

État et perspectives énergétiques mondiale et québécoise

Réalisé par

Patrick Déry, B.Sc, M.Sc.
Physicien, spécialiste en énergie,
agriculture et environnement

Pour

**Conseil régional de l'environnement et du
développement durable (CREDD)**, Saguenay—Lac-Saint-Jean

Groupe de recherches écologiques de La Baie (GREB)

Avril 2008

Partenaires financiers



Sommaire

Sommaire	2
Note	3
Remerciements	3
Avertissement	3
Présentation des organisations	4
Introduction	5
Les sources primaires d'énergie au Québec	6
Les sources non-renouvelables	9
Pétrole.....	9
Gaz naturel	15
Charbon	18
Uranium	19
Les sources renouvelables	21
Hydroélectricité.....	21
Biomasse	24
Autres filières.....	32
Solaire	32
Éolien	34
Géothermie	37
Marémotrice.....	38
Apports de sources décentralisées	38
Les perspectives de l'énergétique au Québec	41
Les scénarios de demande en énergie	41
Les scénarios de production	45
Scénario Référence.....	45
Scénario Minimum	47
Scénario Maximum	49
Scénario Indépendance au pétrole 2030	51
Variante du scénario Indépendance pétrolière 2030.....	53
Les économies effectives d'énergie des scénarios	55
Les émissions de gaz à effet de serre des scénarios	56
Discussion	61
Le groupe «continuité»	61
Le groupe « Kyoto »	62
Vers une planification énergétique complète	64
Conclusion	65
Annexe	70
Consommation d'énergie	70
Production d'énergie.....	71

Note

Le présent rapport est le quatrième d'une série de cinq sur l'énergétique au Saguenay—Lac-Saint-Jean. Les trois premiers rapports portent sur des concepts importants de l'énergétique que sont la substitution énergétique, l'économie d'énergie et le rendement énergétique. Le quatrième aborde l'énergétique aux niveaux mondial et québécois. Le cinquième et dernier rapport mettra l'accent sur la situation régionale face à la question énergétique.

Remerciements

L'auteur tient à remercier tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce rapport.

Avertissement

Les commentaires ou opinions exprimés dans ce rapport ne représentent pas nécessairement les positions du Conseil régional de l'environnement et du développement durable (CREDD), du Groupe de recherches écologiques de La Baie (GREB), du Regroupement action jeunesse (RAJ-02) et du Secrétariat à la Jeunesse (SAJ); elles constituent des observations et affirmations personnelles de l'auteur. Les graphiques, tableaux ou toute autre partie de ce rapport peuvent être utilisés à condition de mentionner l'auteur.

Présentation des organisations

Conseil régional de l'environnement et du développement durable (CREDD) du Saguenay—Lac-Saint-Jean

Organisme à but non-lucratif dont les mandats sont :

- Regrouper et représenter des organismes ou groupes environnementaux ainsi que des organismes publics ou privés, des entreprises, des associations et des individus intéressés par la protection de l'environnement et par la promotion du développement durable d'une région, auprès de toutes les instances concernées et de la population en général;
- Favoriser la concertation et les échanges avec les organisations de la région et assurer l'établissement de priorités et de suivis en matière d'environnement dans une perspective de développement durable;
- Favoriser et promouvoir des stratégies d'actions concertées en vue d'apporter des solutions aux problèmes environnementaux et participer au développement durable de la région (par de la sensibilisation, de la formation, de l'éducation et d'autres types d'action);
- Agir à titre d'organisme ressource au service des intervenants régionaux oeuvrant dans le domaine de l'environnement et du développement durable;
- Réaliser des projets découlant du plan d'action du CRE;
- Favoriser par la concertation et, par le partage d'expertises, la mise sur pied de projets par le milieu (organismes, groupes ou individus);
- Collaborer d'un commun accord aux projets déjà pris en charge par le milieu (organismes, groupes ou individus).

Groupe de recherches écologiques de La Baie (GREB)

Organisme à but non-lucratif dont la mission est :

- Favoriser l'essor d'un mode de vie écologiquement, socialement et économiquement viable dans la perspective d'une occupation et d'un développement territoriaux rationnels et ce, selon trois axes d'intervention : recherche, expérimentation, éducation et action civique.

Introduction

Le Saguenay—Lac-Saint-Jean est une région productrice d'énergie. C'est sans doute pourquoi les questions énergétiques sont la plupart du temps abordées ici sous l'angle de ce que l'on produit et non de ce que l'on importe. Or, notre région n'est pas isolée du reste du monde et, malgré sa richesse énergétique, elle n'en est pas moins dépendante de nombreuses formes d'énergie provenant de lieux plus ou moins éloignés.

Rarement, l'énergétique est étudiée dans son ensemble. Les intervenants de chaque filière travaillent isolément. Les intérêts privés l'emportent souvent sur l'intérêt collectif. Or, une vision plus large de l'ensemble de l'énergétique est nécessaire avant d'amorcer une planification énergétique à long terme.

Après avoir apporté, dans les trois précédents rapports, un éclairage nouveau sur quelques concepts clés, nous tenterons maintenant de donner une vue d'ensemble du secteur énergétique régional pour en dégager des perspectives jusqu'en 2030. Ainsi, au sein du cinquième et dernier rapport, nous pourrions inclure dans notre portrait énergétique régional la production énergétique mondiale et québécoise.

Dans les pages qui suivent, nous dresserons d'abord les perspectives futures de production de chaque filière énergétique disponible pour la consommation québécoise. Nous estimerons ensuite, selon divers critères, les trajectoires possibles de la consommation d'énergie dans les prochaines années. Puis, nous proposerons un cadre réaliste pour une future planification énergétique, en combinant la production des différentes filières au sein de divers scénarios. Les émissions de gaz à effet de serre provenant de la consommation d'énergie y seront aussi évaluées.

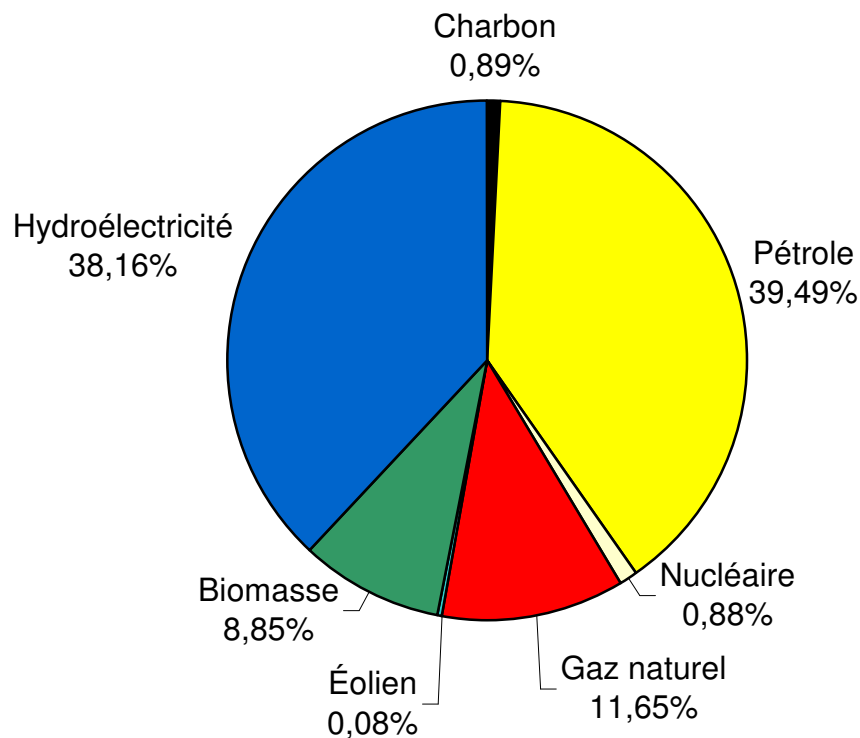
Ces scénarios seront évalués en fonction de trois critères :

- 1- assurer un approvisionnement énergétique fiable et sécuritaire aux québécois;
- 2- réduire, d'ici 2030, les émissions de gaz à effet de serre en deçà des seuils per capita des puits de carbone mondiaux;
- 3- être réaliste quant aux possibilités de mise en œuvre tant au plan technique que financier.

Les sources primaires d'énergie au Québec

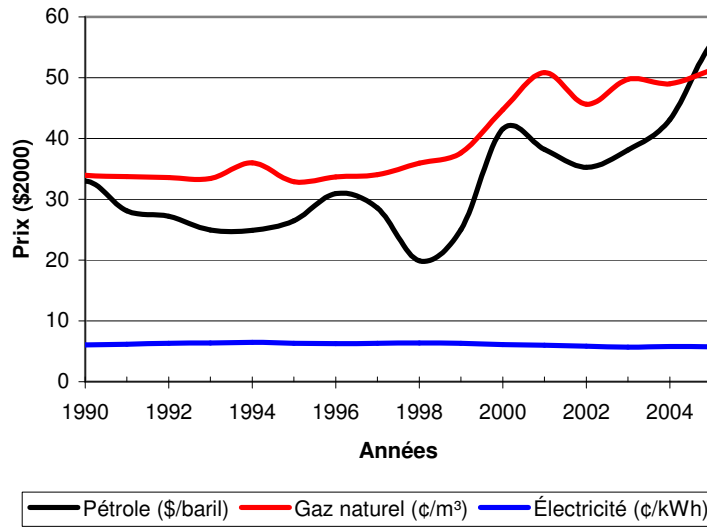
Contrairement aux idées reçues, l'hydroélectricité n'est pas la principale source d'énergie primaire¹ consommée au Québec. La première source est en fait le pétrole. L'hydroélectricité arrive en deuxième, suivie par le gaz naturel. Les sources non-renouvelables d'énergie (pétrole, gaz naturel, charbon et uranium) représentent 53% de l'énergie consommée au Québec tandis que les sources renouvelables (hydroélectricité, biomasse et éolien) représentent 47% du bilan global.

Consommation d'énergie primaire au Québec par source (2005)



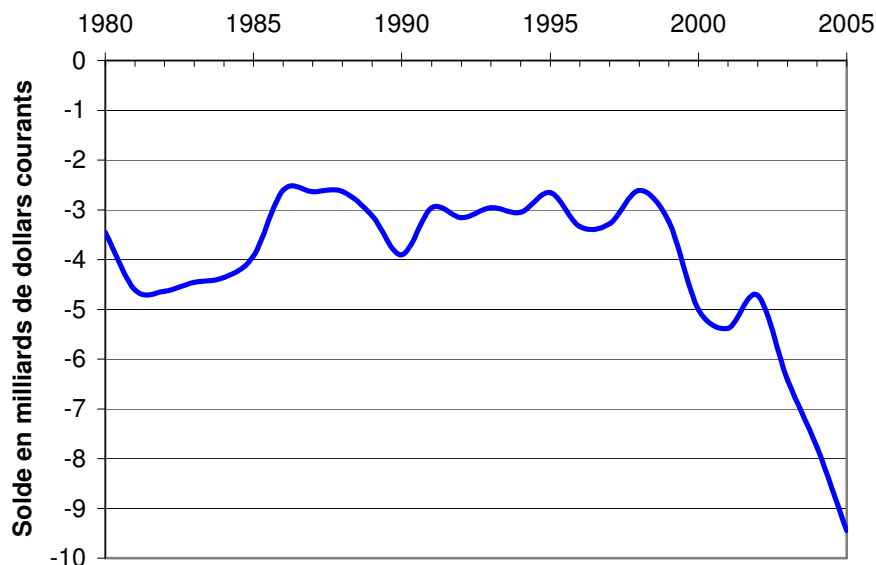
¹ Formes d'énergie à l'état brut, c'est-à-dire avant toute transformation (charbon, pétrole brut, gaz naturel, biomasse, hydroélectricité, électricité d'origine nucléaire ou éolienne...)

Prix de l'énergie par source (Québec)



Nous sommes donc fortement dépendants de sources émettrices de gaz à effet de serre (GES) provenant de l'extérieur du Québec. Des sources qui, de surcroît, affectent négativement notre balance commerciale. En effet, la balance commerciale du secteur énergétique québécois a littéralement plongé depuis les hausses importantes des prix du pétrole brut au tournant du millénaire, conjuguées à l'importante croissance de la consommation de pétrole : la balance commerciale du secteur énergétique québécois est passée d'un solde négatif moyen de 3 milliards à la fin des années 1990 à près de 10 milliards en 2005.

Balance commerciale du secteur énergétique du Québec



La hausse d'un dollar au prix moyen annuel du pétrole brut engendre une perte annuelle supplémentaire d'environ 160 millions de dollars à la balance commerciale du secteur énergétique québécois. Les hausses successives des prix du pétrole brut depuis 2005 ajouteront donc près de 8 milliards de pertes à la balance commerciale du secteur énergétique pour l'année en cours, par rapport à celle de 2005, si le prix et la consommation de pétrole se maintiennent aux valeurs actuelles.

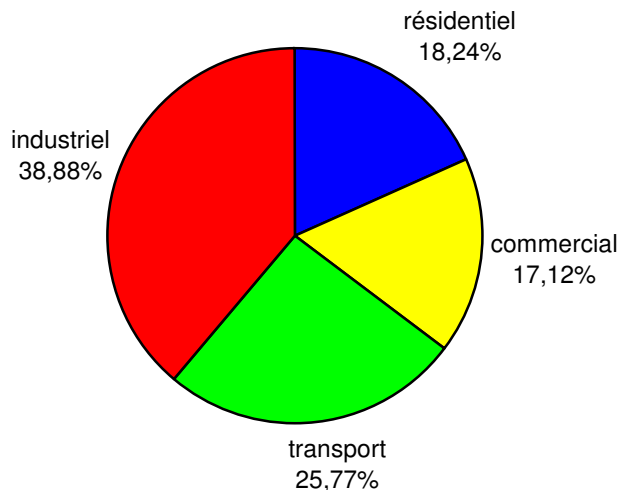
Le transport représente un peu plus du quart de la consommation d'énergie primaire au Québec, et celui-ci dépend à 99% du pétrole pour son fonctionnement. Avec la mondialisation des marchés, le transport est devenu primordial, autant pour les économies émergentes que pour les économies occidentales. C'est donc dire l'importance du pétrole pour nos sociétés.

Malheureusement, d'un point de vue économique, et heureusement d'un point de vue environnemental, le Québec ne possède pas de ressources pétrolières

significatives par rapport à sa consommation. De plus, la production de l'Ouest canadien est vendue sur le marché américain, nous contraignant à acheter le pétrole sur les marchés mondiaux. Il

est donc de première importance, pour réaliser un portrait complet de l'énergétique régionale, de faire le point sur tous nos approvisionnements énergétiques, peu importe leur provenance.

Consommation d'énergie primaire au Québec par utilisateur (2005)



Pour simplifier les calculs, l'unité de mesure énergétique employée tout au long de ce rapport sera celle de la tonne d'équivalent pétrole ou tep. La mégatonne d'équivalent pétrole (Mtep) représente un million (10^6) de tonne d'équivalent pétrole (tep). Une Mtep est égale à 11 630 GWh ($1 \text{ GWh} = 10^6 \text{ kWh}$) ou 11,63 TWh ($1 \text{ TWh} = 10^9 \text{ kWh}$).

Les sources non-renouvelables

Dans la section précédente, nous avons vu l'importance au Québec des sources non-renouvelables d'énergie, ces dernières provenant de l'extérieur du Québec. Dans cette section, nous étudierons les perspectives futures, jusqu'en 2030, des sources non-renouvelables d'énergie consommées au Québec. Il est à noter que le Canada est lié aux États-Unis quant à sa consommation intérieure de ressources énergétiques qu'il exploite sur son propre territoire. La clause de proportionnalité de l'ALENA² stipule en effet qu'en cas de diminution de la production d'une ressource énergétique, le Canada doit fournir la même proportion de celle-ci qu'avant la diminution. C'est donc dire que le Canada ne pourra pas affecter ses ressources énergétiques à sa propre consommation intérieure. Le Québec étant un importateur de ces ressources, il devra donc compter sur les marchés extérieurs pour son approvisionnement.

Pour évaluer les approvisionnements futurs disponibles pour le Québec, nous avons tenu compte d'échanges se perpétuant dans un marché libre. Nous n'avons donc pas considéré l'adoption de quotas locaux (comme en Iran, par exemple) ou mondiaux (Oil Depletion Protocol³, par exemple). Nous considérons aussi que le Québec réussit à maintenir dans la proportion actuelle ses achats d'énergie à l'extérieur et ce, peu importe le prix de cette énergie.

Nous étudierons dans cette section les perspectives du pétrole, du gaz naturel, du charbon et de l'uranium pour la consommation intérieure du Québec, à l'horizon de 2030.

Pétrole

Le Québec, importateur de pétrole, achète celui-ci sur les marchés mondiaux, principalement de l'Algérie et de la Mer du Nord (Royaume-Uni et Norvège). Exploitée commercialement depuis 1859⁴, cette ressource fossile est devenue essentielle au bon fonctionnement de nos sociétés modernes. Or, avec l'émergence de puissantes économies, en Chine et en Inde principalement, qui représentent à eux seuls plus du tiers de la population mondiale, la demande en énergie, ainsi qu'en pétrole, a crû de façon très importante. Si bien qu'aujourd'hui l'écart entre la demande et les capacités de production s'est

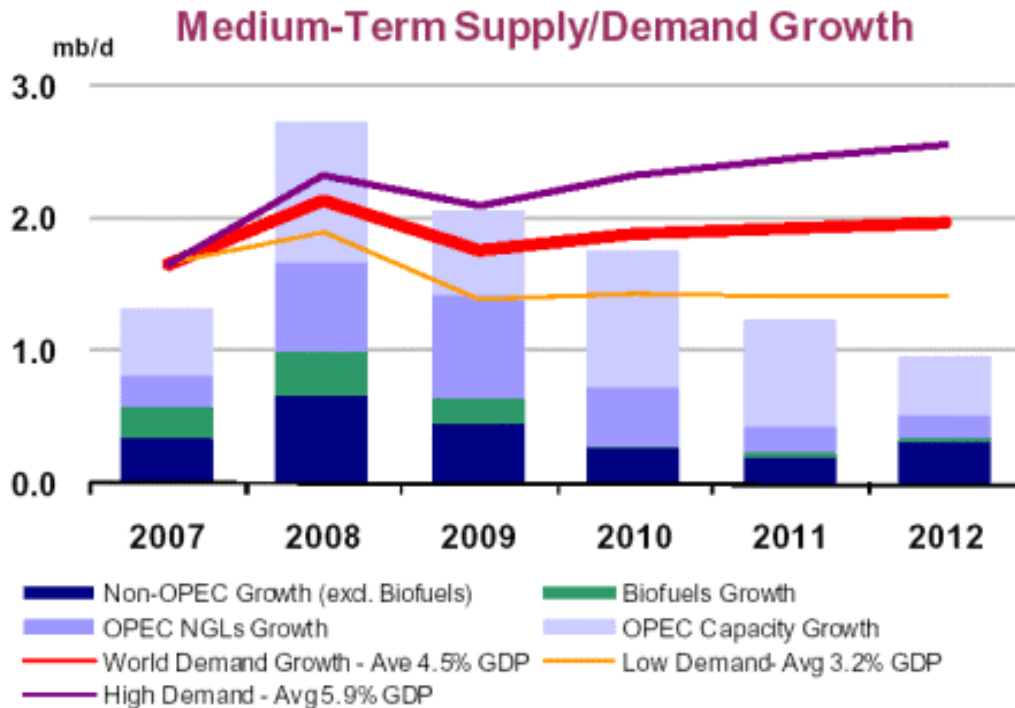
² Louis-Gilles Francoeur, Sécurité énergétique: Rabaska affaiblirait le Québec, 8 février 2008. Richard Heinberg, Proportionality, Energy Bulletin, 7th February 2008.

³ Colin Campbell, The Rimini Protocol : an Oil Depletion Protocol, presentation for Pio Manzu Conference, 2003.

Richard Heinberg, The Oil Depletion Protocol : a plan to avert wars, terrorism and economic collapse, New Society Publishers, 2006.

⁴ Premier puits commercial réalisé par le Colonel Drake à Titusville en Pennsylvanie

rétréci radicalement, à un tel point que le moindre événement entraîne une diminution de la production et propulse le prix du pétrole brut à des sommets inégalés par le passé. L'Agence Internationale de l'Énergie entrevoit d'ailleurs des difficultés d'approvisionnement en pétrole brut d'ici 2011 (graphique ci-dessous; Agence internationale de l'énergie).



Le pétrole se fera plus cher dans l'avenir sans que cela n'ait à voir avec les possibilités de manquer géologiquement de pétrole à court ou moyen terme.

Il s'ajoute à cette adéquation entre la demande et l'offre la question du « pic pétrolier » qui refait surface depuis maintenant quelques années. Les preuves semblent s'accumuler dans le sens de cette théorie qui stipule que la production pétrolière atteindra un jour un maximum et qu'elle devra inévitablement décliner. La question est de savoir à quel moment ce pic surviendra. Les données les plus récentes indiquent que la production du pétrole dit conventionnel aurait atteint son maximum en 2005 et qu'elle décroîtrait depuis. Toutefois, l'addition des ressources non-conventionnelles telles que les sables bitumineux, les gisements en eaux profondes ou les pétroles lourds, compensent actuellement ce déclin. La production de pétrole se maintient actuellement sur un plateau et il n'y a aucun moyen de savoir s'il y aura une remontée ou un déclin de la production. L'analyse de l'ensemble des mégaprojets pétroliers⁵ nous amène néanmoins à

⁵ Projets donc la capacité de production maximale égale ou excède 50 000 barils par jour. Les projets sur la table aujourd'hui conditionnent la production totale future car ces projets prennent environ quatre à cinq ans avant d'entrer en production s'il n'y a pas de délais supplémentaires.

penser que la production tous-liquides (pétroles conventionnels, pétroles non-conventionnels, condensas et biocarburants) devrait commencer son déclin au plus tard en 2015.

Pour réaliser nos perspectives sur les approvisionnements de pétrole (tous-liquides) disponibles pour la consommation québécoise, nous avons étudié différents modèles. Nous avons choisi les quatre modèles qui semblent être les plus crédibles. Nous avons éliminé les scénarios fantaisistes du Cambridge Energy Research Associates (CERA) qui situent le maximum de production au-delà de 2040⁶, car ils ne concordent avec aucun autre scénario⁷, même avec ceux de l'USGS (United States Geological Survey), pourtant très optimistes. De plus, leurs données sont confidentielles, il est donc impossible de vérifier la véracité de leurs propos.

Les scénarios de l'USGS, repris par l'Energy Information Administration étasunienne (EIA)⁸, malgré une certaine forme d'optimisme au plan de leur présentation visuelle, situe le pic de production entre 2016 et 2037. Leur scénario le plus crédible se rapproche du scénario le plus optimiste de Robelius⁹ qui est basé sur les gisements pétroliers géants (les éléphants) qui fournissent environ 60% de la production mondiale et dont l'âge d'exploitation est, pour la plupart, supérieur à 40 ans. Nous avons conservé le modèle de Robelius plutôt que celui de l'USGS car sa mise au point est plus récente d'environ 7 ans. Le

Chris Shrebowski, Prices holding steady, despite massive planned capacity additions (Megaprojects listing), *Petroleum Review*, April 2006.

⁶ Cambridge Energy Research Associates, Finding the Critical Numbers: What are The Real Decline Rates for Global Oil Production?, september 2007.

⁷ Robert L. Hirsch, Peaking of world oil production: Recent forecasts, DOE NETL. April 2007. National Petroleum Council (US), Facing The Hard Truths About Energy, July 2007. Government Accountability Office, CRUDE OIL: Uncertainty about Future Oil Supply Makes It Important to Develop a Strategy for Addressing a Peak and Decline in Oil Production, February 2007.

Agence internationale de l'énergie, Medium Term Oil Market Report, July 2007.

World Energy Council, Survey of Energy Resources 2007, september 2007.

Energy Watch Group, Crude Oil: The Supply Outlook, October 2007.

Robelius, F. 2007. Giant Oil Fields -The Highway to Oil. Giant Oil Fields and their Importance for Future Oil Production. Acta Universitatis Upsaliensis. *Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology* . 168 pp. Uppsala.

J. David Hughes Geological Survey of Canada, Unconventional Oil - Canada's Oil Sands and Their Role in the Global Context: Panacea or Pipe Dream?, World Oil Conference, ASPO – USA, October 26, 2006.

ASPO, Newsletter No. 86, February 2008.

Le Monde, La production d'énergie pourrait décliner avant 2040, selon les chercheurs d'EDF, 22 octobre 2007.

⁸ Energy Information Administration, Annual Energy Outlook, 2000.

⁹ Robelius, F. 2007. Giant Oil Fields -The Highway to Oil. Giant Oil Fields and their Importance for Future Oil Production. Acta Universitatis Upsaliensis. *Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology* . 168 pp. Uppsala.

maximum de production y est estimé entre 2013 et 2018 selon la gestion de la demande mondiale de pétrole.

Le second modèle retenu est celui de l'ASPO (Association for the Study of the Peak Oil and Gas)¹⁰. Ce modèle considère un grand nombre de paramètres géologiques et logistiques, dont la liste des mégaprojets mentionnée plus haut. Dans ce modèle, le maximum de production des tous-liquides est situé en 2010.

Le troisième modèle retenu est celui de l'Energy Watch Group (EWG) allemand¹¹. Depuis environ deux ans, ce groupe a réalisé des études sur les réserves mondiales et la production future de l'uranium, du charbon et du pétrole. Ce modèle montre que le pic de production des tous-liquides est survenu en 2006 et que nous sommes actuellement sur un plateau qui ne durera plus très longtemps. C'est le modèle le plus pessimiste sur le déclin de la production pétrolière.

Le quatrième modèle est différent des trois précédents. Il ne s'attarde pas seulement à la production mondiale de pétrole et met plutôt l'accent sur l'exportation de pétrole des pays exportateurs. Nommé Export Land Model (ELM), ce modèle prend en compte le fait que la croissance de la consommation de pétrole des pays exportateurs est plus importante que celle des pays importateurs. Ces pays ayant pour la plupart nationalisé leur production de pétrole, ils la gardent d'abord pour eux-mêmes.

Un exemple est le cas de l'Indonésie, membre de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP), qui est devenu depuis 2005 un importateur net de pétrole¹². Dans ces pays, la consommation interne de pétrole est souvent subventionnée, ce qui entraîne une croissance fulgurante de la consommation.

Le modèle ELM utilisé pour notre étude est celui de Jeffrey Brown et Samuel Foucher¹³ qui ont évalué les perspectives d'exportation de pétrole des cinq principaux exportateurs mondiaux. La question du pic pétrolier devient alors secondaire car, selon ce modèle, le plus important pour les pays importateurs, dont fait partie le Québec en tant qu'État, est de connaître le pétrole qui sera disponible sur les marchés, indépendamment de la production totale de pétrole brut. Nous avons inclus des marges de confiance de ce modèle qui deviendrait inutile si des accords internationaux comme le Protocole sur le déclin pétrolier (Oil Depletion Protocol) devenaient effectifs. Ce protocole permettrait aux pays

¹⁰ ASPO, Newsletter No. 86, February 2008.

¹¹ Energy Watch Group, Crude Oil: The Supply Outlook, October 2007.

¹² BP Statistical Review of World Energy June 2007

¹³ Jeffrey J. Brown & Samuel Foucher, Ph.D., Quantitative Assessment of Future Net Oil Exports by the Top Five Net Oil Exporters, ASPO-USA 2007 Houston World Oil Conference, October 17-20, 2007.

importateurs de bénéficier de la production des pays producteurs, selon certains quotas et des taux de déclin, tout en fixant une valeur monétaire au pétrole brut qui empêcherait une spéculation susceptible de nuire aux pays pauvres. La signature d'un tel accord semble être toutefois hautement incertaine dans les années qui viennent. Les conflits à propos des ressources et les accords bilatéraux (Chine-Iran par exemple) semblent être la voie choisie par de nombreux pays, ce qui laisse peu de chance à un tel accord de voir le jour, du moins à une échelle mondiale.

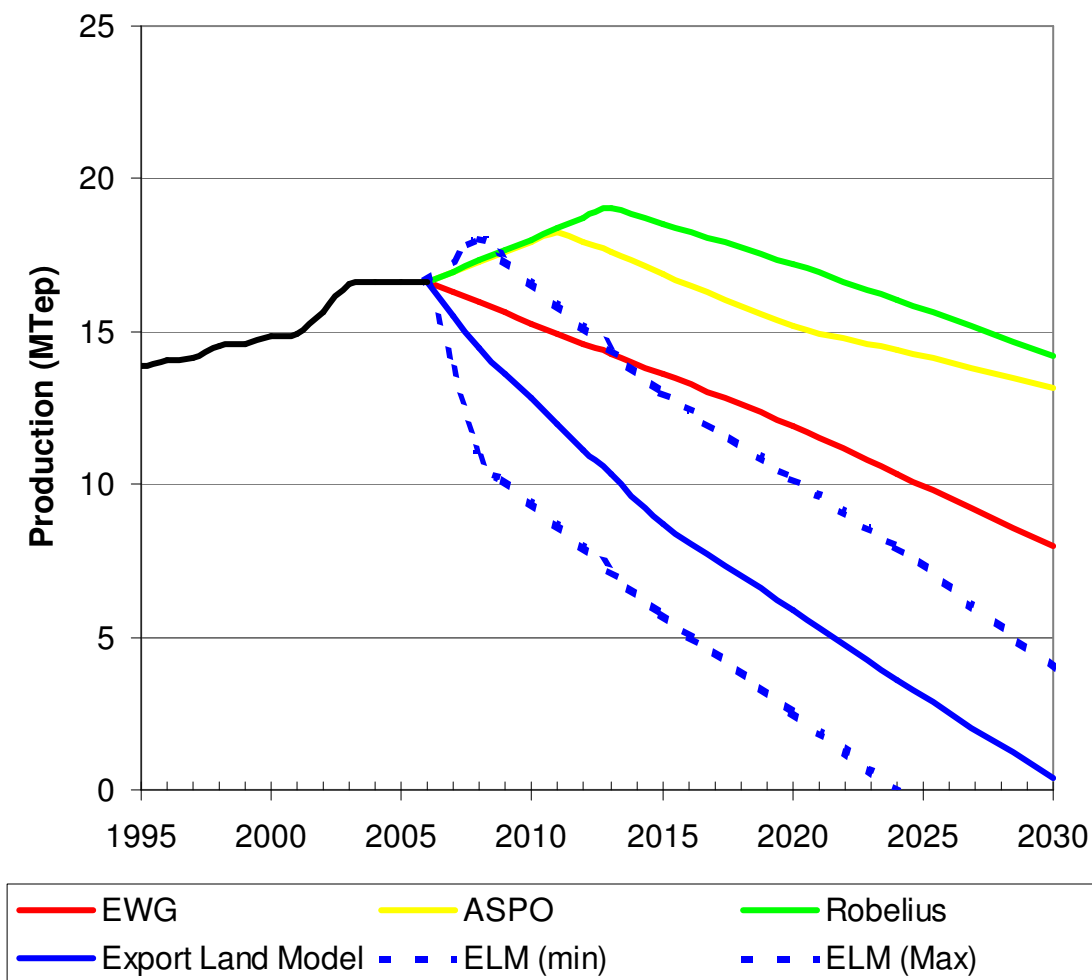
Pour chacun des modèles, nous avons établi une proportion constante basée sur le niveau de la consommation québécoise en l'année 2005 en fonction de la consommation mondiale. Il n'a été tenu aucunement compte des prix, d'accords divers avec des pays producteurs ou d'une éventuelle révision de la clause de proportionnalité de l'ALENA. Nous ne tenons pas compte non plus de l'hypothétique production québécoise de pétrole, d'abord parce qu'elle risque d'être insignifiante par rapport à notre consommation, mais aussi parce que la production se fera par des entreprises privées qui vendront sur les marchés mondiaux, ce qui revient au même que d'acheter à n'importe quel pays. Le plus offrant emportera le pétrole, peu importe sa nationalité.

Dans le tableau suivant, nous avons consigné la provenance du pétrole consommé au Québec. Il est à noter que tous les pays fournisseurs du Québec en 2005 ont une production de pétrole conventionnel en déclin. Les seuls pouvant compenser en partie ce déclin sont le Canada et le Vénézuéla avec leurs pétroles lourds (sables bitumineux, particulièrement). La production de ces pétroles est toutefois très exigeante en énergie, en eau et en capitaux financiers. Malgré des réserves très importantes, la production restera très limitée par rapport au pétrole conventionnel.

Provenance des importations de pétrole du Québec (2005)

Pays	Quantité (milliers de barils)	Part de marché Qc	Année du maximum de production du pétrole conventionnel
Norvège	45 039	28,7%	2001
Algérie	42 708	27,2%	2006
Royaume-Uni	28 135	17,9%	1999
Canada (est)	13 382	8,5%	1973 (réserves de pétroles lourds importantes dans l'ouest du Canada)
Mexique	13 000	8,3%	2002
Autres	12 211	7,8%	-----
Vénézuéla	2522	1,6%	1970 (réserves de pétroles lourds importantes)
TOTAL	156 997		

Production pétrolière (tous liquides) disponible pour le Québec selon divers modèles



La disponibilité du pétrole pour la consommation au Québec est plus qu'incertaine. Elle sera de toute manière en forte décroissance dans les années à venir. Le modèle le plus positif retenu (Robelius) nous indique une décroissance de la disponibilité de 1,5 à 2% annuellement à partir de 2013. Les modèles de l'ASPO et de l'EWG indiquent des taux semblables mais à partir de 2010 et de 2006, respectivement. Le modèle ELM indique une chute plus importante de la disponibilité d'environ 4% annuellement pour atteindre une valeur presque nulle en 2030 ou même avant.

Les modèles de Robelius et de l'ASPO sont plus «optimistes», mais ils peuvent cacher des problèmes futurs plus importants. En envisageant une augmentation de la consommation de pétrole à des niveaux plus élevés que les modèles qui

prévoient un pic de disponibilité hâtif (EWG et ELM), ils permettent que s'installe une dépendance au pétrole encore plus grande.

Gaz naturel

Le gaz naturel est moins étudié que le pétrole sous l'angle des perspectives de la production future. Partout dans le monde industrialisé, il est beaucoup utilisé pour le chauffage des habitations ainsi que pour la production d'électricité.

Contrairement au pétrole, le gaz naturel se prête plus difficilement à son transport autrement que par gazoduc. Les coûts financiers et énergétiques du transport maritime sont très importants. Les approvisionnements se font principalement sur des bases contractuelles et, dans une moindre mesure, sur le marché «spot»¹⁴.

La hausse phénoménale des projets de terminaux méthaniers en Amérique du Nord tient en bonne partie au fait que la production continentale a atteint son maximum de production (pic gazier) en 2002¹⁵. Il semble que la mise en disponibilité de ce gaz provenant de l'extérieur du continent ne puisse compenser le déclin de la production continentale appréhendée après 2025, et ce, même si tous les projets envisagés par l'Energy Information Administration étasunienne (EIA)¹⁶ se réalisent et que le déclin n'est pas trop important. La disponibilité de gaz naturel liquéfié sur les marchés mondiaux n'est pas garantie pour tous les projets envisagés, comme on a pu le voir récemment dans la saga Cacouna-Rabaska-Gazprom¹⁷.

Pour le gaz naturel comme pour le pétrole, la clause de proportionnalité de l'ALENA s'applique. La mise en service de terminaux méthaniers au Québec pourrait accentuer le problème de l'approvisionnement futur du Québec plutôt que l'améliorer¹⁸.

Pour notre étude, nous avons retenu deux modèles : celui de l'Energy Information Administration des États-Unis et celui de Jean Laherrère. Un troisième modèle a été élaboré par l'addition de gaz naturel provenant des

¹⁴ Sans contrat à long terme

¹⁵ Darley, Julian, High noon for natural gas: the new energy crisis, Chelsea Green, 2004.

J. David Hughes, Geological Survey of Canada, Natural Gas in North America : Should We be Worried?, World Oil Conference, ASPO – USA, October 26, 2006.

BP Statistical Review of World Energy, 2006.

¹⁶ Energy Information Administration, Annual Energy Outlook, 2006.

¹⁷ Michel Munger, Projet de pipeline sur la glace pour Cacouna, La Presse Affaire, 26 mars 2008.

¹⁸ Louis-Gilles Francoeur, Sécurité énergétique: Rabaska affaiblirait le Québec, 8 février 2008.

Richard Heinberg, Proportionality, Energy Bulletin, 7th February 2008.

terminaux méthaniers (selon les estimations de l'EIA) au modèle de Jean Laherrère¹⁹.

Le modèle de Jean Laherrère, contrairement à d'autres modèles, tient compte de la valeur de l'énergie nette dans l'extraction du gaz naturel. Cela amène une réduction substantielle des réserves exploitables, soit de 30%. Il y aurait donc uniquement 70% de la valeur des réserves estimées qui puissent générer, lors de leur exploitation, un surplus d'énergie par rapport à l'énergie qui y a été investie²⁰. La perte est considérable.

Le gaz naturel étant déjà très difficile à importer en Amérique du Nord, la question de la hausse de consommation des pays exportateurs a moins d'impact que dans le cas du pétrole avec le modèle ELM.

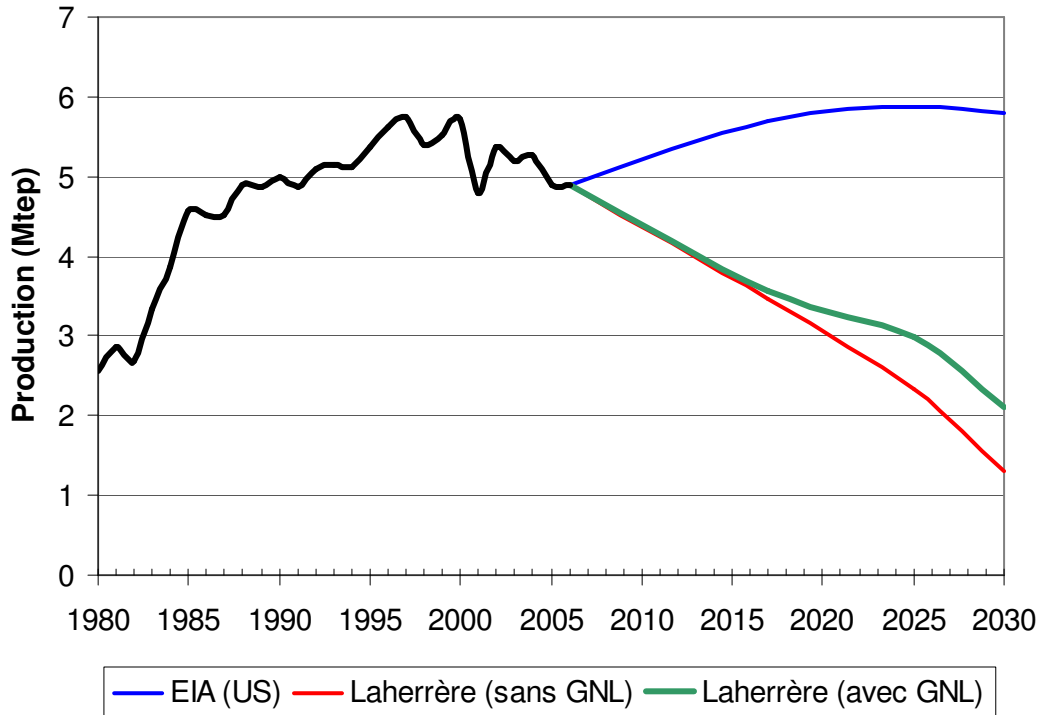
Les trois modèles sont basés sur le maintien dans l'avenir de la proportion de gaz naturel utilisé au Québec en 2005 par rapport à la disponibilité de gaz naturel à l'échelle continentale et ce, peu importe les prix. La production québécoise n'est pas prise en compte car, comme pour le pétrole, elle risque d'être marginale par rapport à notre consommation, en plus d'appartenir à des intérêts privés qui mettront ce gaz en marché sur le continent, au plus offrant.

¹⁹ Géologue de Total à la retraite

Jean Laherrère, North American natural gas discovery & production, August 2007, ASPO France, pg 15.

²⁰ Nate Hagens, North American Natural Gas Production and EROI Decline, The Oil Drum, February 27, 2008.

Production de gaz naturel disponible pour le Québec



La disponibilité du gaz naturel au Québec est très différente selon les modèles étudiés. Selon l'EIA, à partir de 2025, l'approvisionnement en gaz naturel déclinera à l'échelle du continent. Si le modèle de Laherrère s'avérait, la décroissance serait de près de 3% annuellement. L'importation de gaz naturel liquéfié n'aurait que peu d'incidence sur ce déclin, hormis celui de rehausser légèrement les approvisionnements disponibles. Dans aucun des modèles, les importations de gaz naturel liquéfié n'évitent le déclin inexorable de la disponibilité de gaz naturel au Québec pour la période étudiée.

Charbon

Le charbon est encore moins étudié que les deux ressources précédentes quant aux perspectives de production future. La plupart du temps, l'on se contente de rappeler une valeur du ratio R/P (Réserves sur production actuelle) d'environ 250 ans. Toutefois, cette valeur est passée de 227 ans en 2000 à 144 ans en 2006, l'équivalent d'une diminution des réserves de 50% en 6 ans²¹, signe de l'imprécision des données.

Les réserves mondiales n'ont pas toutes été réévaluées complètement depuis le début des années 1990. Certains pays qui ont réalisé cette réévaluation, tels que la Grande-Bretagne, l'Allemagne et le Botswana, ont vu celles-ci diminuer de plus de 90%. Dave Rutledge de la Chaire d'ingénierie et de science appliquée du California Institute of Technology révélait, dans une étude récente²², une surestimation de 50% des réserves mondiales de charbon. Les travaux du Energy Watch Group (EWG) allemand arrivaient aux mêmes conclusions dans un rapport publié en 2006²³. Pour l'EWG, le maximum de production de charbon devrait être atteint entre 2025 et 2035, la production déclinant par la suite. La substitution du pétrole par la conversion du charbon en liquide (Coal-To-Liquid : CTL) risque donc de demeurer marginale.

Pour dresser les perspectives d'approvisionnement en charbon pour le Québec, nous avons utilisé le modèle de l'EWG. Il faut savoir que le Québec utilise peu de charbon, moins de 1% de sa consommation d'énergie primaire totale depuis le début des années 1980.

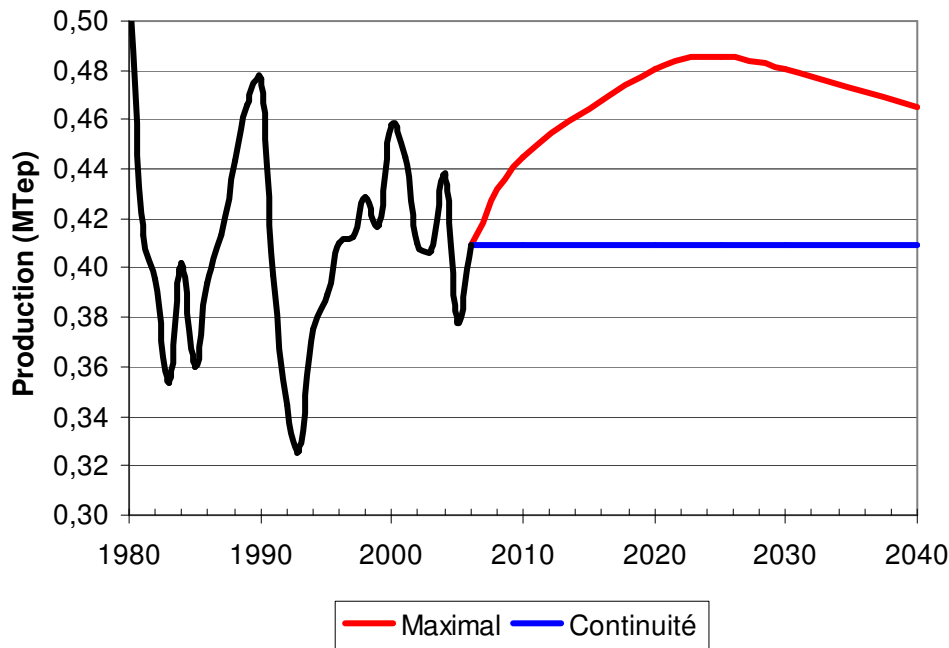
Dans notre premier scénario, celui de la continuité, il y a maintien de la consommation de charbon à un niveau moyen de 0,41 millions de tonnes d'équivalent pétrole (Mtep) annuellement. Le scénario maximal, quant à lui, est obtenu en maintenant la même proportion qui avait cours en 2005 entre la consommation de charbon du Québec et la production mondiale de charbon. Étant donné la hausse de la production mondiale de charbon anticipée, la disponibilité au Québec de ce dernier augmente jusqu'à un maximum autour de 2025.

²¹ B. Kavalov, S.D. Peteves, The Future of Coal, DG JRC, Institute for Energy (European Commission, February 2007.

²² Dave Rutledge, The Coal Question and Climate Change, The Oil Drum, June 25, 2007.

²³ Energy Watch Group, Coal: Resources and Future Production, April 2007.

Production de charbon disponible pour le Québec



Uranium

Tout comme le charbon, l'uranium est considéré comme s'il était presque inépuisable. Les valeurs R/P peuvent atteindre, selon l'Agence internationale de l'énergie²⁴, des niveaux de l'ordre de 220 ans. Encore une fois, comme pour le charbon, l'Energy Watch Group a réalisé une étude démontrant que la ressource atomique est surévaluée²⁵. EWG évalue le maximum de production entre 2025 et 2035. Par ailleurs, l'énergie nucléaire fournit actuellement environ 6,5% de l'énergie primaire mondiale (0,88% au Québec). En remplaçant l'ensemble des ressources énergétiques mondiales par le nucléaire, ce dernier ne pourrait fournir de l'énergie que pendant environ 5 ans. Cette source ne pourra substituer aucune source fossile à long terme²⁶.

Le Québec possède des gisements d'uranium à différents endroits²⁷ (Monts-Otish, Baie d'Ungava, Rivière-Georges) à des concentrations intéressantes sur le

²⁴ AIE, Nuclear Power, 2000.

²⁵ Energy Watch Group, Uranium resources and nuclear energy, December 2006 EWG-Series No 1/2006

²⁶ John Busby, Why nuclear power is not a sustainable source of low carbon energy, March 2008.

²⁷ Le Monde, Canada : les projets d'exploitation minière et de construction de centrales se multiplient, 25 mars 2008.

plan économique. L'exploitation n'est pas encore envisagée à court terme. Comme pour le pétrole et le gaz naturel québécois, ce sont des entreprises privées qui en feront l'exploitation et vendront sur les marchés mondiaux aux plus offrants.

Certains évaluent que l'énergie nucléaire est en fait un consommateur d'énergie nette plutôt qu'un producteur en raison de la gestion à long terme des déchets radioactifs²⁸. Le démantèlement et la gestion des sites contaminés se feront dans des conditions où des hausses importantes du prix de l'énergie risque de prévaloir, de même que des problèmes de disponibilité. On peut donc douter de la viabilité de cette filière à long terme.

La seule centrale nucléaire fonctionnelle au Québec est celle de Gentilly-2 avec une puissance de 675 MW. Celle-ci devait terminer ses opérations en 2013, mais il y a des possibilités que le gouvernement provincial décide d'en réaliser la réfection entre 2011 et 2012 afin de prolonger son opération jusqu'en 2035. Il n'y a aucun autre projet de centrale nucléaire au Québec pour l'échelle de temps étudiée. Les deux scénarios retenus sont donc l'un sans la réfection de Gentilly-2 et l'autre avec sa réfection.

Production de la centrale nucléaire Gentilly-2



Serge Perreault, La croissance fulgurante de l'exploration pour l'uranium au Québec, Direction générale de Géologie Québec, Février 2007.

²⁸ David Fleming, The Lean Guide To Nuclear Energy : A Life-Cycle in Trouble, The Lean Economy Connection, November 2007.

Les sources renouvelables

Les sources renouvelables d'énergie sont celles qui sont les plus disponibles au Québec. Fort heureusement d'ailleurs, car elles sont habituellement les moins dommageables pour le climat. Elles ont permis au Québec jusqu'à maintenant d'émettre proportionnellement beaucoup moins de gaz à effet de serre que le reste du Canada. Elles représentaient 43% du bilan énergétique total du Québec en 2005.

En raison du réchauffement climatique et du déclin inévitable des sources non-renouvelables, nous devons compter de plus en plus sur ces sources d'énergie dans l'avenir.

Hydroélectricité

Au Québec, la perception de cette source d'énergie est souvent négative alors qu'elle est habituellement très positive ailleurs dans le monde. Cette source qui est généralement perçue comme une source d'énergie écologique fait l'objet d'objections fréquentes et nombreuses au Québec. Cette opposition aux projets hydroélectriques passe étrangement sous silence notre consommation encore plus importante de pétrole, pourtant de loin beaucoup plus polluant que l'hydroélectricité.

Ces objections au harnachement des rivières québécoises s'explique en partie par la peur de voir toutes les rivières du Québec harnachées et par la perte de la biodiversité que cela pourrait engendrer. Il faut dire que l'hydroélectricité, avec 38% du bilan énergétique québécois, est fort présente au Québec. Elle alimente la croissance économique et permet des exportations vers les Etats-Unis, perçus comme des boulimiques énergétiques, procurant ainsi des revenus au gouvernement québécois. Dans les faits, ces exportations d'électricité ne comblent pas, et de loin, les coûts des importations d'énergie beaucoup plus polluantes. Or, c'est nous, les consommateurs, via la consommation directe et indirecte (biens, objets, matériaux...), qui utilisons toute cette énergie.

Il existe trois façons d'extraire l'énergie provenant des cours d'eau : la production avec réservoirs, la production au fil de l'eau et l'hydrolenne. Cette source d'énergie jouit d'une énergie nette très importante, probablement la plus importante de toutes, excepté le solaire passif. Les dimensions des installations hydroélectriques peuvent varier de quelques watts à des milliers de mégawatts.

La production hydroélectrique avec réservoir est très importante au Québec. Elle permet de stocker de l'énergie souvent sur plusieurs années. Cela permet de réguler l'approvisionnement en électricité et de prévoir longtemps à l'avance la

production disponible. Les réservoirs, par le stockage à long terme, permettent aussi l'ajout d'équipements de production d'électricité d'origine éolienne ou de d'autres sources intermittentes, avec la plus grande efficacité. Ce type de production a pour effet de modifier de façon importante le paysage, mais peut parfois ajouter des possibilités pour la villégiature. Il émet également du méthane et du gaz carbonique, des gaz à effet de serre, pendant quelques années après la mise en eau des réservoirs, mais le bilan de GES est toutefois très bas lorsque l'on considère la durée de vie d'un tel équipement (plus de 50 ans), supérieure à celui des filières éolienne ou biomasse.

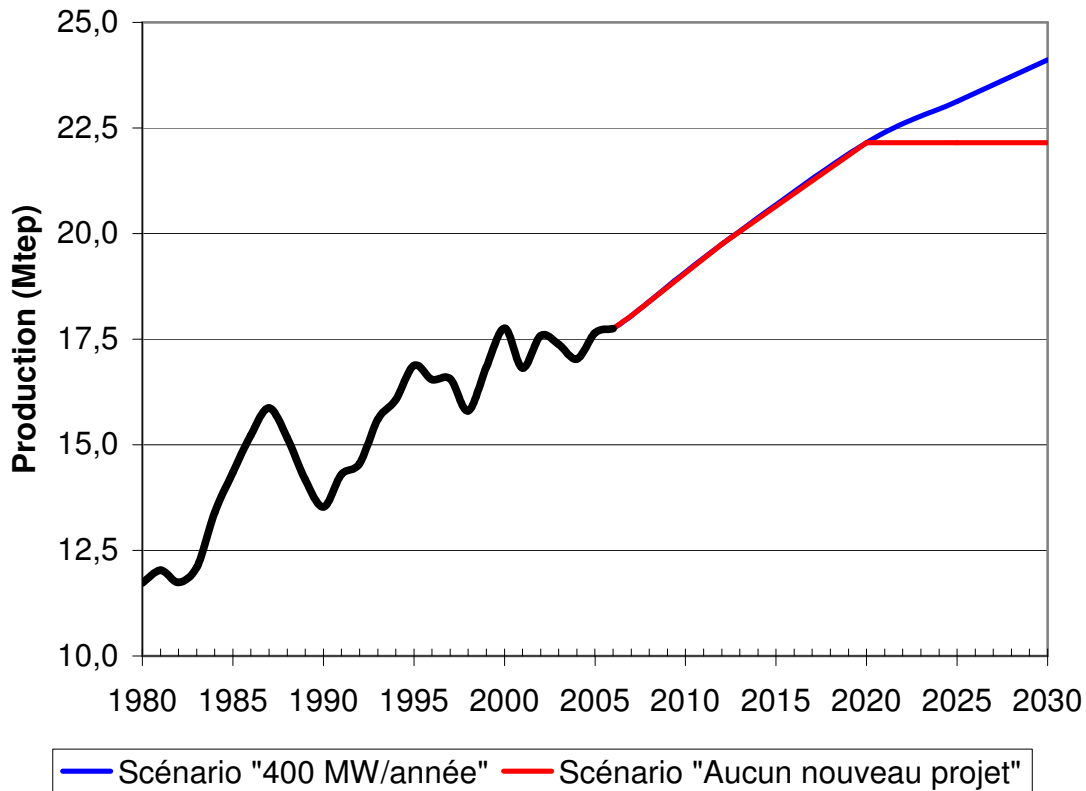
La production hydroélectrique au fil de l'eau utilise directement le débit des cours d'eau qui peut être très variable au cours d'une année et d'une année à l'autre. Il est plus difficile de prévoir à long terme la production d'électricité de ce type d'installation. La grande variabilité du débit et la protection de la ressource halieutique empêche habituellement le turbinage de toute l'eau d'un cours d'eau. Le dimensionnement de l'équipement est conçu pour une production d'électricité optimale au plan économique. Ce type d'installation nécessite une prise d'eau qui est souvent un barrage, mais pas toujours.

Le dernier type d'installation, l'hydrolien, est très récent au plan commercial et est l'équivalent hydrique de l'éolien. De façon simplifiée, c'est comme installer des hélices dans un cours d'eau, le courant de l'eau étant l'équivalent de la vitesse du vent sur une éolienne. L'eau étant 800 fois plus dense que l'air, la production de la même puissance nécessite des diamètres d'hélices une dizaine de fois plus petits et ce, même si la vitesse de l'eau est souvent beaucoup moindre que celle du vent. Les variations de vitesse sont moindres dans l'eau que dans l'air, ce qui permet une production d'électricité plus constante que l'éolien. Ce type de production hydroélectrique ne nécessite aucun barrage et utilise le courant de l'eau. Peu d'études d'impacts environnementaux, du fait de la nouveauté de la technologie, ont été réalisées sur ce type d'installation, mais on sait qu'elle n'engendre pas de modifications permanentes importantes comme la production avec réservoirs. Elle peut permettre d'utiliser des débits importants mais avec de faibles dénivellations.

Pour les perspectives jusqu'en 2030 de la production hydroélectrique au Québec, nous avons considéré deux scénarios. Le premier étant le scénario de la continuité de l'installation de projets jusqu'en 2030 au rythme actuel d'environ 400 MW annuellement, donc 4000 MW de plus que les projets actuels ou à l'étude (Eastmain 1A-Sarcelle, Romaine). Le second scénario représente l'arrêt, après 2020, de la mise en service de nouvelles installations hydroélectriques. Pour ces deux scénarios, le facteur d'utilisation, c'est-à-dire le temps d'utilisation de ces centrales à l'équivalent de leur pleine puissance, par rapport à la durée

d'une année, est de 65%²⁹. Il est à noter que le potentiel hydroélectrique du Québec est encore très important. Il se situe à environ 44 100 MW³⁰, l'équivalent de la capacité actuelle, dont 20 000 MW seraient économiquement intéressants dans le contexte actuel³¹.

Hydroélectricité disponible pour le Québec



La continuation de l'installation de nouvelles centrales après la phase d'expansion actuelle, avec l'addition de 400 MW annuellement, amène une hausse de la production de près de 9% en 2030 par rapport à l'addition d'aucun nouveau projet.

Le problème des surplus d'électricité, occasionnant la fermeture de la centrale thermique au gaz naturel de TCE à Bécancour³², ainsi que les bas prix actuels de

²⁹ Hydro-Québec, www.hydroquebec.com.

³⁰ ÉEM Inc., Le potentiel hydroélectrique du Canada, Association canadienne de l'hydroélectricité 2006.

³¹ Ministère des ressources naturelles et de la faune, site Internet.

³² Hugo Joncas, Bécancour, une centrale inutile ?, Vision Durable, 6 novembre 2007.

Hugo Joncas, La centrale de Bécancour ferme...à cause de Norsk Hydro, Journal les Affaires, 6 novembre 2007.

l'électricité, sont des obstacles importants au développement de nouveaux projets hydroélectriques. Or, il est important de séparer les conjectures à très court terme de celles à plus long terme. La demande en électricité « propre », et cela à l'échelle continentale, est en croissance importante. La diminution de l'approvisionnement des sources fossiles d'énergie augmentera aussi à moyen et long terme la demande en énergie de remplacement.

Biomasse

Les plantes sont de véritables capteurs solaires vivants. La photosynthèse a une efficacité annuelle moyenne de conversion de la lumière solaire de moins de 2%, très inférieure aux capteurs solaires « artificiels » qui ont des rendements qui varient de 10% (photovoltaïque) à plus de 60% (thermique). Toutefois, les plantes naturelles peuvent se multiplier seules et donnent de nombreux bénéfices écologiques non comptabilisés (diversité biologique, cycles de l'eau, de l'azote, du carbone...). Les arbres, durant leur croissance, ont en plus la possibilité de stocker cette énergie sous forme physique, le bois, pendant 20 à 100 ans et plus. Cette énergie solaire stockée peut alors être utilisée comme matériau ou sous forme énergétique.

La biomasse peut être séparée en trois sources distinctes : agricole, forestière et déchets biodégradables.

La transformation des plantes en chaleur ou en des vecteurs énergétiques plus pratiques (carburants) offre de nombreuses possibilités. Actuellement, la recherche est surtout orientée vers la production d'éthanol cellulosique, malgré le manque de preuve concernant sa rentabilité énergétique (énergie nette), suite logique à la production d'éthanol à base de maïs dont les nuisances économiques, énergétiques et sociales sont de plus en plus avérées³³. Pourtant, des technologies de transformation de la cellulose éprouvées et efficaces énergétiquement existent : la combustion, la carbonisation, la pyrolyse et la

Hélène Baril, Fermeture de TCE à Bécancour : Hydro n'a pas tout dit, La Presse, 18 janvier 2008.

³³ EcoNexus, Biofuelwatch, Carbon Trade Watch (Transnational Institute), Corporate Europe Observatory, Ecologistas en Acción, Ecoropa, Grupo de Reflexión Rural, Munlochy Vigil, NOAH (Friends of the Earth Denmark), Rettet Den Regenwald, Watch Indonesia, Agrofuels - Towards a reality check in nine key areas, June 2007.

Brent D. Yacobucci Randy Schnepf, Ethanol and Biofuels: Agriculture, Infrastructure, and Market Constraints Related to Expanded Production, March 16, 2007, Congressional Research Service report for Congress

Amani Elobeid, Simla Tokgoz, Dermot J. Hayes, Bruce A. Babcock, and Chad E. Hart, The Long-Run Impact of Corn-Based Ethanol on the Grain, Oilseed, and Livestock Sectors: A Preliminary Assessment, Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University, November 2006.

gazéification, entre autres. La cellulose peut être transformée par divers processus dont voici une liste non-exhaustive.

Thermochimiques

Combustion : Processus d'oxydation de la biomasse qui dégage de la chaleur.

Carbonisation : Processus de transformation de la biomasse en charbon.

Pyrolyse : Décomposition chimique de la biomasse par un chauffage habituellement sans oxygène

Gazéification : Transformation de la biomasse à l'aide de chaleur, en des gaz combustibles

Biologiques

Biogaz : fermentation anaérobie de matières organiques (déchets biodégradables, fumiers, foin, paille, résidus de cultures...).

Éthanol : fermentation alcoolique des sucres simples contenus dans certains produits agricoles (fruits, grains, betteraves, pommes de terre...).

Éthanol cellulosique : fermentation alcoolique de chaînes de sucres complexes (cellulose provenant de la paille, du bois, panic érigé...) ayant été brisés en sucres simples, habituellement par des enzymes.

Chimiques

Biodiesel : transformation chimique à l'aide d'alcool (éthanol ou méthanol) et de soude caustique, d'huiles extraites de certains oléagineux ou protéagineux (tournesol, canola, soya...) pour en faire des esters, comparables, du point de vue de la combustion, au pétrodiesel.

Les plantes sont constituées de molécules faites de carbone et d'hydrogène qui peuvent être vues comme une forme d'hydrocarbure. Elles peuvent être transformées thermiquement, distillées et raffinées dans des (bio)raffineries. Nous obtenons alors toutes sortes de composés utilisables par la chimie organique pour la production d'une multitude de produits (carburants, plastiques, lubrifiants...).

Lors de l'utilisation de la biomasse, que se soit en tant que matériau, énergie, carburants ou autres, il est primordial de faire attention à la fertilité à long terme des sols d'où provient cette ressource. L'utilisation de celle-ci engendre toujours une exportation des éléments fertilisants présents dans le sol. À long terme, cela peut mener à une diminution de la production ainsi qu'à un appauvrissement de la biodiversité de ces milieux³⁴. Les méthodes d'exploitation forestière peuvent

³⁴ Leena Finér, Hannu Mannerkoski, Sirpa Piirainen, Ari Laurén, Harri Koivusalo, Teeemu Kokkonen, Sari Penttinen, Nutrient fluxes in managed boreal forests, Finland 2005

aussi avoir des impacts importants sur la fertilité des sols forestiers (le débardage avec des animaux ramène des éléments fertilisants en forêt, ce que ne fait pas la machinerie, par exemple).³⁵

Cela est d'autant plus important pour la production énergétique sur des sols agricoles ou à potentiel agricole. Les impacts sur la fertilité et la productivité des sols à très long terme devraient être étudiés avec grand soin. S'il n'y a pas, sur les parcelles exploitées, de retour d'une façon ou d'une autre (sous forme de cendres, de boues...) des éléments prélevés par la production, leur fertilité diminuera avec, comme conséquence, une baisse de leur productivité.

Il faut faire aussi attention à la tentation d'une fertilisation continue avec des fertilisants minéraux, car ceux-ci deviendront dans un proche avenir, tout comme l'énergie par ailleurs, de plus en plus rares et chers³⁶. Dans ce contexte, il faut aussi questionner le fait de laisser aller le développement de cette filière aux seules forces du marché. La superficie cultivable au Québec n'est que de 2% de la superficie totale du territoire québécois. De plus, la production de la nourriture pour les êtres humains nécessite un minimum de 0,2 à 0,25 hectare par personne pour une alimentation basée sur des végétaux³⁷. La production agricole énergétique ne devrait pas entrer en compétition, notamment au plan des superficies et des prix, avec l'alimentation humaine des habitants du Québec.

Comme l'hydroélectricité, la biomasse forestière a mauvaise presse au plan environnemental. Il est vrai qu'une mauvaise combustion génère de grandes

Kristin Kopra et James Fyles, Bilan nutritif de plantations de pins gris du nord de l'Ontario, RGDF série de note de recherche No. 6, Réseau de gestion durable des forêts, Le Groupe sur la nutrition des forêts, 2005.

Dave Morris et Robert Fleming, Can the removal of logging debris compromise stand nutrition and long-term productivity of boreal forest ecosystems?, Natural Resource Canada, 2005.

³⁵ Patrick Déry, Impacts du passage de la traction animale à la traction mécanique sur la fertilisation des forêts, Groupe de recherches écologiques de La Baie, à venir en 2008.

³⁶ Matthew Warren, Warning of world phosphate shortage, The Australian Higher Education, March 12, 2008.

Patrick Déry, Bart Anderson, Peak Phosphorus, Energy Bulletin, August 13, 2007.

D.A. Pfeiffer, Eating fossil fuels, New Society Publishers, 2006.

A. Duncan Brown, Feed or feedback: agriculture, population dynamics and the state of the planet, International Books, 2003.

Wen-yuan Huang, Impact of Rising Natural Gas Prices on U.S. Ammonia Supply, USDA, August 2007.

Javier Blas, Fertiliser Prices Jump as Planting Grows, Financial Times, October 26, 2007.

Dan Buglass, Prices climb as fertiliser famine looms, Scotsman Newspaper, March 26, 2008.

³⁷ Christian J. Peters, Jennifer L. Wilkins and Gary W. Fick, Testing a complete-diet model for estimating the land resource requirements of food consumption and agricultural carrying capacity: The New York State example, Renewable Agriculture and Food Systems, 22(2);145-153, December 22, 2006.

Folke Günther, Vulnerability in agriculture : energy use, structure and energy futures, Dept. of Systems ecology, Stockholm University, Paper for INES conference, June 2000.

quantités d'émissions atmosphériques polluantes (HAP, dioxines, furannes, suies...) souvent plus importantes que le charbon.

Or, les technologies commerciales efficaces existent et elles diminuent de façon importante les émissions polluantes provenant des transformations thermochimiques de la biomasse (granules, foyers de masse, bouilloire efficaces, pyrolyseur,...). Une législation appropriée concernant l'utilisation de tels équipements pourrait diminuer grandement ces impacts environnementaux.

L'utilisation de la biomasse pour des fins énergétiques est neutre quant à ses émissions de CO₂, si l'on exclut toutefois les moyens nécessaires à son exploitation qui nécessitent le recours au pétrole.

Un autre aspect fondamental dans la création d'un bilan environnemental et social positif dans la filière de la biomasse forestière est le maintien ou l'augmentation des possibilités forestières futures (prélever les intérêts et non le capital forestier). Dans le cas de la forêt boréale, il n'y a pas encore de consensus scientifique sur une éventuelle surexploitation. Quoi qu'il en soit, la médiatisation d'un problème en forêt publique, réel ou non, a éclipsé l'ensemble des problématiques de la forêt méridionale québécoise : déboisement pour l'épandage de lisiers, acidification des sols (pluies acides), enrésinement des zones pouvant accueillir les feuillus nobles, coupes à blanc dans des forêts décidues et mélangées, entre autres.

La forêt québécoise, avec toute sa diversité, est l'une des plus importantes ressources que nous ayons, tant sur les plans environnemental, social, économique qu'au plan énergétique, surtout en ce qui concerne la production de carburants liquides. Et la productivité de notre forêt n'a pas atteint son plein potentiel : des expériences ont démontré qu'elle pouvait augmenter d'un facteur de 1,5 à 4³⁸. Dans notre évaluation des perspectives énergétiques de la forêt québécoise, nous n'avons pas tenu compte de l'augmentation des possibilités forestières probables dans l'avenir.

Pour la construction des scénarios énergétiques de la biomasse, nous avons comptabilisé dans nos calculs uniquement l'énergie provenant de la biomasse forestière. Les raisons de ne pas inclure la biomasse provenant de l'agriculture sont multiples. D'abord, nous avons considéré que l'usage des sols agricoles doit avoir pour but premier de nourrir les êtres humains, les autres usages, industriels et énergétiques, pouvant être envisagés par la suite.

Ensuite, la production énergétique actuelle provenant de l'agriculture concerne surtout des filières dont la production d'énergie nette est très faible (éthanol,

³⁸ Léonard Otis, *Une forêt pour vivre*, GRIDEQ-UQAR, 1989.

Caroline Julien, *Une foresterie à haute vitesse*, Agence Science-Pressé, 11 décembre 2001.

biodiesel). Le potentiel de production d'énergie nette de l'éthanol cellulosique est incertain et la probabilité qu'il soit faible est grandissante³⁹.

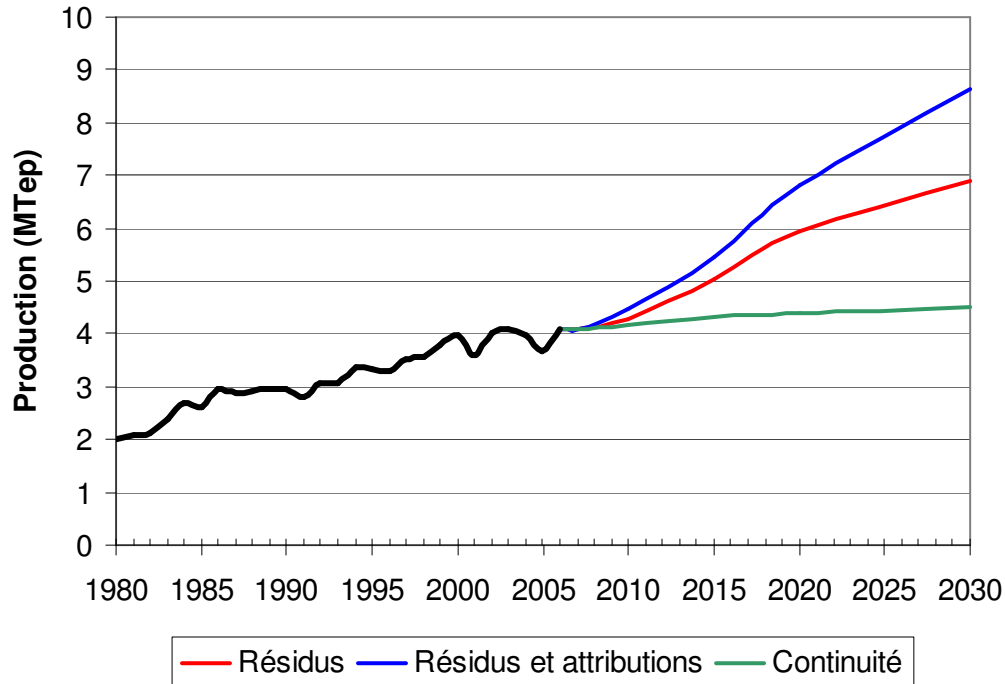
Des filières à faible énergie nette peuvent toutefois être intéressantes dans certaines applications, comme les carburants liquides, mais elles doivent, dans une étude comme celle-ci, être plutôt considérées comme des transformations industrielles et non comme des sources réelles d'énergie. Comptabiliser ce genre de transformation, sans considérer la question de l'énergie nette, revient souvent à compter deux fois la même énergie, soit l'énergie investie dans la transformation et celle contenue dans le produit transformé. Elles s'équivalent à peu de chose près.

D'autres méthodes comme les rotations courtes de plantations de végétaux ligneux (saules, peupliers...) et les végétaux non-ligneux (panic érigé, miscanthus...), surtout sur les terres marginales ou en friches, pourraient être intéressantes. Toutefois, nous n'avons aucune donnée sur les possibilités qu'offrent ces filières énergétiques agricoles. Elles risquent toutefois d'être marginales face à la production issue de la biomasse forestière. Cela n'empêche pas que l'agriculture puisse fournir une partie de l'énergie consommée au Québec, surtout dans les milieux ruraux et agricoles.

La production énergétique provenant des résidus et déchets biodégradables (fumiers, résidus d'abattoirs, émanation des lieux d'enfouissement...) n'a pas été comptabilisée, surtout en raison de sa marginalité dans le bilan total et la complexité de l'intégration de ce type de source dans les calculs. De plus, en ce qui concerne la question de la production à partir des lieux d'enfouissement, il serait plus judicieux de trier les déchets biodégradables avant l'enfouissement pour les faire fermenter dans des réacteurs à biogaz et utiliser les résidus pour la fertilisation. Comme pour la production d'énergie à partir de produits agricoles, la production d'énergie à partir de cette ressource pourra quand même contribuer à l'ensemble de la production énergétique du Québec.

³⁹ Alice Friedman, Why cellulosic ethanol, biofuels are unsustainable and a threat to America, Culture Change, April 10, 2007.
John Benemann and Don Augenstein, Whither cellulosic ethanol?, The Oil Drum, August 2006.

Production d'énergie de la biomasse forestière disponible pour le Québec



Pour réaliser l'évaluation du potentiel énergétique de la biomasse au Québec, nous avons tenu compte uniquement de la biomasse forestière, excluant donc la biomasse agricole et celle des déchets. Pour nos calculs, nous avons utilisé les attributions 2008-2013 du Forestier en chef pour la forêt publique, les estimations du potentiel forestier de la forêt privée et des estimations à partir de documents officiels⁴⁰ des résidus de biomasse laissés en forêt. Les valeurs employées pour les perspectives jusqu'en 2030 sont celles du tableau suivant :

⁴⁰ Blaise Parent, Claude Fortin, Ressources et industries forestières : Portrait statistique édition 2007, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2007.
MRNF, Profil des produits forestiers, première transformation, biomasse forestière résiduelle, inventaire des méthodes et équipements de récupération ainsi que des systèmes de combustions les plus courants, août 2006.

Provenance	Quantités⁴¹ annuelles
Attributions forêts publiques (Tous résineux)	21 407 200 m ³
Attributions forêts publiques (Tous feuillus)	9 072 300 m ³
Possibilités forestières forêts privées (Tous résineux)	5 553 523 m ³
Possibilités forestières forêts privées (Tous feuillus)	6 415 277 m ³
Résidus forestiers en forêts publiques (résidus de coupes, bois faible valeur, bois brûlé...)	4,6 MT
Résidus forestiers en forêts privées (résidus de coupes, bois faible valeur, bois brûlé...)	5,0 MT

Nous avons aussi considéré, pour nos calculs, que la production énergétique de la biomasse en 2005 (constituée d'écorces et autres résidus de scieries ainsi que de bois de chauffe résidentiel) se prolonge dans le futur dans la même proportion qu'en 2005.

Nous n'avons pas considéré la biomasse agricole car, compte tenu de la superficie actuelle des 3 462 935 hectares de sols agricoles⁴² et d'une population de 7 609 400 (2006), le Québec dispose d'un peu moins de 0,46 hectare par personne. Selon certaines estimations⁴³, la consommation actuelle de nourriture requiert plus de 0,5 hectare par personne. La différence étant compensée par les importations.

Avec la future hausse des coûts de transport de la nourriture par la baisse de la disponibilité du pétrole, qui fournit 99% de l'énergie du secteur du transport, il serait plus efficace de consacrer les terres agricoles à la production de la nourriture humaine plutôt qu'à la production de biocarburants requis pour le transport de nourriture provenant de l'extérieur du Québec. Dans certains cas, il est possible que la production d'énergie à partir de biomasse agricole pourrait quand même être intéressante, surtout pour les milieux ruraux et agricoles, mais cette filière devrait rester relativement marginale face à la filière de la biomasse forestière.

La production future d'énergie à partir des déchets putrescibles (fumiers, résidus d'abattoirs, gaz provenant des lieux d'enfouissement sanitaires...) sera utile, mais

⁴¹ La valeur calorifique moyenne du bois est considérée de 19 MJ/kg (5,28 kWh/kg) (humidité relative autour de 10 à 15%) pour les attributions et les possibilités forestières. La densité basale est estimée à 400 kg/m³ pour les résineux et à 550 kg/m³ pour les feuillus. Pour les résidus forestiers, la valeur calorifique moyenne estimée est de 15 150 MJ/tonne (4210 kWh/tonne) pour une biomasse à environ 20% d'humidité relative.

⁴² Statistique Canada, superficie agricole totale 2006

⁴³ Christian J. Peters, Jennifer L. Wilkins and Gary W. Fick, Testing a complete-diet model for estimating the land resource requirements of food consumption and agricultural carrying capacity: The New York State example, Renewable Agriculture and Food Systems, 22(2);145-153, December 22, 2006.

encore là assez marginale, à notre avis. Le manque de données ainsi que la forte probabilité d'obtenir une faible production de cette filière à l'échelle de l'ensemble du Québec, nous ont porté à exclure celle-ci de nos scénarios futurs. Cette production pourrait toutefois trouver son utilité dans l'avenir, surtout pour les milieux ruraux.

Le premier scénario, celui de la continuité, ne comporte aucune progression dans l'utilisation de la biomasse forestière, et considère uniquement celle qui était déjà employée en 2005. Le second scénario, celui des résidus, ajoute l'utilisation énergétique de 80% des résidus forestiers disponibles au premier scénario en 2030. Le troisième scénario, résidus et attributions, comporte en plus de la production énergétique des premier et second scénarios, l'utilisation énergétique de 20% des attributions en forêts publiques (2008-2013) et de 20% des possibilités de coupes (2007) en forêts privées en 2030.

À tout cela s'ajoute un grand nombre d'incertitudes car plusieurs indices nous laissent à penser qu'on ne peut exclure que l'industrie forestière, telle qu'on la connaît, ne puisse se relever à long terme de la crise actuelle. La demande pour le bois d'œuvre québécois risque de s'amenuiser davantage sous l'effet de différents facteurs : la crise immobilière américaine, la présence sur les marchés du bois russe, chinois et brésilien, la monnaie canadienne liée au prix du pétrole brut, les baby-boomers qui diminuent la densité du milieu habité et qui, d'ici 15 ans, devront délaisser leur maison ou leur résidence secondaire. La disponibilité des résidus de scieries se fera alors moins grande. L'utilisation directe du bois pour sa transformation en énergie devra sans doute être envisagée, comme le fait actuellement la Norvège⁴⁴.

La distance et les superficies gigantesques de la forêt québécoise, son éloignement des lieux d'habitation et les possibilités de son usage en tant qu'énergie conduisent à repenser sérieusement ses méthodes d'exploitation en regard de l'énergie nette et de l'efficacité énergétique. Le pétrole ne pourra plus cacher le faible rendement énergétique des méthodes actuelles d'extraction d'énergie de la biomasse. Il faudra peut-être, pour les forêts nordiques, employer le train pour le transport de carburants fabriqués in situ dans des usines mobiles. Les forêts de proximité servant, quant à elles, principalement au chauffage des bâtiments et, de façon secondaire, à la production d'électricité⁴⁵.

⁴⁴ Sandra Besson, La Norvège utilisera ses forêts pour doubler sa production de bioénergies, 2 avril 2008, <http://www.actualites-news-environnement.com/15294-Norv%C3%A8ge-forets-bioenergie.html>

Alyster Doyle, Norway to use forests to double bioenergy output, Reuters, April 1, 2008.

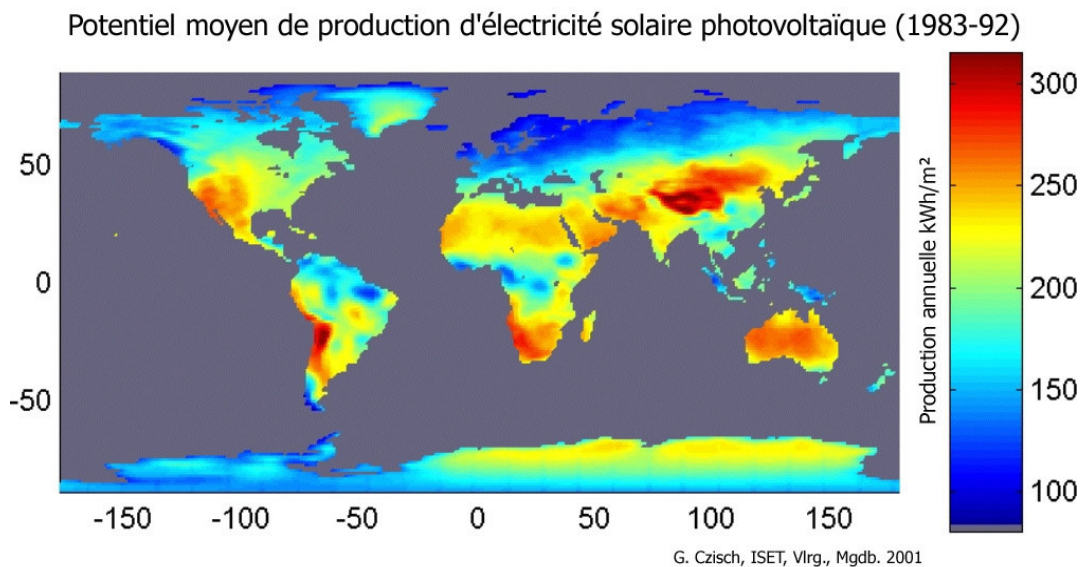
⁴⁵ Patrick Déry, Quel rendement sur notre investissement énergétique?, troisième volet du rapport sur l'énergétique régionale du Saguenay-Lac-St-Jean, Conseil régional de l'environnement et du développement durable et Groupe de recherches écologiques de La Baie, février 2008.

Autres filières

Pour simplifier, nous avons intégré dans un même graphique l'ensemble du potentiel futur des sources renouvelables autres que les plus importantes. Ces sources, bien que leur potentiel total puisse être très important, comportent actuellement des problématiques techniques (forte imprévisibilité, intermittence, disponibilité limitée des équipements de production...) ou financières (coût élevé de la production, forte capitalisation par rapport à la production...) limitant fortement leur déploiement. Elles peuvent toutefois fournir une quantité d'énergie appréciable dans un horizon 2030 avec les incitatifs financiers et politiques appropriés.

Solaire

Le potentiel de l'énergie solaire au Québec est, contrairement à la croyance populaire, très important. En fait, il est plus important que dans la plupart des pays en avance en ce domaine, comme l'Allemagne, par exemple. La carte suivante nous donne le potentiel de la production solaire photovoltaïque (qui pourrait aussi s'appliquer dans une certaine mesure au solaire thermique), sur l'ensemble du globe, l'inclinaison des modules⁴⁶ étant égale à la latitude, donnant ainsi la valeur de la production moyenne annuelle maximale.



⁴⁶ Angle par rapport au sol

L'énergie solaire peut être divisée en deux grandes catégories : thermique et électrique.

L'énergie solaire thermique passive est celle qui, via certaines modifications dans la conception et l'orientation des bâtiments, permet d'obtenir de l'énergie passivement, c'est-à-dire sans équipements de type ventilateurs, circulateurs, réservoirs. Un bel exemple de réussite en ce domaine est le Solar Wall®.⁴⁷ Le solaire thermique, c'est aussi l'obtention d'énergie par l'utilisation de technologies de captage comme des panneaux solaires pour le chauffage de l'eau domestique, par exemple. L'énergie solaire thermique dite active nécessite des équipements spécialisés, contrairement à l'énergie solaire passive.

L'énergie solaire électrique consiste en l'utilisation de la lumière solaire pour la convertir directement en électricité, comme le photovoltaïque, ou indirectement, en convertissant d'abord la lumière solaire en chaleur qui servira ensuite à produire de la vapeur pour faire tourner une turbine qui entraînera un alternateur produisant de l'électricité. Cette dernière peut aussi se faire sous forme de cogénération (chaleur et électricité).

À part le solaire passif, dont le surcoût est faible ou inexistant par rapport aux solutions classiques, la technologie solaire est assez coûteuse par rapport aux prix actuels de l'électricité au Québec⁴⁸. Les problèmes d'approvisionnement énergétiques futurs devraient rendre plus intéressante l'utilisation de ces technologies. Toutefois, compte tenu du temps nécessaire à l'installation d'une industrie de ce type, l'instauration de mesures incitatives pour l'implantation, le plus rapidement possible, de ces technologies solaires pourrait profiter au Québec. Ces mesures pourraient prendre la forme, par exemple, d'une subvention comme celle qu'offre Hydro-Québec pour les installations d'équipements de géothermie.

Le scénario solaire envisagé (courbe sur le graphique à la fin de la section autres filières) suppose l'installation progressive de capteurs solaires thermiques, dans les secteurs résidentiel, commercial et institutionnel, produisant au total 6 TWh en 2030 soit, à titre comparatif, l'équivalent de 100% de l'eau chaude utilisée par 25% du secteur résidentiel.

L'énergie solaire dite passive est, quant à elle, intégrée dans la question de l'économie d'énergie et de l'efficacité énergétique. La production des autres formes d'énergie solaire, surtout en ce qui concerne le solaire électrique, va fort probablement demeurer relativement marginale, étant donné les coûts prohibitifs de ces technologies et la pression mondiale actuelle sur ces équipements dont la

⁴⁷ www.solarwall.com

⁴⁸ Équivalent ou légèrement supérieur au prix actuel de l'électricité d'Hydro-Québec pour le solaire thermique actif et supérieur à 20¢/kWh pour le photovoltaïque branché sur réseau.

demande est extrêmement forte⁴⁹. Toutefois, cette forme de production d'électricité ne doit pas être oubliée car la technologie évolue de façon très rapide dans ce domaine et le Québec devrait maintenir un pied dans le développement de cette technologie, surtout que la province est maintenant productrice du matériaux de base qu'est le silicium de grade solaire⁵⁰.

Éolien

L'inventaire éolien du Québec réalisé par Hélimax⁵¹ indique un potentiel éolien économiquement intéressant d'environ 100 000 MW. Les projets du dernier appel d'offres de 2000 MW, d'un total de 7722 MW⁵², démontrent l'intérêt actuel des promoteurs pour cette filière. Sur la carte, il est aisé de constater que le plus grand potentiel se situe dans les territoires nordiques et ses régions limitrophes ainsi que dans le couloir du Saint-Laurent.

L'éolien nordique, malgré son gigantesque potentiel, offre des limitations importantes en ce qui a trait au transport de l'électricité générée et des contraintes climatiques (givrage, par exemple)⁵³. Toutefois, la densité de l'air froid apporte une production supplémentaire moyenne d'environ 10%⁵⁴ pour le même équipement.

L'acceptabilité sociale de cette filière est contestée surtout en raison de son développement chaotique à ses débuts au Québec et par une prise de conscience de son impact sur les paysages. La technologie est importée de l'étranger, ce qui laisse peu de possibilités pour la création d'une industrie liée à celle-ci, excepté pour certaines composantes.

Cependant, ce qui limite le plus la filière éolienne est l'intégration de la production de cette source intermittente dans le réseau d'Hydro-Québec. Actuellement, la limite de la capacité de production éolienne reliée au réseau a été fixée à environ 10% de la puissance hydroélectrique disponible⁵⁵. Or, il serait

⁴⁹ SEIA, *The Solar Photovoltaic Industry in 2006*, 2006.

⁵⁰ Marie-Josée Montminy, *Bécancour solaire : 25 millions \$ et 50 nouveaux emplois*, Le Nouvelliste, 30 juillet 2007.

Léonie Laflamme-Savoie, *Une usine de 24M\$ pour Silicium Bécancour*, Les Affaires, 3 août 2007.

⁵¹ MRNF, site Internet

⁵² Hydro-Québec, site Internet

⁵³ Jean Perron, Guy Fortin, *Cercles de créativité: Quelques enjeux relatifs à la production d'énergie éolienne au Québec*, LIMA-UQAC, présentation dans le cadre du forum sur les territoires nordiques de Vision 2025, 14 mars 2008.

⁵⁴ Id.

⁵⁵ Hydro-Québec, site Internet

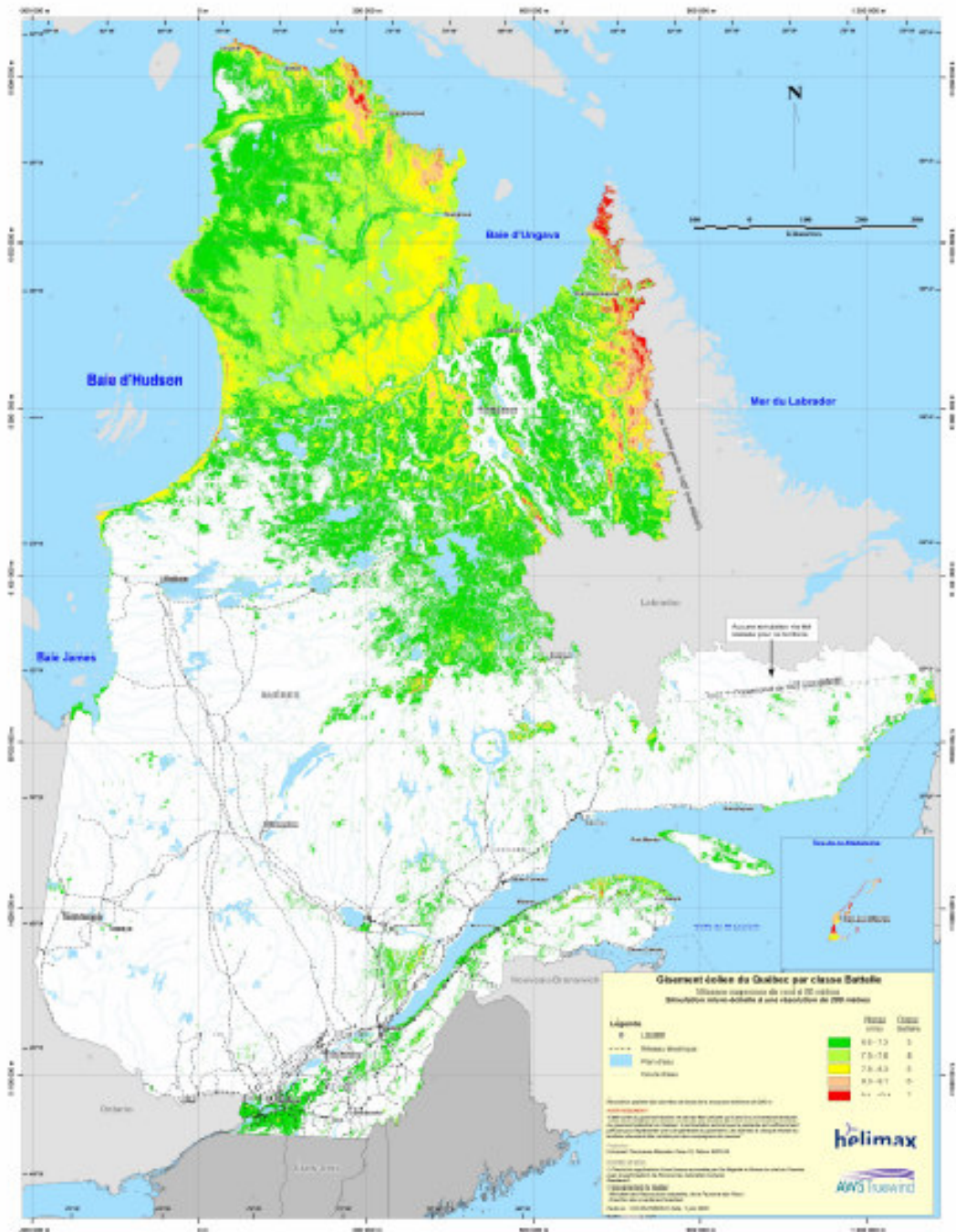
Gaëtan Lafrance, *Mémoire d'expert*, www.mrnf.gouv.gc.ca, 2004.

possible d'élever cette limite à 20%⁵⁶. Avec une interconnexion continentale, la puissance pourrait être encore plus élevée, mais la plupart des unités de production d'électricité au Canada, aux États-Unis et au Mexique fonctionnent à l'aide de combustibles fossiles (charbon et gaz naturel principalement). Avec les perspectives peu reluisantes de l'approvisionnement de ces sources, hausser la production éolienne à des niveaux très élevés s'avère risqué. De plus, comme dans le solaire photovoltaïque, il y a une très grande pression mondiale sur les fabricants d'éoliennes dont les carnets de commande sont remplis pour les prochaines années.

Le premier scénario envisagé, celui du 10%, est l'atteinte d'une puissance éolienne installée en 2030 de 5000 MW. Peu après 2015, selon l'appel d'offres actuel de 2000 MW et le futur appel d'offres communautaire de 500 MW, le Québec devrait disposer de 4000 MW éoliens. L'addition de 1000 MW en 15 ans serait donc une augmentation somme toute minime.

Le second scénario envisagé, celui du 20%, consiste à doubler la production du premier scénario, soit 10 000 MW éoliens installés. Un tel scénario est techniquement envisageable s'il est couplé avec une hausse des installations hydroélectriques. Demeurent toutefois encore les problèmes d'acceptabilité sociale, de la propriété de ces équipements ainsi que la disponibilité des équipements sur le marché.

⁵⁶ Gaëtan Lafrance, Vivre après le pétrole : mission impossible ?, Éd. Multi-Mondes, 2007.

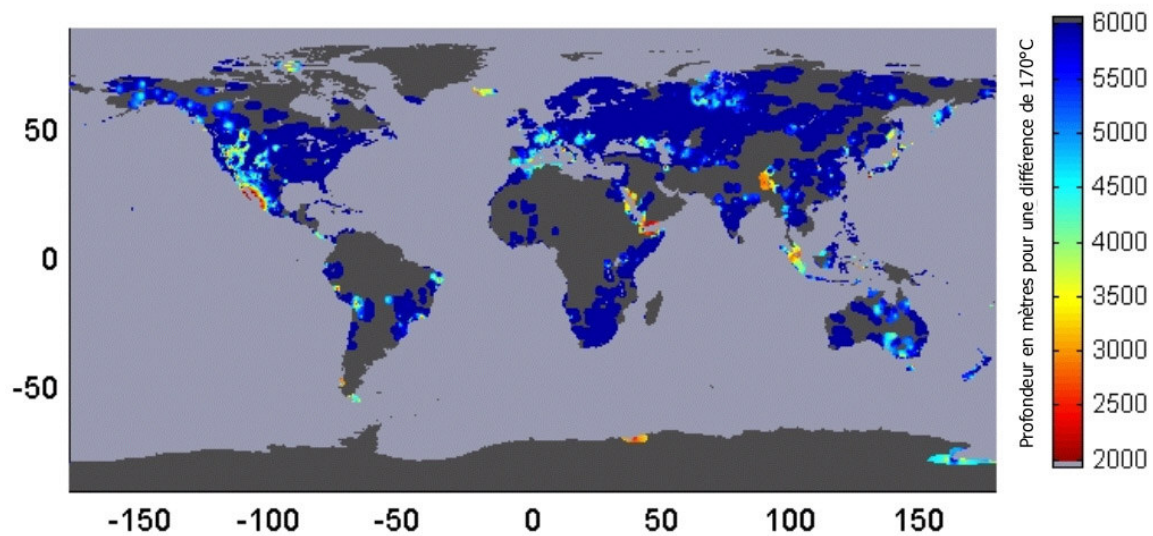


Carte des gisements éoliens québécois

Géothermie

La géothermie peut-être utilisée dans les applications nécessitant de la chaleur à basse température (chauffage ou séchage principalement). Il existe des technologies produisant de l'électricité à partir de la chaleur terrestre, mais elles nécessitent des forages profonds de plus de deux kilomètres. Le Québec ne semble pas posséder de potentiel intéressant à cet égard, comme on peut le voir sur la carte suivante.

Carte des potentiels mondiaux de la géothermie électrique



G. Czisch. ISET, Vtrg. Mgdb. 2001

Au Québec, la géothermie devra donc en rester au plan de la chaleur à basse température. Ce type de géothermie nécessite une source externe d'énergie, de l'électricité habituellement. Le rendement (COP : coefficient of performance) des installations géothermiques peu profondes (~ 2 mètres) à collecteurs horizontaux sont de l'ordre de 1,5 à 2,5, c'est-à-dire qu'elles produiront en chaleur de 1,5 à 2,5 fois l'énergie qui a été fournie dans le système. Ces systèmes utilisent en partie l'énergie solaire qui a réchauffé le sol durant l'été et l'énergie provenant du sous-sol. Les systèmes géothermiques à puits verticaux ont des rendements de l'ordre de 3,5 à 4 et sont beaucoup plus profonds (+100 mètres). Ils peuvent utiliser ou non l'eau de la nappe phréatique.

Les systèmes géothermiques peuvent être utilisés pour fournir la climatisation durant la période estivale avec des rendements semblables à ceux de la période de chauffage. Certaines études rapportent des problèmes de refroidissement à long terme des zones autour des puits dans les systèmes qui n'utilisent pas la climatisation. Si cela s'avérait, la géothermie perdrait une partie de son efficacité, en comparaison d'un système de chauffage unique dans une construction ne

nécessitant pas de climatisation (comme une construction bioclimatique, par exemple). La durabilité, la fiabilité et la disponibilité des équipements de pompage de chaleur pourraient aussi limiter l'expansion de cette filière.

Le scénario des perspectives pour la géothermie prévoit une installation progressive des équipements de production pour atteindre 8 TWh en 2030 soit, à titre indicatif, à peu près l'équivalent d'environ 15% de l'électricité utilisée actuellement pour le chauffage résidentiel.

Marémotrice

Nous n'avons aucune donnée concernant le potentiel de cette filière au Québec. Il semble, selon nos estimations et dans un horizon 2030, que la production d'installations marémotrices demeurera relativement marginale par rapport à l'ensemble de la production énergétique du Québec.

Des problèmes d'acceptabilité sociale, surtout au plan environnemental et maritime, pourraient fortement limiter l'exploitation d'un potentiel qui pourrait être important dans certaines zones du Saint-Laurent et de ses affluents, comme le Saguenay.

Nous n'avons donc pas inclut cette filière dans nos évaluations finales.

Apports de sources décentralisées

Il est important de dire quelques mots sur le sujet car les sources nouvelles d'énergie, comme le solaire et l'éolien, se prêtent souvent plus aisément à la décentralisation de la production que les sources plus conventionnelles.

La production électrique des pays industrialisés s'est habituellement constituée autour de quelques centrales importantes dans des réseaux de transport et de distribution que l'on pourrait qualifier de centralisés. Une nouvelle approche des réseaux électriques, principalement européenne, privilégie l'interconnexion de sources de faible puissance, moins de quelques mégawatts, et dispersées sur le territoire. Des expériences menées en Allemagne⁵⁷ ont d'ailleurs permis de vérifier la possibilité de produire de l'électricité dite de base (baseload), à partir

⁵⁷ Background Paper: The Combined Power Plant, et Technical summary of the Combined Power Plant, Renewable Energy Campaign Germany, www.kombikraftwerk.de

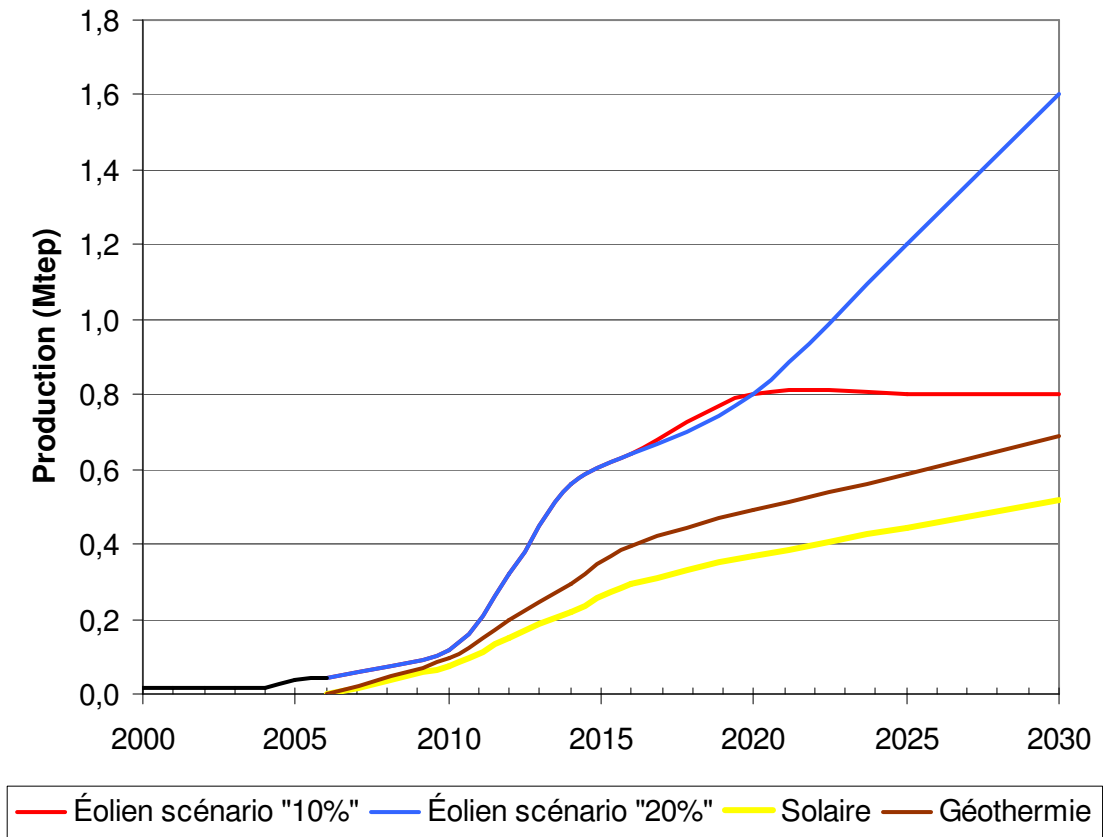
de sources entièrement renouvelables, en bonne partie intermittentes et distribuées sur un vaste territoire. Cela a permis de constater que la charge de base, contrairement à ce qu'il était permis de croire auparavant, ne nécessite pas nécessairement de centrale à combustibles fossiles. Une gestion informatique centralisée, prenant en compte les prédictions météorologiques sur 24 heures, était la pierre angulaire de ce type de «centrale» électrique.

Les réseaux décentralisés, appelés micro-réseaux, ayant une certaine autonomie dans la gestion locale de la production et de la consommation, et souvent interconnectés aux grands réseaux électriques, à l'image d'Internet, sont aussi à l'étude et sous expérimentation en Europe et un peu partout sur la planète. Des réseaux de ce type permettent l'utilisation de ressources énergétiques locales ainsi qu'une certaine gestion de la consommation d'énergie, ce qui augmente la sécurité de l'alimentation en électricité en cas de problèmes dans les plus grands réseaux de transport et de distribution.

Au Québec, l'approvisionnement en électricité est fiable, peu coûteux et provient presque entièrement de sources renouvelables. Toutefois, nous ne sommes pas à l'abri de problèmes d'approvisionnement importants comme en 1989 (tempête magnétique) ou lors de la crise du verglas en 1998. Nous ne savons pas non plus comment se comportera le réseau face à des problématiques d'approvisionnement de pétrole dans le futur et face aux changements climatiques qui affecteront le nord du Québec. Une expertise dans le domaine pourrait être utile.

Une première étape en ce sens a été mise en application depuis 2006 par Hydro-Québec qui autorise maintenant le mesurage net. Cela permet aux petits autoproducteurs d'électricité de sources renouvelables (solaire, éolien, micro-hydro, biomasse) de fournir le réseau, au tarif résidentiel, jusqu'à concurrence de ce qu'ils ont consommé sur le réseau. Les ajustements crédit-achat se font annuellement. Le réseau sert donc d'accumulateur autant pour le stockage de la source intermittente installée que pour fournir la puissance nécessaire au client/producteur. La prochaine étape serait d'acheter directement aux petits producteurs à des tarifs préférentiels permettant la rentabilité des équipements de production, comme cela se fait dans plusieurs pays (Espagne, Allemagne, Japon...) et en Ontario, par exemple.

Autres productions disponibles au Québec



Les perspectives de l'énergétique au Québec

Dans cette partie, nous allons combiner les perspectives de production des filières que nous avons décrites dans la partie précédente et ce, selon différents scénarios. Nous comparerons ces scénarios de la production totale à des scénarios de consommation. Nous verrons aussi les effets des scénarios étudiés sur les émissions de gaz à effet de serre.

Le choix des scénarios a été fondé sur les limites probables et réalistes des différentes sources d'énergie (disponibilité des approvisionnements, des équipements, du financement...), selon les meilleures informations dont nous disposons actuellement. Les scénarios extrêmes étant aux limites des plages des possibilités, il y a une infinité de scénarios intermédiaires possibles. Ces limites pourraient aussi évoluer dans le temps de manière positive ou négative, restreignant ou augmentant les possibilités. L'objectif d'un tel exercice est donc de circonscrire les possibilités de la production et de la consommation globales d'énergie au Québec, dans l'éventualité d'une planification énergétique.

Les scénarios de demande en énergie

Depuis longtemps au Québec, la question de la consommation d'énergie a été laissée au bon vouloir de chacun, des individus comme des administrations. Les exercices de planification ou de stratégie énergétique consistaient donc à tenter de prévoir la hausse future de la demande énergétique selon chaque filière, en prenant généralement pour acquis une croissance inévitable de la demande en énergie.

Or, une croissance continue de la consommation totale d'énergie est l'antithèse de l'économie effective d'énergie, comme nous l'avons vu dans le second volet de cette étude. L'économie d'énergie a d'ailleurs souvent été confondue avec l'efficacité énergétique. L'efficacité énergétique est une condition nécessaire mais non suffisante à l'économie d'énergie.

Rarement des limites apposées à la production de biens ont eu comme conséquence de limiter la croissance de la consommation totale d'énergie, voire de la diminuer, hormis pendant les périodes de crise, principalement durant les deux chocs pétroliers des années 1970. Dans la conception moderne de l'économie, la croissance de celle-ci est vue comme une nécessité à son bon fonctionnement⁵⁸, entraînant une croissance de la consommation d'énergie.

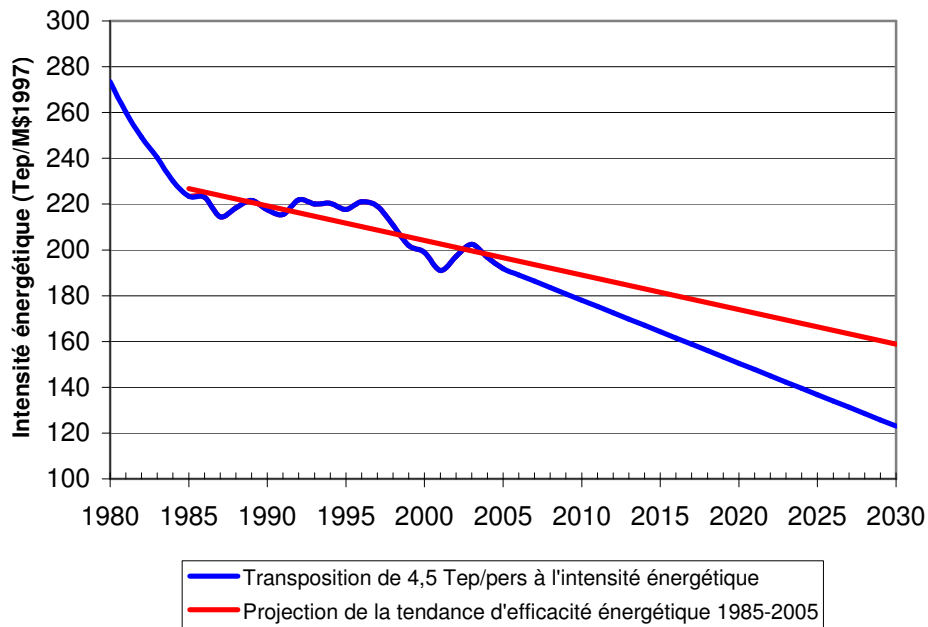
⁵⁸ Patrick Déry, *L'économie d'énergie dans un libre-marché est-elle illusoire?*, second volet du rapport sur l'énergétique régionale du Saguenay-Lac-St-Jean, Conseil régional de l'environnement et du développement durable et Groupe de recherches écologiques de La Baie, novembre 2007. Jeff Rubin, *The Efficiency Paradox*, CIBC, november 2007.

Dans l'histoire récente de l'énergétique, aucune économie, sur une période de temps importante et sans crise, n'a réussi à échapper à la corrélation entre la croissance de l'économie et celle de la consommation d'énergie. Tout au plus, et ce depuis les années 1970, l'efficacité énergétique a permis d'influer légèrement sur le taux de croissance de la consommation d'énergie⁵⁹.

Nous avons, pour les besoins des divers scénarios de production, déterminé cinq scénarios de consommation énergétique. Trois de ces scénarios sont basés sur l'intensité énergétique, c'est-à-dire l'énergie requise par tranche de produit intérieur brut (PIB). Les deux autres sont basés sur la consommation d'énergie per capita.

Dans les scénarios de consommation d'énergie basés sur l'intensité énergétique, nous considérons une croissance économique moyenne (PIB) de 1,5% annuellement jusqu'en 2010 et de 2% annuellement de 2010 à 2030. Le premier scénario, 190 Tep/M\$1997 en 2030, est celui où il n'y a aucune efficacité énergétique supplémentaire qui est additionnée à celle déjà existante. Le second scénario, 160 Tep/M\$1997, est celui où il y a une progression de l'efficacité énergétique qui se poursuit au même rythme que celle implantée depuis 1985, comme on peut le voir sur le graphique suivant.

Projection du potentiel de réduction de l'intensité énergétique



⁵⁹ Idem

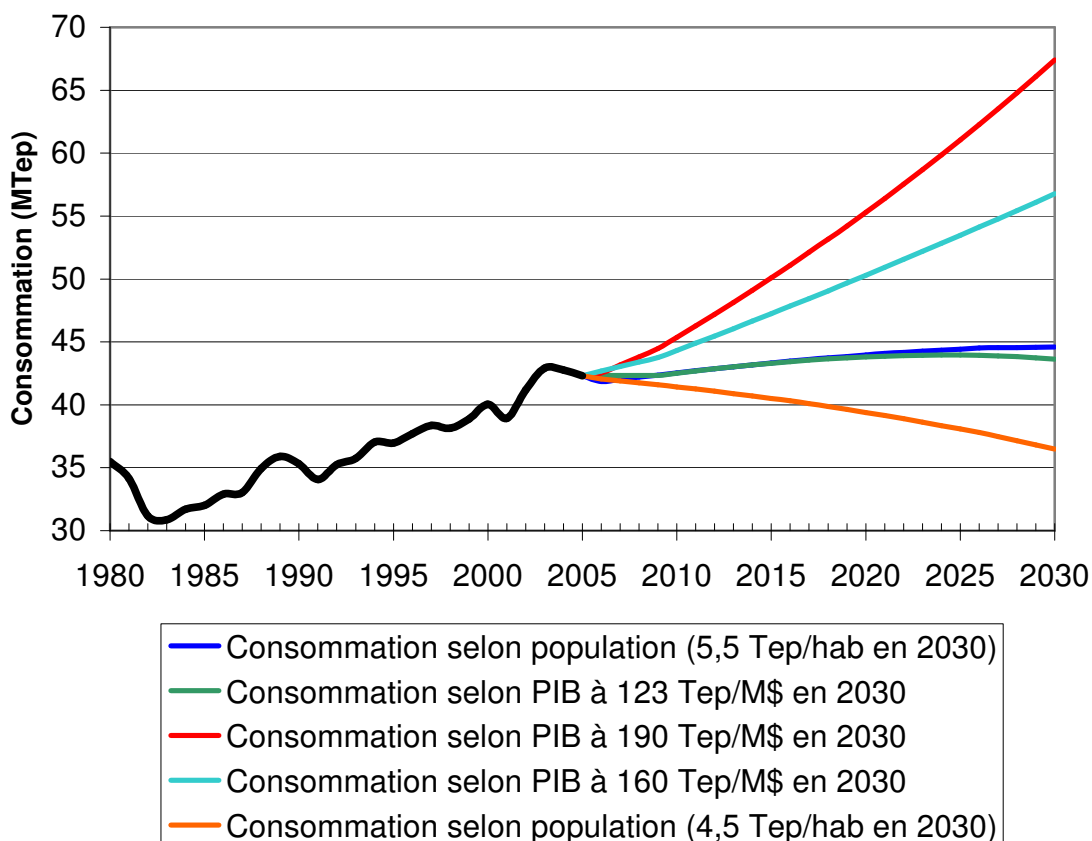
Le troisième scénario, 123 Tep/M\$1997, est celui d'une progression de l'efficacité énergétique pour maintenir jusqu'en 2030 une consommation d'énergie per capita équivalente au taux actuel, soit 5,5 Tep/personne.

De ces trois scénarios, et compte tenu des mesures en place, le plus probable est celui de 160 Tep/M\$1997. Toutefois, il est difficile de connaître à quel moment la courbe s'infléchira vers le haut, donc vers un taux de croissance supérieur de la consommation d'énergie, parce qu'il deviendra de plus en plus exigeant et coûteux d'implanter les mesures d'efficacité énergétique. Par exemple, lorsque que, hypothétiquement, l'ensemble des moteurs industriels auront atteint des efficacités supérieures à 95%, il deviendra impossible, par le remplacement des moteurs, d'améliorer l'efficacité énergétique de façon significative sur ce point. Il semble qu'il y ait encore beaucoup d'améliorations à apporter pour une meilleure utilisation de l'énergie, de sorte que l'atteindre d'un objectif de 160 Tep/M\$1997 paraît vraisemblable, surtout que ce taux est à peine supérieur à celui de plusieurs pays européens.

Un scénario plus économe comme celui du 123 Tep/M\$1997 est beaucoup plus exigeant et nécessite des mesures beaucoup plus musclées d'efficacité énergétique que celles qui ont été déployées jusqu'à présent. Ce scénario ne permet toutefois pas d'économies effectives d'énergie par rapport à 2005.

Les deux scénarios liés à la population québécoise consistent, pour le premier, au maintien de la consommation d'énergie per capita équivalente au niveau actuel, et pour le second, à une diminution de la consommation d'énergie per capita à 4,5 Tep/personne, soit un taux légèrement supérieur à celui des Allemands (~4,2 Tep/pers).

Perspectives de la consommation totale d'énergie du Québec



Sur le graphique des perspectives de la consommation totale d'énergie du Québec, nous pouvons constater que le statu quo sur le plan de l'efficacité énergétique n'est pas viable, surtout dans un contexte de prix élevés de l'énergie, car il nous amène à multiplier notre consommation d'énergie par un facteur de 1,6. Les scénarios 123 Tep/M\$1997 et le maintien de 5,5 Tep/personne donne un résultat semblable, soit le plafonnement de notre consommation totale d'énergie. Le scénario de 4,5 Tep/personne en 2030 est le seul qui permette une réelle économie d'énergie. Il a comme caractéristique une consommation per capita semblable à celle que l'on retrouve dans des pays européens à l'avant-garde au point de vue énergétique.

Pour des besoins de simplification, nous ne conserverons, pour la partie suivante, que les scénarios 4,5 Tep/personne et 160 Tep/M\$1997 parce qu'ils constituent des limites probables à l'évolution de la consommation future d'énergie au Québec jusqu'en 2030. La limite supérieure exige peu d'efforts par rapport à ce

qui se fait déjà actuellement et la limite inférieure nécessite une direction claire vers les économies effectives d'énergie.

Les scénarios de production

Nous avons généré cinq scénarios qui représentent chacun une combinaison différente de la production de chacune des filières étudiées précédemment : un scénario de référence, un scénario minimum, un scénario maximum, un scénario d'une indépendance au pétrole en 2030 et une variante de ce dernier scénario. Chacun est illustré par un graphique où est cumulée la production de chaque filière à chaque année. Nous y avons ajouté les courbes des deux scénarios de la demande énergétique, choisis dans la section précédente, sauf pour certains où la limite inférieure de la demande était inutile, étant donné la trop forte hausse de la production disponible.

Pour tous les scénarios, nous présenterons les choix pour chacune des filières, nous justifierons ces choix et nous ferons quelques observations.

Scénario Référence

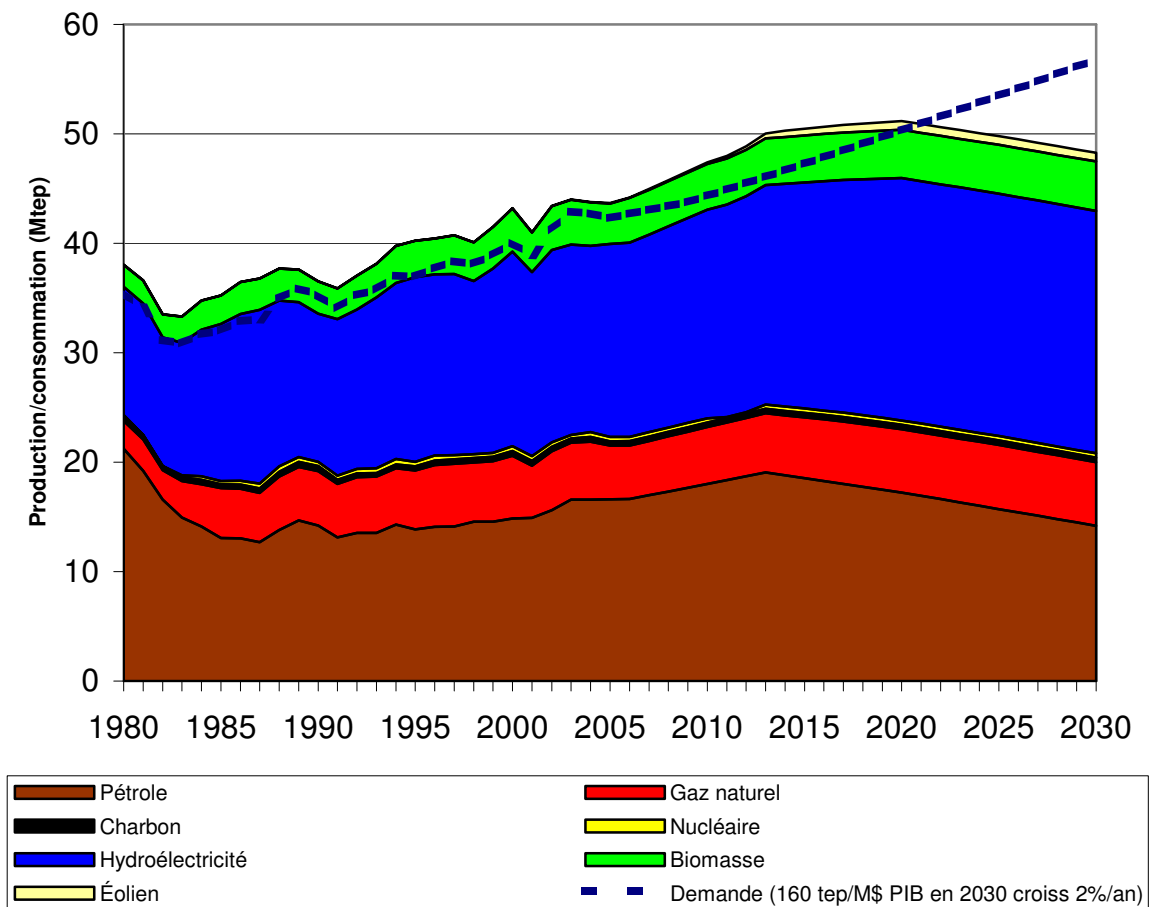
Ce scénario est une illustration des choix énergétiques qui sont effectués actuellement, ainsi que des perceptions sous-jacentes à ces choix. C'est le scénario de la continuité, du *business-as-usual*.

La production de pétrole est perçue comme si elle était pratiquement éternelle. Notre scénario propose toutefois une restriction autour de 2013, car même l'Agence Internationale de l'Énergie, réputée relativement optimiste, considère des restrictions fortement probables d'ici 2011⁶⁰. La croissance de la production de gaz naturel sur le continent américain, ainsi que son importation des pays hors continent, sont franchement optimistes avec les prévisions de l'Energy Information Administration étasunienne. Le charbon, peu employé au Québec, se maintient. Il y a réfection de la centrale nucléaire Gentilly-2. Les projets hydroélectriques prévus jusqu'en 2020 se réalisent, mais il n'y a aucun nouveau projet par la suite. Il n'y a aucun incitatif pour la biomasse, qui se maintient à son niveau de 2005 jusqu'en 2030. L'on ajoute à l'éolien quelque 1000 MW supplémentaires entre 2020 et 2030. Aucun projet d'envergure n'est mis en branle en ce qui concerne le solaire et la géothermie.

⁶⁰ Agence internationale de l'énergie, Medium Term Oil Market Report, July 2007.

Filières	Choix des perspectives futures des filières
Pétrole	Robelius
Gaz naturel	EIA
Charbon	Continuité
Nucléaire	Avec réfection
Hydroélectricité	Aucun nouveau projet
Biomasse	Continuité
Éolien	5000 MW
Solaire	Non
Géothermie	Non

Perspective énergétique "Référence"



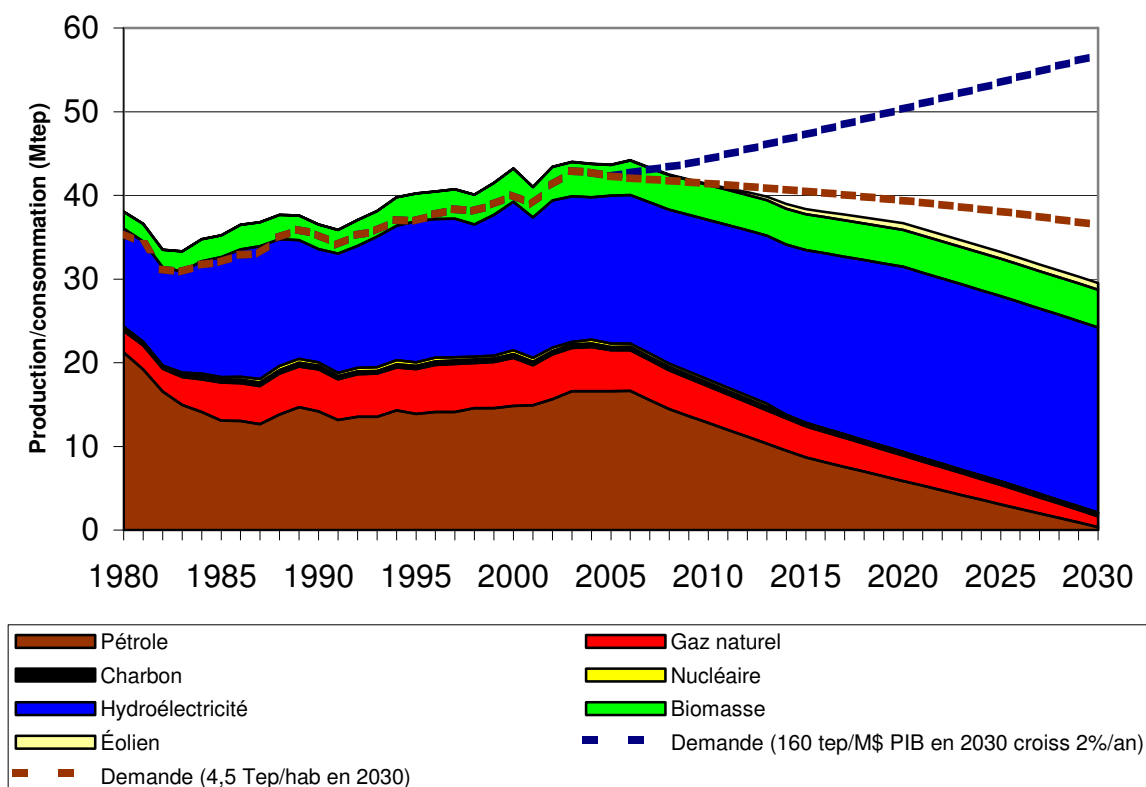
Dans un tel scénario, la croissance de la consommation et les exportations d'énergie peuvent se poursuivre jusqu'en 2020 environ. Par la suite, il y a rupture majeure entre la croissance de la consommation et la décroissance de la production. Rapidement, l'exportation se transforme en une « destruction de la demande » (la demande réelle ne peut être supérieure à l'offre) s'il n'y a pas une source quelconque pour combler le déficit qui s'accroît d'année en année. Le niveau atteint par la consommation en 2020 est de plus de 20% supérieur à la consommation de 2005. Il est alors encore plus difficile de diminuer sans heurt la consommation effective d'énergie, à cause de l'inertie inhérente à la croissance rapide de la consommation d'énergie. Ce scénario est hautement spéculatif car nous n'avons aucun contrôle sur l'importation des sources majeures d'énergie que sont le pétrole et le gaz naturel.

Scénario Minimum

Ce scénario est une variante du scénario Référence. Les différences se situent sur des prédictions plus pessimistes de la production pétrolière et gazière ainsi que sur le choix de ne pas réaliser la réfection de la centrale de Gentilly-2 pour diverses raisons (environnementales, politiques, sanitaires...).

Filières	Choix des perspectives futures des filières
Pétrole	ELM moyen
Gaz naturel	Laherrère
Charbon	Continuité
Nucléaire	Sans réfection
Hydroélectricité	Aucun nouveau projet
Biomasse	Continuité
Éolien	5000 MW
Solaire	Non
Géothermie	Non

Perspective énergétique "Minimum"



Dans un tel scénario, et à la différence du scénario de référence dont il est issu, les problèmes d'approvisionnement énergétique commenceraient rapidement, c'est-à-dire avant 2012. N'étant pas préparée à de telles perspectives, l'économie du Québec risquerait une dépression économique sévère⁶¹. Des mesures d'économie d'énergie devront être prises rapidement et s'apparenteront plus à des coupures et des interruptions. On peut voir qu'actuellement, de telles mesures sont adoptées dans de nombreux pays d'Afrique et d'Asie,

⁶¹ Patrick Déry, L'économie d'énergie dans un libre-marché est-elle illusoire?, second volet du rapport sur l'énergétique régionale du Saguenay-Lac-St-Jean, Conseil régional de l'environnement et du développement durable et Groupe de recherches écologiques de La Baie, novembre 2007.

Robert L. Hirsch, World Oil Shortage Scenarios for Mitigation Planning, Presentation to ASPO-USA, October 17-20, 2007.

John Fernald, Bharat Trehan, Why Hasn't the Jump in Oil Prices Led to a Recession? FRBSF Economic Letter, Number 2005-31, November 18, 2005.

Nouriel Roubini, Brad Setser, The effects of the recent oil price shock on the U.S. and global economy, Stern School of Business, NYU and Global Economic Governance Programme, University College, Oxford, August 2004.

particulièrement en Afrique du Sud⁶². Dans un tel contexte, la stabilité sociale pourrait être ébranlée.

Ce scénario peut représenter le pire des cas car il implique un refus de voir l'ensemble des perspectives futures. Il suppose aussi une foi inébranlable en l'économie et la technologie⁶³. Le libre-marché est laissé à lui-même et l'on croit qu'il trouvera automatiquement les solutions aux problèmes d'approvisionnement énergétique dans l'avenir.

Or, cela fait maintenant plus de 5 ans que les prix du pétrole croissent de façon vertigineuse et, selon les tenants de l'économisme et de la loi du marché, nous aurions dû déjà trouver de nouvelles réserves et/ou des sources de substitution. Mais ce n'est pas le cas. Les compagnies de pétrole préfèrent remettre des dividendes records⁶⁴ aux actionnaires plutôt que d'augmenter leurs réserves ou d'investir dans les substituts au pétrole, car l'argent investi dans l'exploration n'est pas rentabilisé par les découvertes. Les pays producteurs préfèrent quant à eux conserver leurs ressources pour leur propre consommation actuelle et à venir, tout en cherchant à maintenir une certaine cohésion sociale.

La hausse des prix profite à l'ensemble des producteurs de pétrole, mais pas aux consommateurs. Les substituts viables au pétrole n'existent toujours pas dans des quantités qui seraient requises pour le fonctionnement nos sociétés industrielles. Le libre-marché n'a donc pas encore trouvé la solution.

Scénario Maximum

Dans ce scénario, c'est comme si l'on poussait sur l'accélérateur pour le développement de toutes les sources possibles, autant renouvelables que non-renouvelables. Les perspectives d'approvisionnement provenant des sources fossiles d'énergie sont, comme pour le scénario Référence, relativement optimistes. Des efforts importants sont consacrés à l'efficacité énergétique, mais aucun n'est déployé pour l'économie effective d'énergie. C'est un scénario où l'on ne se soucie pas de la question du réchauffement climatique et de la pollution en général. C'est la fuite en avant jusqu'en 2030.

⁶² Michael Wines, Toiling in the dark : Africa's Power Crisis, July 2007.

South Africa declares electricity emergency, Sydney Morning Herald, 26 Jan 2008.

William MacNamara, Eskom to buy back power to stem shortage, Financial Times, 15 Feb 2008.

⁶³ Edward Tapamor, Peak oil is here : enjoy!, Resource Inventor, March 28, 2008.

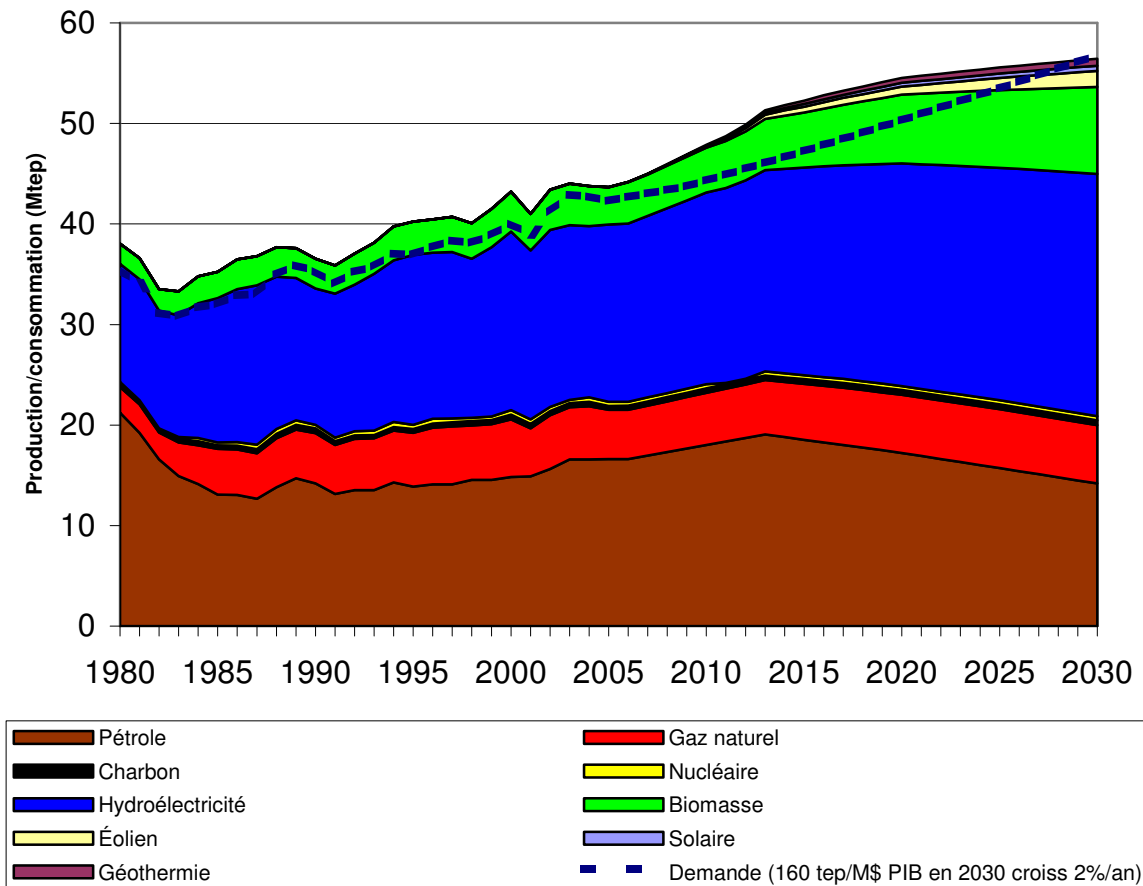
⁶⁴ Christopher Palmeri, Why Exxon won't produce more, Business Week, 20th March 2008

AFP, Pétrole - Nationalisme, concurrence et pétrole cher pèsent sur les réserves des majors, Le Devoir, 18 mars 2008.

Kenneth Stier, Oil firm in "liquidation" says Peak Oil advocate, CNBC.com, 25 mars 2008.

Filières	Choix des perspectives futures des filières
Pétrole	Robelius
Gaz naturel	EIA
Charbon	Maximal
Nucléaire	Avec réfection
Hydroélectricité	1 Péribonka par an
Biomasse	Résidus et attributions
Éolien	10 000 MW
Solaire	Oui
Géothermie	Oui

Perspective énergétique "Maximum"



Dans un tel contexte d'abondance relative de l'énergie, et considérant un approvisionnement pétrolier et gazier hautement spéculatif, les exportations d'énergie pourraient être importantes jusqu'en 2025 environ. Par la suite, l'offre d'énergie ne suit pas la demande. De plus, à partir de 2030, l'ensemble de la production énergétique déclinera. Tout le travail d'économie effective d'énergie sera alors à faire mais dans un contexte de haute consommation d'énergie per capita (~7 Tep/habitant). Le Québec se retrouvera aussi avec le démantèlement en 2035 de la centrale nucléaire Gentilly-2, ce qui occasionnera potentiellement, en plus de la perte de cette production, des coûts énergétiques supplémentaires pour la disposition à long terme des déchets radioactifs⁶⁵.

Scénario Indépendance au pétrole 2030

Ce scénario découle en partie du scénario maximal car on accélère le développement des sources d'énergie, mais uniquement celles qui sont renouvelables. Il y a fermeture de la centrale nucléaire Gentilly-2 en 2013. Les perspectives sont plus pessimistes quant à la production pétrolière ou alors on fait le choix, en considération du réchauffement climatique, de diminuer notre utilisation de cette source d'énergie.

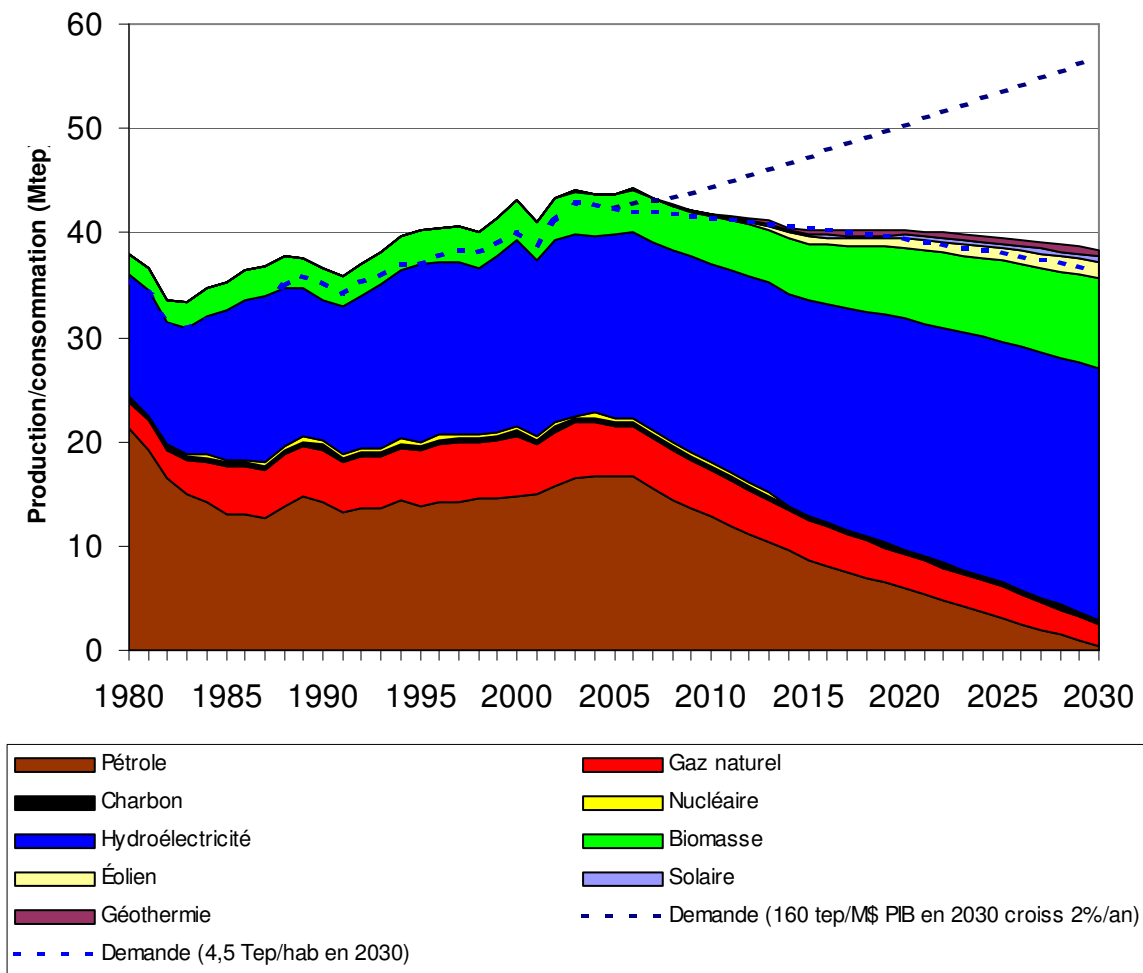
Il y a maintien de l'usage du gaz naturel, mais avec une diminution de la production d'environ 3% annuellement pour atteindre une consommation totale de gaz naturel en 2030, ainsi diminuée d'un facteur de 2,3 par rapport à 2005. L'usage du charbon est maintenu car il contribue à certains usages industriels particuliers dont il faudra trouver des substituts à long terme.

La différence majeure d'un tel scénario est la prise en compte de la planification de la réduction de la consommation totale d'énergie. Ceci suppose un développement accéléré des méthodes d'efficacité énergétique, mais aussi un encadrement permettant des économies effectives d'énergie. Cet encadrement pourrait prendre la forme de taxes progressives sur l'énergie ou de quotas échangeables d'énergie, par exemple.

⁶⁵ Patrick Déry, Quel rendement sur notre investissement énergétique?, troisième volet du rapport sur l'énergétique régionale du Saguenay-Lac-St-Jean, Conseil régional de l'environnement et du développement durable et Groupe de recherches écologiques de La Baie, février 2008.
David Fleming, The Lean Guide To Nuclear Energy : A Life-Cycle in Trouble, The Lean Economy Connection, November 2007.
John Busby, Why nuclear power is not a sustainable source of low carbon energy, March 2008.

Filières	Choix des perspectives futures des filières
Pétrole	ELM moyen
Gaz naturel	Laherrère + GNL
Charbon	Continuité
Nucléaire	Sans réfection
Hydroélectricité	1 Péribonka par an
Biomasse	Résidus + attributions
Éolien	10 000 MW
Solaire	Oui
Géothermie	Oui

Perspective énergétique "Indépendance pétrolière 2030"



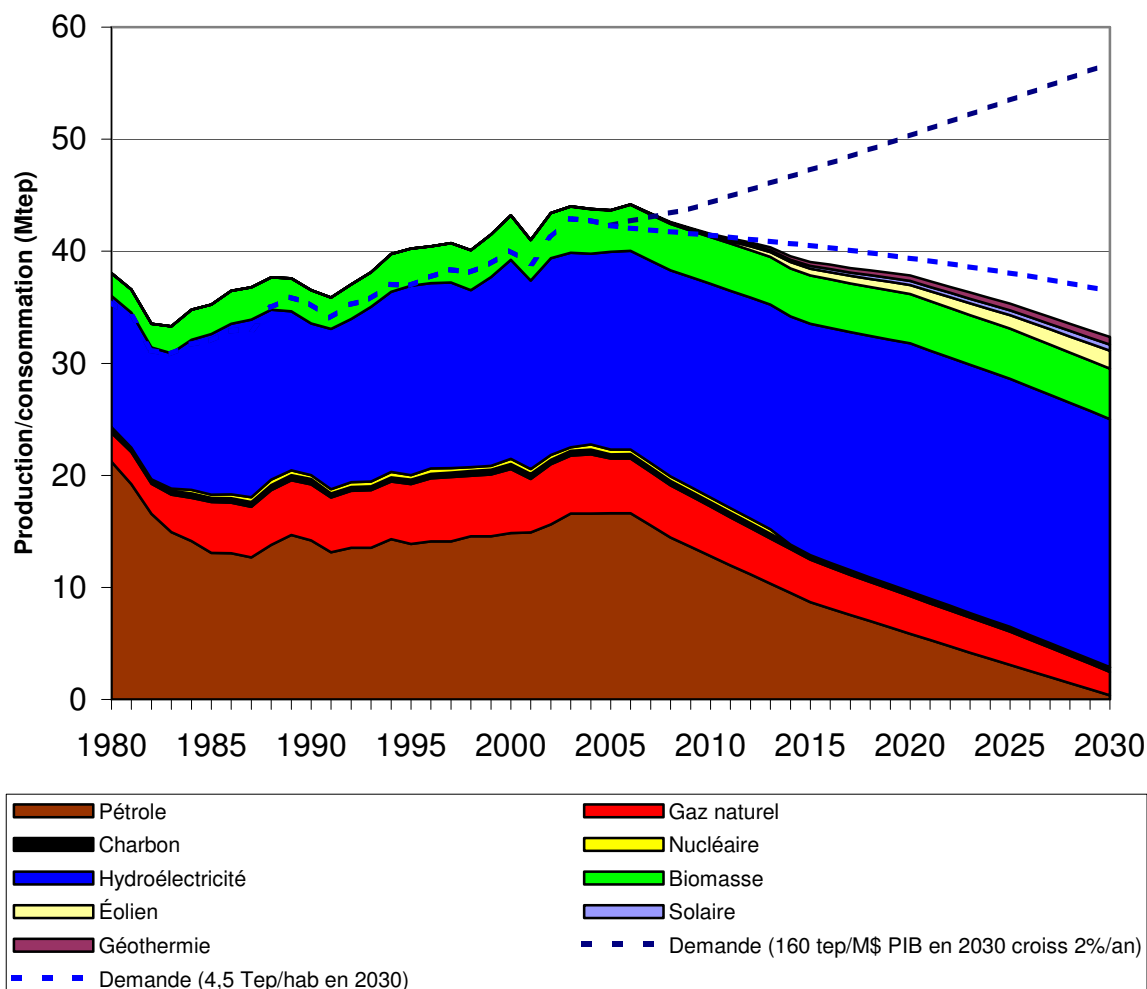
La consommation d'énergie atteint, en 2030, l'équivalent de ce qu'elle était vers le milieu des années 1990 mais avec une population qui a augmenté de 12%. La consommation d'énergie per capita est encore, malgré tout, supérieure à celle de l'Allemagne actuelle (4,2 Tep/habitant). Il y a même un léger surplus dans la production d'énergie, ce qui laisse une marge pour les échanges et la sécurité des approvisionnements. Cela pourrait aussi contribuer à réduire la balance commerciale du secteur énergétique. À partir de 2035 environ, la production d'énergie pourrait se stabiliser autour de 4,4 Tep/habitant et être d'origine entièrement renouvelable.

Variante du scénario Indépendance pétrolière 2030

Cette variante du scénario précédent est celui d'un développement des sources perçues aujourd'hui comme étant plus écologiques (éolien, solaire, géothermie) et l'arrêt du développement de celles actuellement perçues au Québec comme néfastes à l'environnement (hydroélectricité et biomasse). La centrale nucléaire Gentilly-2 termine ses opérations en 2013.

Filières	Choix des perspectives futures des filières
Pétrole	ELM moyen
Gaz naturel	Laherrère+GNL
Charbon	Continuité
Nucléaire	Sans réfection
Hydroélectricité	Aucun nouveau projet
Biomasse	Continuité
Éolien	10 000 MW
Solaire	Oui
Géothermie	Oui

Indépendance pétrolière 2030 sans ajout de biomasse et d'hydroélectricité



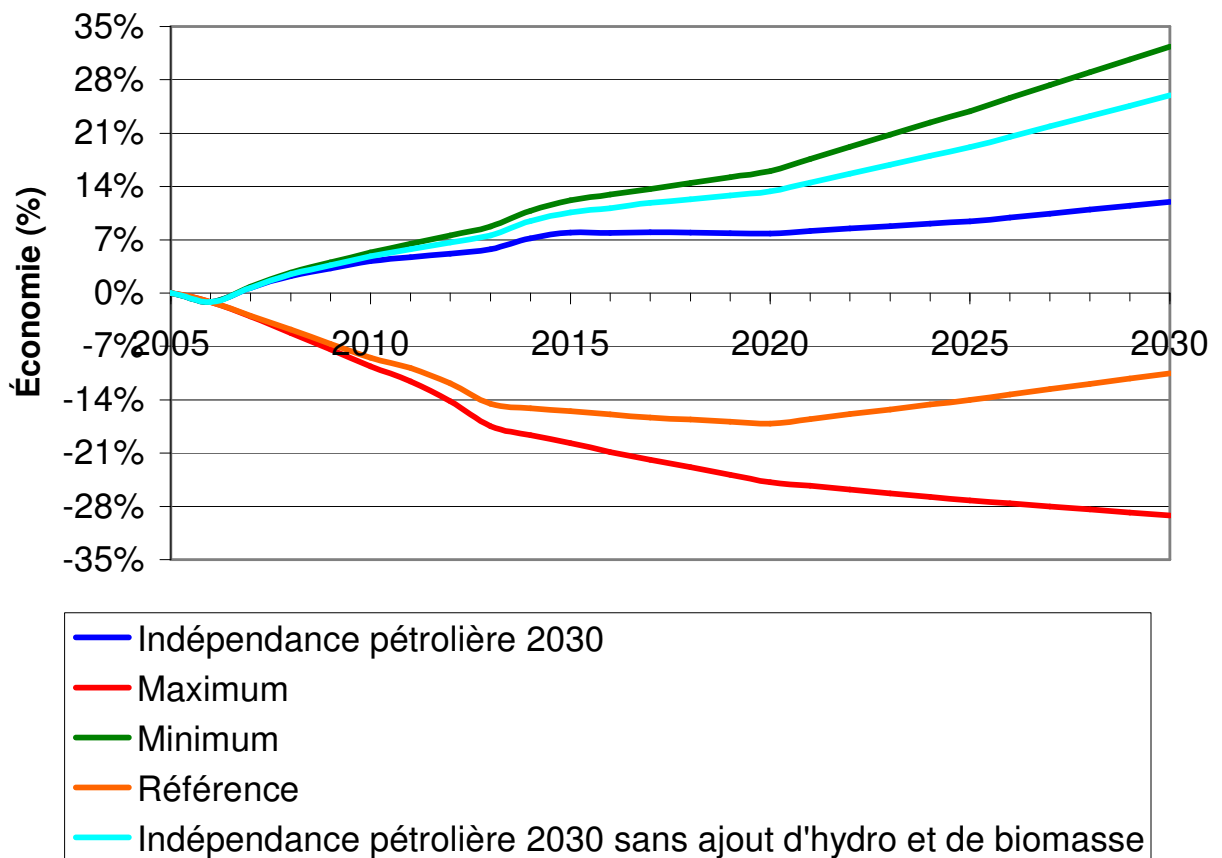
Un tel scénario est beaucoup plus exigeant en ce qui a trait à l'économie effective d'énergie car, en 2030, la cible à atteindre tournerait autour de 4 Tep/habitant, soit un niveau inférieur à celui de l'Allemagne actuelle, par exemple.

L'ajout de production supplémentaire à celle des scénarios modélisés provenant des sources nouvelles (géothermie, solaire, éolien) ne nous semble pas techniquement réaliste car l'histoire de ces filières et les informations dont nous disposons ne nous permettent pas de penser qu'elles pourraient se développer à une vitesse considérablement supérieure. Par ailleurs, même en doublant leur production respective en 2030, elles ne pourraient compenser la différence occasionnée par le fait de délaisser le développement de l'hydroélectricité et de la biomasse forestière.

Les économies effectives d'énergie des scénarios

Afin d'illustrer les efforts d'économie d'énergie qui devraient être consentis selon chaque scénario, nous avons réalisé le graphique des économies d'énergie relatives à l'année 2005. Pour chaque scénario, nous avons donc fait la différence de la production totale d'énergie de chaque année divisé par la production totale d'énergie en 2005.

Économie d'énergie effective par rapport à l'année 2005



Le scénario qui commande le plus d'économie d'énergie est celui du minimum avec 32,4%, suivi par la variante de IP 2030 (sans ajout d'hydroélectricité et de biomasse) à 25,9%, puis le scénario d'indépendance au pétrole en 2030 à 12%, soit l'équivalent de 60 TWh. Ce dernier scénario est plus de deux fois moins exigeant par rapport aux économies d'énergie que sa variante et près de trois fois moins que le minimum.

Les deux scénarios suivants augmentent la consommation totale d'énergie par rapport à 2005. Le scénario de référence nécessite un supplément de 10,2% en 2030 en passant par un maximum de 17,2% d'augmentation en 2020. Le scénario maximum permet de disposer de 29,2% plus d'énergie disponible à la consommation en 2030 qu'en 2005.

Les émissions de gaz à effet de serre des scénarios

L'énergie, et ce autant à l'échelle mondiale qu'à l'échelle québécoise, est la principale source de gaz à effet de serre (GES). Les GES liés à la consommation énergétique représentent environ 75% des GES au Québec⁶⁶.

Pour simplifier le travail, nous avons besoin d'un indicateur unique afin de comparer les différents scénarios sur le plan environnemental. Nous aurions pu étudier l'ensemble des polluants, les modifications territoriales, la variation de la biodiversité ou tout autre indicateur environnemental, mais les ressources consenties pour cette étude ne le permettaient pas. Nous avons donc opté pour ne conserver que l'indicateur GES évaluant le problème le plus criant au plan environnemental et celui qui pourrait même remettre en question la survie à long terme de l'espèce humaine sur terre, c'est-à-dire les changements climatiques.

Chaque source s'est vue attribuer une valeur d'émission de GES totaux en mégatonne équivalent de CO₂ par mégatonne équivalent pétrole⁶⁷.

Filières	Émissions GES (MT éq.CO2/Mtep)
Hydroélectricité	0,2326
Éolienne	0,17445
Photovoltaïque	0,5815
Nucléaire	0,13956
Géothermie	0,1163
Biomasse forestière	0,12144
Pétrole	3,09883
Charbon	4,11642
Gaz naturel	2,12312
Solaire thermique	0,25126

⁶⁶ Inventaire Québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2005 et leur évolution depuis 1990, Direction des politiques de l'air, Ministère du Développement Durable, Environnement et Parcs, 2007.

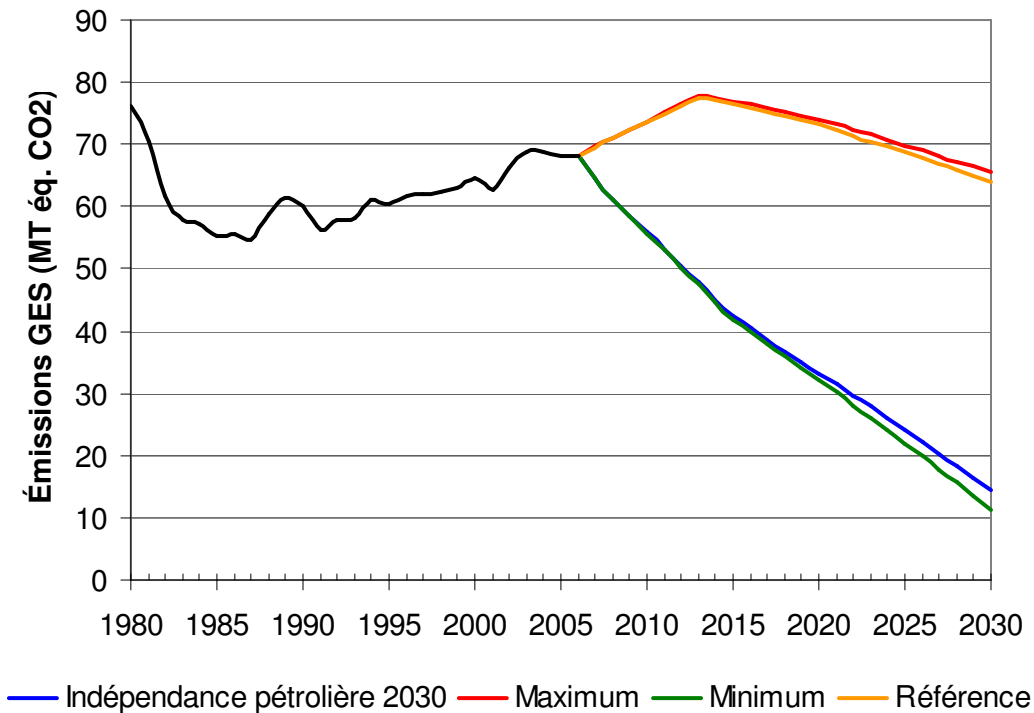
⁶⁷ Bureau d'enregistrement des mesures volontaires sur les changements climatiques
Luc Gagnon, Émissions de gaz à effet de serre : comparaison des options de production d'électricité, Hydro-Québec, 2003.

Luc Gagnon, Émissions atmosphériques des options de chauffage, Hydro-Québec, 2005.

À l'aide de ces taux, nous avons pu calculer les émissions de CO₂ liées à l'énergie. Les résultats des calculs des émissions historiques (1990-2005) liées à la consommation d'énergie concordent avec les émissions québécoises de l'équivalent CO₂ de l'inventaire des GES québécois liés à l'énergie dans une marge de ±5%. Ceci confirme la validité des taux que nous avons utilisés.

Les émissions de GES de chaque scénario ont été calculées et mises en graphique, excepté la variante IP 2030 dont les résultats sont très semblables au scénario d'Indépendance au pétrole 2030. L'ajout de cette courbe n'aurait pas aidé à la compréhension du graphique.

Émissions totales de GES provenant de la consommation énergétique québécoise

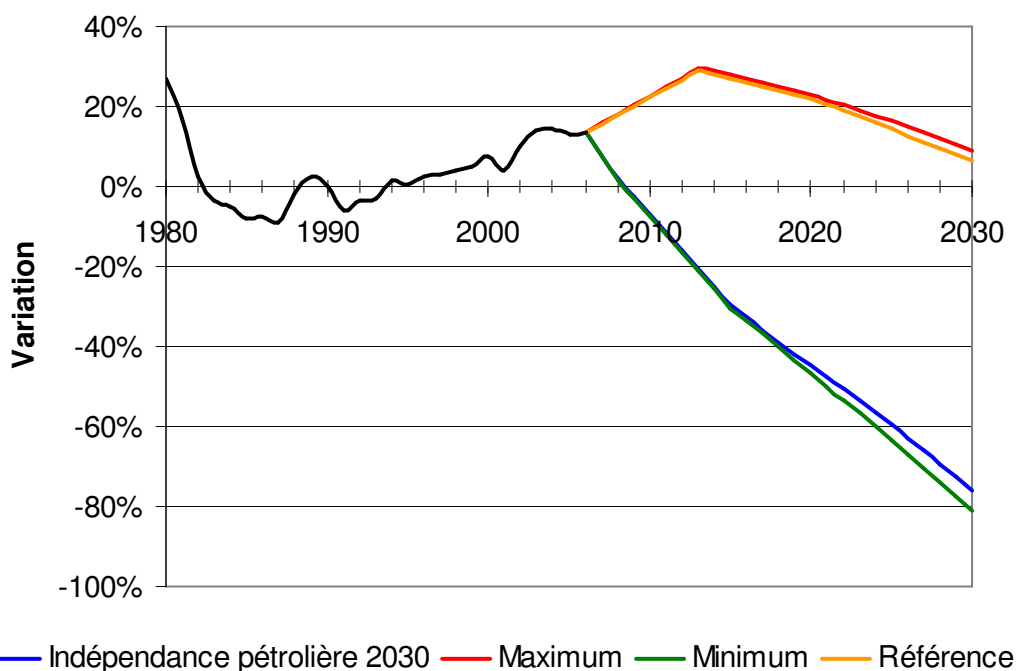


Les résultats que nous avons obtenus bifurquent en deux groupes distincts très semblables du point de vue des émissions de GES. Le premier groupe, celui que l'on nommera « continuité », et qui regroupe les scénarios Maximum et Référence, maintient des émissions de GES provenant de la consommation énergétique en moyenne autour de 70 MT éq. CO₂, pour descendre à 65 MT éq. CO₂ en 2030. Le second groupe, que l'on appellera « Kyoto », et qui regroupe le scénario Indépendance au pétrole 2030, et sa variante (sans ajout d'hydroélectricité et de biomasse) et le scénario Minimum, permet de diminuer

les émissions de GES provenant de la consommation énergétique jusqu'à environ 15 MT équ. CO₂.

Ces deux groupes donnent des limites minimale et maximale aux émissions de GES provenant de la consommation d'énergie au Québec dans le futur. Pour aider à la compréhension, nous avons converti les valeurs des GES calculées précédemment en valeurs relatives (%) par rapport à 1990, année de référence pour le Protocole de Kyoto, ce qui donne le graphique suivant.

Variation des émissions de GES québécoises par rapport à 1990 provenant de la consommation d'énergie

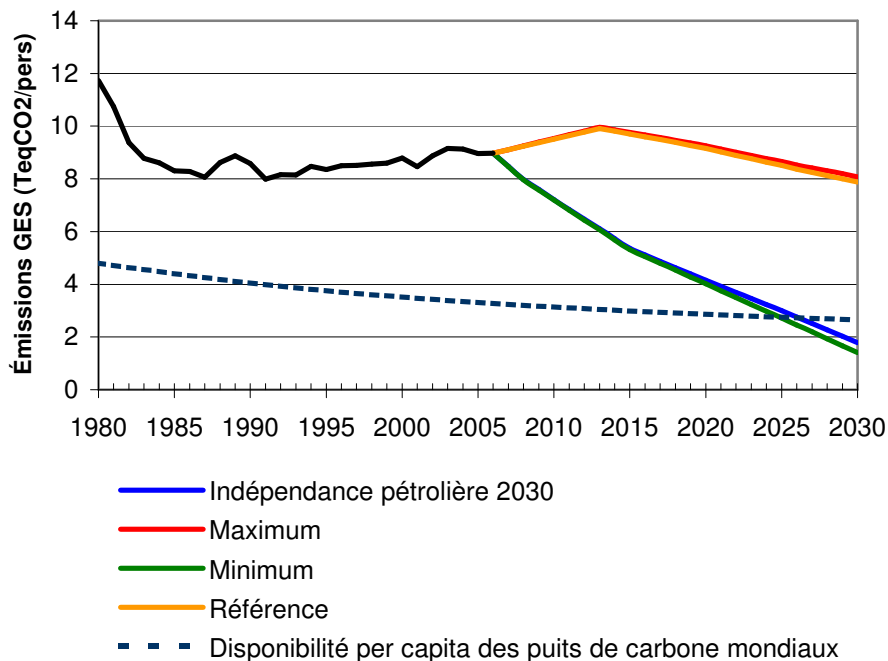


Comme on peut le constater sur le graphique précédent, nos émissions de GES liées à la consommation d'énergie ont augmenté de 13,6 % entre 1990 et 2005. Bien entendu, cela n'inclut pas les autres sources de GES. L'énergie représentait 75% des émissions de GES en 2005. Rappelons que le Protocole de Kyoto stipule que nous devons réduire le total de nos émissions de GES de 6% en 2012 par rapport à 1990, alors que le Québec a, de 1990 à 2005, haussé ses émissions totales de GES de 5,2%. Le secteur de l'énergie serait donc le principal contributeur de cette hausse. Malgré qu'il présente les plus faibles émissions de GES par personne (12,1 T équ. CO₂) au Canada (moyenne de 23,1 T équ. CO₂), le Québec ne contribue aucunement au respect du Protocole de Kyoto par le Canada.

Le groupe « continuité » perpétue la croissance des émissions de GES jusqu'en 2013, moment où la disponibilité de pétrole devrait aller en décroissant. Ce groupe pousserait la hausse jusqu'à 26,7% en 2012 par rapport à 1990, bien loin au-dessus du 6% de réduction annoncé à Kyoto. Le groupe « Kyoto », quant à lui, réduirait les GES d'environ 16% en 2012 par rapport à 1990.

Pour fin de comparaison avec les capacités de captation de la biosphère terrestre à recevoir nos émissions de GES, nous avons réalisé un graphique des émissions de GES provenant de la consommation énergétique québécoise en fonction de la population. Nous avons divisé les émissions totales de GES de chacun de nos scénarios par la projection de croissance de la population du Québec jusqu'en 2030, selon le scénario de référence de l'Institut de la statistique du Québec⁶⁸. Cela donne les courbes continues du graphique suivant. Pour établir les limites de la biosphère à capter nos émissions de GES, nous avons utilisé le total des puits de carbone actuels (5,7 GT d'équivalent carbone ou 21,37 d'équivalent CO₂) et nous l'avons divisé par la projection de croissance de la population mondiale jusqu'en 2030⁶⁹. Cela donne la courbe en pointillés du graphique suivant.

Émissions de GES per capita provenant de la consommation énergétique québécoise



⁶⁸ Normand Thibault, Esther Létourneau, Chantal Girard, Perspectives démographiques, Québec et régions, 2001-2051, Institut de la statistique du Québec, 2003.

⁶⁹ Perspectives démographiques de fertilité moyenne de l'Organisation des Nations-Unies.

Cette courbe en pointillés est la limite écologique des émissions de GES per capita à ne pas dépasser afin de cesser d'accumuler des GES dans l'atmosphère, endiguant ainsi la modification du climat. Cette valeur inclut l'ensemble des émissions de GES, pas seulement celles provenant de la consommation d'énergie sur lesquelles portent nos scénarios. Pour faire une véritable comparaison, nous devrions intégrer l'ensemble des perspectives d'émissions de GES, mais cela n'est pas l'objet de ce rapport. Cela permet toutefois de constater le défi immense que nous devons relever aux plans climatique et énergétique. Les scénarios du groupe «Kyoto» permettraient probablement d'atteindre avant 2030 un équilibre entre les émissions québécoises de GES et notre part des puits mondiaux de carbone, à la condition toutefois de réduire fortement les GES non directement liés à la consommation d'énergie.

Le total des émissions mondiales actuelles de GES est près d'atteindre le double du total des puits naturels mondiaux de carbone. De plus, ces puits semblent diminuer d'efficacité avec le temps (acidification des océans, par exemple), ce que nous n'avons pas inclus dans notre modèle.

Discussion

Dans cette section, nous analyserons les résultats des sections précédentes au regard de l'approche de développement durable. Cette approche est un processus qui tente de concilier l'économie, le social et l'environnement. Il est à noter que l'environnement est une condition essentielle au développement durable et non seulement un de ses piliers⁷⁰. L'environnement constitue donc le cadre dans lequel peuvent se déployer les sociétés humaines. Dans ces conditions, il va s'en dire que la question des émissions de GES prendra une grande importance dans notre analyse.

Le groupe «continuité»

D'emblée, considérant leurs émissions de GES, il nous faut exclure les scénarios du groupe « continuité », c'est-à-dire les scénarios Maximum et Référence, en raison de leur non viabilité à long terme pour le Québec. Ces scénarios, particulièrement le scénario Référence, risquent de devenir réalité si nous ne prenons pas en main notre développement énergétique dans une perspective de développement durable.

Ces scénarios nous mènent tout droit à la catastrophe climatique s'ils sont suivis et si les réserves de combustibles fossiles parviennent à suivre. Si la production de ces derniers décline plutôt, conformément aux modèles basés sur l'exportation (ELM), nous encourrons de grands risques de pertes d'approvisionnement énergétique, néfastes à la fois à l'économie et à la stabilité sociale. La balance commerciale québécoise, déjà en forte baisse à cause de la chute des exportations manufacturières et forestières, serait aussi fortement réduite par un accroissement de l'importation des combustibles fossiles de plus en plus coûteux.

De plus, ce groupe de scénarios, avec une réfection de la centrale nucléaire Gentilly-2, laisserait à nos descendants la gestion à long terme des déchets radioactifs et donc une dette énergétique⁷¹ dont nous n'avons aucune assurance qu'ils seront en mesure de s'acquitter.

⁷⁰ Ces derniers affirment que le social est à la fois un moyen et la fin du développement durable, l'économie un moyen et l'environnement la condition. Corinne Gendron, Michel Provost, (sous la direction de), Entreprise et développement durable, opérationnaliser le développement durable au sein de l'entreprise, Éditions Acfas, Les cahiers scientifiques no. 88, 1996.

⁷¹ David Fleming, The Lean Guide To Nuclear Energy : A Life-Cycle in Trouble, The Lean Economy Connection, November 2007.

John Busby, Why nuclear power is not a sustainable source of low carbon energy, March 2008.

Le choix d'un des scénarios du groupe «continuité» ou de leurs variantes est cependant ce qu'il y a de plus facile à faire politiquement à court terme, car il n'y a aucune remise en question de nos façons de produire et de consommer de l'énergie.

Le groupe « Kyoto »

Les scénarios du groupe « Kyoto » et leurs variantes sont les seuls à pouvoir amener le Québec vers un équilibre avec la biosphère terrestre au plan des émissions de GES. Tous ces scénarios nous mènent à cet équilibre autour des années 2030-2040, en incluant l'ensemble des émissions de GES.

De plus, l'impact économique et social d'une problématique d'approvisionnement en combustibles fossiles est amoindri par le choix d'un scénario de ce groupe. Toutefois, cela est seulement valide si c'est un choix politique et non si on laisse décider le libre-marché. Le libre-marché, laissé à lui-même, nous mène inévitablement vers une crise énergétique majeure⁷².

Afin de comparer les trois scénarios de ce groupe, nous avons réalisé un tableau sommaire de certaines de leurs caractéristiques. Le scénario minimum n'implique pas nécessairement de choix sur l'utilisation du pétrole tandis que le scénario d'Indépendance pétrolière 2030 et sa variante impliquent un choix conscient de limiter puis d'éliminer l'utilisation de pétrole comme combustible, mais non comme source de matériaux.

⁷² Patrick Déry, L'économie d'énergie dans un libre-marché est-elle illusoire?, second volet du rapport sur l'énergétique régionale du Saguenay-Lac-St-Jean, Conseil régional de l'environnement et du développement durable et Groupe de recherches écologiques de La Baie, novembre 2007.

Jeff Rubin, The Efficiency Paradox, CIBC, novembre 2007.

Patrick Déry, Substitution énergétique : mythe ou réalité?, premier volet du rapport sur l'énergétique régionale du Saguenay-Lac-St-Jean, Conseil régional de l'environnement et du développement durable et Groupe de recherches écologiques de La Baie, octobre 2007.

Robert L. Hirsch, World Oil Shortage Scenarios for Mitigation Planning, Presentation to ASPO-USA, October 17-20, 2007.

John Fernald, Bharat Trehan, Why Hasn't the Jump in Oil Prices Led to a Recession? FRBSF Economic Letter, Number 2005-31, November 18, 2005.

Nouriel Roubini, Brad Setser, The effects of the recent oil price shock on the U.S. and global economy, Stern School of Business, NYU and Global Economic Governance Programme, University College, Oxford, August 2004.

	Minimum	Indépendance pétrolière 2030	Variante IP 2030
Émissions GES 2030 p/r à 1990	- 81%	- 76 %	- 78 %
Économie d'énergie 2030 p/r 2005	32 %	12 %	26 %
Investissements	Aucun	Important	Moyen
Créations d'emplois	Aucun	Important	Faible à moyen
Stabilité sociale	- Troubles majeurs si ce n'est pas un choix, si problèmes de prix ou d'approvisionnements (déclin hâtif du pétrole) - Pressions pour un changement de gouvernement, si c'est par choix	Troubles mineurs si la restriction sur la consommation d'énergie se fait progressivement et de façon concertée	Troubles moyens liés à une forte pression pour réduire rapidement la consommation d'énergie afin d'atteindre les objectifs
Difficultés d'application au plan politique	- Très faibles à court-terme si ce n'est pas un choix (déclin hâtif du pétrole) - Majeures si c'est par choix, renversement de gouvernement pour annuler la décision	Moyennes car création très importantes d'emplois et de richesses collectives, malgré les restrictions sur la consommation d'énergie	Majeures car restrictions sur la consommation d'énergie, possibilité d'un renversement du gouvernement pour annuler la décision

Au regard de l'ensemble des caractéristiques énumérées dans le tableau précédent, il apparaît que le scénario d'Indépendance pétrolière 2030 est celui qui semble être le plus viable à long terme.

Malgré le fait que les émissions de GES pour les trois scénarios soient relativement identiques, il y a une très grande différence sur la question de l'économie effective d'énergie. Le scénario de l'Indépendance pétrolière 2030 est très en deçà des deux autres sur ce plan, ce qui, pour l'acceptabilité générale, est majeur car les économies d'énergie ne peuvent se réaliser que si l'on contraint par des taxes ou des quotas⁷³. Un objectif plus bas est plus facile à faire admettre aux consommateurs d'énergie qu'un objectif plus élevé.

D'un autre côté, le développement accéléré de la production d'énergie de sources renouvelables afin de réaliser une substitution énergétique effective,

⁷³ Patrick Déry, *L'économie d'énergie dans un libre-marché est-elle illusoire?*, second volet du rapport sur l'énergétique régionale du Saguenay-Lac-St-Jean, Conseil régional de l'environnement et du développement durable et Groupe de recherches écologiques de La Baie, novembre 2007. Jeff Rubin, *The Efficiency Paradox*, CIBC, november 2007.

particulièrement du pétrole, permet d'amoinrir les difficultés d'application des mesures nécessaires à l'atteinte de l'objectif d'indépendance pétrolière 2030.

Vers une planification énergétique complète

Dans le sens des observations sur les perspectives futures de l'énergétique québécoise que nous avons effectuées dans les sections précédentes, nous pensons qu'il est plus que nécessaire pour le Québec de se doter d'une planification énergétique complète, c'est-à-dire tenant compte à la fois de la gestion de la production, mais aussi de la consommation d'énergie de toutes les filières énergétiques utilisées au Québec.

L'objectif de ce rapport étant de tenter de dégager les perspectives futures de l'énergétique au Québec, nous ne nous aventurerons pas sur la piste de la planification énergétique. Par contre, afin de mettre une première brique à cette nécessaire planification, une liste de recommandations et d'idées en vrac est présentée en annexe.

Conclusion

Il est évident que les sources non-renouvelables d'énergie ne sont pas inépuisables. Or, elles représentent plus de la moitié de notre consommation d'énergie au Québec, comme dans la région du Saguenay—Lac-Saint-Jean d'ailleurs. Des indices nous révèlent les possibilités d'une limitation prochaine de la production de pétrole et de gaz naturel et de son déclin inexorable dans un avenir prochain.

En 1972, la sortie du rapport de l'équipe Meadows, commandé par le Club de Rome, et intitulé «Limits of Growth»⁷⁴ avait suscité une controverse plus ou moins scientifique⁷⁵ quant à sa validité⁷⁶. Une opération de discrédit du rapport a fait rater l'occasion qui était alors fournie d'ouvrir le débat sur les limites à la croissance. Le statu quo a été maintenu et la dilapidation des précieuses ressources naturelles s'est poursuivie. L'économiste Julian Simons a poussé l'idée de la Corne d'abondance jusqu'à affirmer que nous avons des ressources pour plus de 7 millions d'années et qu'il n'y avait aucune limite à la croissance⁷⁷.

Ces débats qui ont eu cours publiquement pendant les années 1970 entre les adeptes de la corne d'abondance, la plupart du temps des économistes⁷⁸, et ceux de la limite des ressources, souvent des scientifiques, ont refait surface dans les médias depuis seulement quelques années. La question de l'approvisionnement futur en pétrole a amorcé le présent débat qui s'est étendu par la suite à l'ensemble des ressources non-renouvelables⁷⁹.

⁷⁴ Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jørgen Randers, and William W. Behrens III, The Limits to Growth, University Books, 1972.

Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jørgen Randers, Beyond the Limits, Chelsea Green Publishing Co, 1992.

Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jørgen Randers, Limits to Growth: The 30th year update, Chelsea Green Publishing Co., 2004.

⁷⁵ Magne Myrtveit, The World Model Controversy, The System Dynamics Group, Department of Geography, University of Bergen, Norway, 2005.

⁷⁶ Ces critiques provenaient à la fois de la droite et de la gauche politique et visaient à discréditer ce rapport. Le seul élément invoqué par les critiques a été les supposées prédictions du tableau 4A du rapport, un tableau qui, dans les faits, n'était aucunement prédictif mais plutôt indicatif.

⁷⁷ Julian Simon, The Ultimate Resource, Princeton University Press, 1981.

Julian Simon, The Ultimate Resource II, Princeton University Press, 1996.

⁷⁸ Id.

Bjørn Lomborg, The Skeptical Environmentalist : Measuring the Real State of the World, Cambridge University Press, 2001.

Nordhaus, William D., World Dynamics: Measurement Without Data, The Economic Journal 83 (332):1145-1183, 1973.

Nordhaus, William D., Lethal Model 2: The Limits to Growth Revisited, Cowles Foundation, 1992.

⁷⁹ Ugo Bardi, Marco Pagani, Peak Minerals, The Oil Drum, October 15, 2007.

Patrick Déry, Bart Anderson, Peak Phosphorus, Energy Bulletin, August 13, 2007.

Richard Heinberg, Peak Everything, New Society Publishers Co., Oct. 2007.

De plus, le rapport Meadows démontrait que la disponibilité d'une source énergie très abondante et peu coûteuse⁸⁰ engendrerait une pollution suffisante pour conduire une société vers son effondrement et ce, indifféremment de la «propreté environnementale» de cette source d'énergie. **La réponse à la problématique énergétique se situe donc plus du côté de la consommation que de la production d'énergie.**

Des cinq scénarios étudiés, deux ne rencontrent pas l'objectif de protection de l'atmosphère par leurs fortes émissions de GES (Maximum et Référence), l'un ne rencontre pas l'objectif de sécuriser les approvisionnements énergétiques (Minimum) et un autre rencontre difficilement l'objectif de faisabilité technique par ses fortes réductions de consommation d'énergie (variante IP 2030). Le seul scénario qui parvient à rallier l'ensemble des objectifs est celui d'une indépendance au pétrole pour 2030.

Considérant les implications économiques, sociales et environnementales, il devient clair que le choix d'un Québec indépendant du pétrole pour 2030 semble être la voie à suivre. De toute façon, la production des combustibles fossiles, que ce soit le pétrole, le gaz naturel ou le charbon, est déjà mise sous pression par la forte croissance de la consommation des pays émergents, une croissance qui vient s'ajouter à la nôtre. L'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) estime que la consommation énergétique mondiale devrait doubler d'ici 2030, à condition que la production des combustibles fossiles soit en mesure de suivre. La pression exercée sur les approvisionnements énergétiques mondiaux par la forte croissance des pays émergents poussera encore davantage les prix vers le haut, créant un contexte économique très défavorable pour le Québec.

Le choix d'un Québec indépendant du pétrole pour 2030, qui relève les défis à la fois climatiques et énergétiques, ouvrira un grand chantier. Un chantier qui créera des emplois, amènera des investissements dans les régions et influera positivement sur notre balance commerciale et sur nos émissions de gaz à effet de serre.

Cette solution peut se résumer par les quelques éléments suivants :

- **développement de méthodes pour réaliser de l'économie effective d'énergie** et de l'efficacité énergétique dans tous les secteurs, avec **un objectif en 2030 d'atteindre une consommation de 4,5 tep/habitant, alors qu'elle est de 5,6 actuellement** (4,2 tep/habitant actuellement en Allemagne). **Cela représente, en 2030, 12% d'économie par rapport à 2005**, soit l'équivalent d'environ 60 TWh;

⁸⁰ Incluant aussi toutes les sources d'énergie «occultes» (point zéro, vortex et autres machines à mouvement perpétuel) censées faire un monde plus écologique en «harmonie» avec la Terre.

- **élimination, pour 2030, du pétrole en tant que source d'énergie** (mais non comme source de matériaux);
- **réduction, en 2030, de l'usage de gaz naturel d'un facteur de 2,3** par rapport à 2005;
- **arrêt de la centrale nucléaire Gentilly-2 en 2013** comme prévu à l'origine;
- **maintien de l'usage du charbon pour l'industrie**, selon la consommation moyenne des 20 dernières années (0,41 Mtep), à moins de trouver un substitut valable pour le secteur industriel;
- **développement accéléré des sources renouvelables** (hydroélectricité, biomasse, éolien, solaire, géothermie...) avec **l'objectif en 2030 d'en avoir augmenté la production de 67% par rapport à 2005**, soit l'équivalent de 165 TWh;
 - **augmentation pour 2030 de la puissance hydroélectrique installée de 4000 MW supplémentaires** à ce qui est déjà prévu ou à l'étude actuellement;
 - **augmentation en 2030 de la production d'énergie provenant de la biomasse forestière de près de 2,5 fois** à celle de 2005, par l'usage énergétique de 20% des attributions (2008-2013) de la forêt publique, de 20% des possibilités forestières des forêts privées (2007) et de 80% des résidus forestiers en 2030;
 - **augmentation à 10 000 MW de la puissance éolienne installée en 2030** par rapport à 4 000 MW autour de 2015 (~20% de la puissance hydroélectrique installée en 2030);
 - **développement de l'énergie solaire**, principalement de la filière thermique, pour atteindre une production de 6 TWh en 2030;
 - **développement de la géothermie** pour atteindre une production de 8 TWh en 2030;
 - **développement de compléments** à la production principale :
 - micro-production de sources renouvelables privilégiée par l'achat d'électricité selon des tarifs préférentiels;

- biomasse agricole si aucune compétition sur l'alimentation et maintien de la fertilité et de la productivité des sols;
 - biomasse provenant des déchets (fumiers, résidus d'abattage, gaz des sites d'enfouissement...).
- **développement accéléré des moyens de transports efficaces et électrifiés**, à la fois collectifs et individuels, en **insistant toutefois sur le transport collectif**⁸¹;
 - **révision des modes d'aménagement et d'usage du territoire** (urbanisme, milieux ruraux, agriculture...);
 - **atteinte de l'équilibre avec la biosphère terrestre** quant aux émissions de gaz à effet de serre pour 2030, avec **une réduction de 76% des émissions de GES d'origine énergétique en 2030 par rapport à 1990**.

De nombreux autres aspects de la question devront être étudiés pour parvenir à une acceptabilité sociale, économique et environnementale. Les techniques les plus appropriées d'harnachement de nouveaux cours d'eau, les nouvelles superficies nécessaires pour l'implantation d'éoliennes ou le recours à des technologies peu polluantes de combustion de la biomasse (et le remplacement des équipements vétustes) susciteront sûrement bien des débats.

Mais de quel temps disposons-nous pour amorcer et mener ce débat? Que se passerait-il si le scénario d'un Québec indépendant du pétrole pour 2030, que nous considérons réaliste, s'avérait en fait optimiste? Aurons-nous même le temps, avant que survienne le déclin des sources d'énergie non-renouvelables, de mener à bien un tel chantier jusqu'en 2030⁸²? Devrions-nous nous préparer pour le pire, quitte à espérer le meilleur?

Car le jeu en vaut la chandelle. La possibilité qu'une planification énergétique basée sur l'indépendance du pétrole ait un impact positif sur les indicateurs socio-économiques est à prendre en compte dans la réflexion à venir. Une telle planification entraînera une amélioration très marquée de la balance commerciale

⁸¹ Richard Gilbert, Anthony Perl, Transport Revolutions : Moving People and Freight Without Oil, Earthscan Publishers Ltd, January 2008.

Marie Demers, Pour une ville qui marche, aménagement urbain et santé, Les éditions Écosociété, 2008.

⁸² Hirsch, R.L., Bezdek, R., Wendling, R. Peaking of World Oil Production: Impacts, Mitigation & Risk Management. DOE NETL. February 2005.

John Michael Greer, The paradox of production, The Archdruid Report, March 27, 2008.

du secteur énergétique, la création d'emplois (dans l'industrie manufacturière, l'exploitation forestière locale, l'installation des équipements de production et d'efficacité énergétique, le réaménagement à long terme du territoire, etc.) et le développement de technologies et de savoirs-faire exportables. Pourquoi le Québec ne deviendrait-il pas le leader mondial des méthodes d'économies effectives d'énergie, par exemple?

Puis parce que nous nous donnerons la peine d'effectuer cette planification collectivement, nous aurons la chance de préserver au passage nos valeurs de solidarité et d'équité sociale chères à la société québécoise. Le défi énergétique ne vaut-il pas la peine d'être relevé pour la génération montante?

Quittons le pétrole avant qu'il nous quitte, comme le suggère Fatih Birol, chef économiste de l'Agence Internationale de l'Énergie :

«We should not cling to crude down to the last drop – **we should leave oil before it leaves us**. That means new approaches must be found soon. [...] The really important thing is that even though we are not yet running out of oil, we are running out of time..»⁸³?

⁸³ Fatih Birol, We can't cling to crude we should leave oil before it leaves us, The Independent, Sunday, March 2, 2008.

Annexe

Consommation d'énergie

- Réorganiser le tissu urbain et rural pour l'optimisation du transport collectif.
- Développer les technologies commerciales d'électrification du transport collectif et individuel.
- Optimiser l'utilisation de l'énergie des moyens de transport des personnes et des marchandises.
- Remplacer l'électricité dans les utilisations de chaleur à basse température (chauffage des bâtiments, par exemple) par des sources de plus basse qualité comme la biomasse, le solaire et la géothermie.
- Révision de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire au regard de l'optimisation de l'utilisation d'énergie.
- Se doter de cibles précises et mesurables de réduction de l'utilisation du pétrole et des autres combustibles fossiles.
- Se doter d'une taxation progressive de l'énergie, incluant l'électricité, dont les sommes supplémentaires seraient redirigées vers l'économie d'énergie, l'efficacité énergétique et la substitution énergétique et vers, en priorité, les ménages à faibles revenus.
- Instaurer des quotas d'utilisation de l'énergie échangeables pour limiter la consommation d'énergie (Oil Depletion Protocol, Tradable Energy Quotas, par exemple⁸⁴).
- Revoir entièrement le modèle agricole québécois au regard de l'énergie et des ressources non-renouvelables dont il est fortement dépendant⁸⁵.

⁸⁴ Colin Campbell, The Rimini Protocol : an Oil Depletion Protocol, presentation for Pio Manzu Conference, 2003.

Richard Heinberg, The Oil Depletion Protocol : a plan to avert wars, terrorism and economic collapse, New Society Publishers, 2006.

David Fleming, Energy and the common purpose: descending the energy staircase with tradable energy quotas (TEQs), 2007.

⁸⁵ Patrick Déry, Bart Anderson, Peak Phosphorus, Energy Bulletin, August 13, 2007.

D.A. Pfeiffer, Eating fossil fuels, New Society Publishers, 2006.

A. Duncan Brown, Feed or feedback: agriculture, population dynamics and the state of the planet, International Books, 2003.

Patrick Déry, Pérenniser l'agriculture, mémoire déposé pour la Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire du Québec (CAAAQ), Groupe de recherches écologiques de La Baie (GREB), avril 2007.

Production d'énergie

- Accélérer le développement de la production des sources renouvelables d'énergie (principalement l'hydroélectricité, la biomasse forestière, l'éolien, le solaire et la géothermie).
- Recherches et développement concernant le stockage de la production des sources intermittentes d'énergie.
- Recherches et développement concernant la transformation de la biomasse solide en carburants liquides (non seulement l'éthanol cellulosique mais aussi la gazéification, la pyrolyse et autres).
- Assurer le maintien de la fertilité et de la productivité à long terme des sols forestiers.
- Assurer le maintien de la fertilité et de la productivité à long terme des sols agricoles utilisés pour la production énergétique en tenant compte de la disponibilité future des éléments fertilisants minéraux et des superficies minimales pour l'alimentation humaine.
- Développer la production autonome d'électricité d'origine renouvelable en ouvrant la possibilité d'achat d'électricité de micro-producteurs via une tarification spéciale.