plan des installations, Analyse d'un premier groupe d'enjeux environnementaux, Rapport d'étape, 1990.

Hydro-Québec Impacts et mesures d'atténuation, dans, Aménagement hydroélectrique de l'Ashuapmushuan, Synthèse des études sectorielles, Avant-projet, phase 1, avril 1991.

Hydro-Québec, Proposition de plan de développement d'Hydro-Québec, 1990-92, horizon 1999, 1990.

Inglis, David Rittenhouse, Wind Power and Other Energy Options, The University of Michigan Press.

International Energy Agency, Areas of Environmental Concern, dans, Energy and the Environment : Policy Overview, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris, 1989.

IREQ, Énergie éolienne, État de la recherche, 25 novembre 1991.

Julien, M. et Laperle, M. Surveillance écologique du complexe La Grande, Synthèse des études sur la sauvagine, SEBJ, 1986.

Le Moigne, Guy, Barghanti, Shawki et Plusquellec, Hervé editors, Dam Safety and the Environment, World Bank Technical Paper n^o 115, Washington, D.C., février 1990.

MacRaw, Morgan K., Coal, New Coal Technology and Electric Power Development, Canadian Energy Research Institute, Study 38, Calgary, 1991.

Messier, Danielle, Le milieu marin et les modifications hydrologiques des rivières nordiques, Communication au colloque "Les enseignements de la phase 1 du complexe La Grande", ACFAS, Sherbrooke, mai 1991.

Ministère de l'environnement, L'environnement au Québec, un bilan, Gouvernement du Québec, 1988.

Monenco Maritime Ltd., Environmental Summary: Harvesting and Use of Peat as an Energy Source, N.R.C.C., Division de l'énergie, programme de la tourbe, 1986.

Ontario Hydro, Alternative Energy Review, septembre 1991.

Oslo Symposium, Environmental Effects of Cooling System at Nuclear Power Plants, 1975.

Penn Well Publishing, Oil and Gas Journal Data Book, 1989.

Perreault, Sylvain, Le mercure et le poisson, dans, Hydro-Press, 71^e année, n^o 20, fin novembre 1991.

Schetagne, Roger, Suivi de la qualité de l'eau, de phytoplancton, du zooplancton et du benthos au complexe La Grande, territoire de la Baie James, Collection Environnement et géologie, Vol. 9, Canadian Society of Environmental Biologists, 1990.

Senior Expert Symposium on Electricity and the Environment, Comparative Environmental and Health Effects of Different Energy Systems for Electricity Generation, Helsinki, Key Issues Paper n^o 3, avril 1991.

Senior Expert Symposium on Electricity and the Environment, Energy Sources and Technologies for Electric Generation, Helsinki, Key Issues Paper n^o 2, avril 1991.

Thérien, N., Impacts cumulatifs. Enjeu "Qualité de l'air". Études des enjeux environnementaux associés à l'effet de serre suite à la création de réservoirs hydroélectriques, Université de Sherbrooke, décembre 1990.

Union québécoise pour la conservation de la nature et Association québécoise dans la lutte contre les pluies acides, Impacts environnementaux des alternatives énergétiques au Canada, dans, Franc Nord, printemps 1989.



**Ce rapport a été préparé par
la vice-présidence Environnement
en collaboration avec la
vice-présidence Planification du réseau**