



Conseil régional de
l'ENVIRONNEMENT
de la Côte-Nord

Mémoire présenté au

Bureau d'audiences publiques sur l'environnement

par le

Regroupement national des conseils régionaux de

l'environnement du Québec (RNCREQ)

et le

Conseil régional de l'environnement de la Côte-Nord (CRECN)

Dans le cadre de l'audience

sur le projet d'aménagement d'un complexe hydroélectrique sur

la rivière Romaine

28 novembre 2008

Rédaction : Philippe Bourque, directeur général, RNCREQ
Sébastien Caron, directeur général, CRE Côte-Nord
Patrick Déry, spécialiste en énergétique

Correction et mise en page : Geneviève Pomerleau, agente en environnement, CRECN

Regroupement national des conseils régionaux
de l'environnement du Québec (RNCREQ)
454 avenue Laurier est
Montréal (Québec), H2J 1E7
téléphone: (514) 861-7022
télécopieur: (514) 861-8949
www.rncreq.org

Conseil régional de l'environnement de la
Côte-Nord (CRECN)
498, avenue Brochu
Sept-Iles (Québec) G4R 2W8
téléphone: (418) 962-6362
télécopieur : (418) 962-4625
www.crecn.org

Table des matières

Présentation des CRE et du RNCREQ	4
Le Conseil régional de l'environnement de la Côte-Nord.....	4
Introduction	5
PARTIE A – Enjeux globaux et nationaux	6
Recherche et rédaction :	6
A.1 L'argumentaire des parties en présence.....	7
Le projet de la Romaine vu par Hydro-Québec.....	7
Le projet de la Romaine vu par certains groupes environnementaux.....	7
A.2 Des études comme grille d'analyse	8
Rapport #1 - Substitution énergétique, mythe ou réalité?	9
Rapport #2 – L'économie d'énergie dans un contexte de libre-marché est-elle illusoire ?.....	9
Rapport #3 - Quel rendement sur notre investissement énergétique?	11
Rapport #4 – État et perspectives énergétiques mondiale et québécoise.....	12
A.3 Un contexte de boulimie énergétique	12
A.4 Un changement de paradigme qui s'impose.....	14
A.4.1 Paradigmes et transition.....	14
A.4.2 Un scénario à long terme pour assurer la transition.....	15
A.5 Conclusion	20
PARTIE B – Enjeux environnementaux locaux.....	22
B.1 Le projet et la faune aquatique.....	22
B.2 La perte d'habitats	23
B.3 Dynamique sédimentaire	25
PARTIE C – Développement économique et social	27
Conclusion.....	29
Annexes.....	30

Présentation des CRE et du RNCREQ

Les Conseils régionaux de l'environnement (CRE) interviennent en faveur de la protection et de l'amélioration de l'environnement à l'échelle de chacune des régions administratives du Québec. Par leurs actions, ils cherchent à favoriser l'intégration des préoccupations environnementales dans les processus de développement régional. Pour eux, ce développement doit se faire dans le respect de la capacité de support des écosystèmes. C'est une condition essentielle au développement durable.

En tenant compte des réalités locales et régionales, les CRE privilégient l'action, la concertation, l'éducation, l'information, la sensibilisation et la veille environnementale, pour atteindre leurs objectifs. Ils défendent des valeurs fondamentales comme la solidarité, l'équité et le respect.

Le Conseil régional de l'environnement de la Côte-Nord

Le Conseil régional de l'environnement de la Côte-Nord est un organisme sans but lucratif qui a fêté ses 15 ans en 2007. Membre du Regroupement des conseils régionaux de l'environnement du Québec, il a le mandat, comme les 15 autres conseils régionaux, de promouvoir le développement durable et la protection de l'environnement. Par son action, il cherche à favoriser la prise en compte des préoccupations environnementales dans le développement régional. Pour lui, ce développement doit se faire avec le souci de maintenir l'intégrité écologique du territoire face aux impacts de l'activité humaine.

Agissant en tant qu'organisme-aviseur auprès de la Conférence régionale des élus de la Côte-Nord, l'organisme a également pour objectif d'unir, d'animer, de consulter et de représenter les instances, les corporations, les organismes environnementaux et les individus voués à la protection de l'environnement et à la promotion du développement durable sur la Côte-Nord. Il le fait notamment par l'entremise de la Table environnement Côte-Nord, qui regroupe les principaux groupes environnementaux, ministères et instances régionales vouées à la protection de l'environnement et au développement durable. Il agit également en santé environnementale grâce à un important partenariat avec l'Agence de la santé et des services sociaux de la Côte-Nord.

Son conseil d'administration est formé de 11 membres, représentant environ 90 membres actifs. Le CRECN agit dans les dossiers environnementaux concernant la conservation, les ressources naturelles, l'eau, les matières résiduelles, la pollution et les changements climatiques. Ses priorités sont de voir à ce que le développement régional s'effectue dans l'optique du développement durable, pour répondre aux besoins des individus et des collectivités et pour nécessairement être écologiquement viable, socialement équitable et économiquement efficace.

Introduction

Tout en adhérant à une éthique de la “durabilité”, c’est-à-dire où la préoccupation est centrée sur la pérennité des ressources, les CRE souscrivent également à une éthique de la “responsabilité”. Ils affirment que le développement doit prioritairement accroître le mieux-être des personnes et des collectivités. Partant, ils favorisent les projets qui contribuent au renforcement des réseaux de relations entre les personnes, la société et l’environnement. Aussi, ils souscrivent à une proposition de développement guidée par un projet social global, projet qui renforce la participation responsable de tous les membres de la société.

En matière de production énergétique, les CRE se positionnent en faveur du développement de filières propres et renouvelables. Ils souscrivent à une vision à long terme du développement de l’énergie qui contribue à la vitalité économique du territoire tout en répondant aux principes du respect de l’environnement et d’équité entre les peuples et les générations. Aussi, ils rappellent la nécessité d’opter dès aujourd’hui pour des choix énergétiques qui s’abstiennent d’exploiter ou d’importer des ressources épuisables, bon marchées et polluantes. Dans cette perspective, ils posent que le développement de sources d’énergie locales et propres, allié à une politique de la conservation d’énergie et des efforts rigoureux de planification de l’offre et de la demande, assureront au Québec l’approvisionnement et la fiabilité en énergie dont il a besoin.

C’est en contrepoint de ses objectifs et de sa philosophie du développement durable que le RNCREQ propose de discuter du projet de développement hydroélectrique du complexe La Romaine. Le mémoire se divise ainsi en trois parties. La première (PARTIE A) concerne les enjeux globaux du projet et constitue le cœur de l’argumentation. En ce sens, un mandat de rédaction et d’expertise a été confié à M. Patrick Déry, physicien, spécialiste en énergétique, agriculture et environnement.

La deuxième partie (PARTIE B) concerne les enjeux environnementaux locaux propres au projet. Enfin, la dernière section (PARTIE C) s’attarde aux retombées sociales et économiques.

Une conclusion synthétisant l’essentiel des commentaires formulés à l’égard du projet complète la discussion.

PARTIE A – Enjeux globaux et nationaux

Recherche et rédaction :

Patrick Déry, physicien,

Spécialiste en énergétique, agriculture et environnement.

Alors que fait rage une confrontation, par médias interposés, entre Hydro-Québec et certains groupes environnementaux autour de la pertinence d'un projet hydroélectrique comme celui de la Romaine pour l'avenir énergétique du Québec, le Regroupement national des conseils régionaux de l'environnement du Québec (RNCREQ) et le Conseil régional de l'environnement de la Côte-Nord (CRECN) m'ont demandé de prendre une certaine distance afin d'adopter une perspective nouvelle pour évaluer le projet dans le cadre d'une approche globale. Ils m'ont demandé de leur fournir une analyse basée sur une vision plus large des enjeux énergétiques présents et futurs, d'observer à travers un «macroscop»¹.

Le point d'observation sera d'abord celui de l'énergétique et de ses impacts, dans un sens large, parce qu'elle me semble plus souvent qu'autrement oubliée dans la mêlée générale des arguments des différents «belligérants». Dans les SECTION B et C de ce mémoire, le RNCREQ et le CRECN traiteront de façon sommaire des enjeux plus pointus et plus spécialisés concernant les problématiques environnementales et sociales au niveau local. S'ils y accordent si peu d'efforts, ce n'est pas parce que ces enjeux sont négligeables ou peu importants, mais bien parce que le RNCREQ et le CRECN souhaitent ne pas perdre la vision d'ensemble.

Mon approche consistera d'abord en l'analyse des deux points de vue principaux exprimés, soit celui d'Hydro-Québec et ceux des groupes environnementaux, dans le contexte d'une vision plus large de la question énergétique (section A.1).

Je présente ensuite la «grille d'analyse» que je vais employer et qui prend appui sur mes quatre études sur l'énergétique les plus récentes publiées pour le compte du Conseil régional de l'environnement et du développement durable du Saguenay-Lac-St-Jean (CREDD). Bien qu'elles ne constituent pas en soit une grille d'analyse formelle, le filtre de ces études permettra cependant de recentrer le débat actuel sur la place réelle qu'un projet comme celui-ci pourrait occuper dans le futur paysage énergétique du Québec (section A.2).

Une fois les prémisses de bases bien campées, je décris alors le contexte de boulimie énergétique dans lequel le Québec évolue en ce moment (section A.3)

Nous verrons enfin, sur cette base, que selon le paradigme ou référentiel dans lequel nous nous trouvons, le projet de la Romaine ne prend pas du tout le même sens (sections A.4) et qu'une transition vers un nouveau paradigme s'impose (section A.5).

¹ Joël de Rosnay, Le macroscop, vers une vision globale, Éd. du Seuil, 1975.

A.1 L'argumentaire des parties en présence

Le projet de la Romaine vu par Hydro-Québec

Il m'apparaît, après une lecture rapide de l'ensemble des informations disponibles sur le projet de la Romaine, que l'information la plus pertinente quant à une approche «macro» de la question, selon le point de vue d'Hydro-Québec, est véhiculée par les justifications maintes fois reprises dans les médias du Québec. Celui que j'ai retenu est disponible sur le site Internet d'Hydro-Québec et est daté du 25 octobre 2008. Il est intitulé : «Le projet de La Romaine, de la pure énergie»².

On y décrit le projet comme étant «la construction d'un complexe hydroélectrique de 1 550 mégawatts sur la rivière Romaine, au nord de la municipalité de Havre-Saint-Pierre, sur la Côte-Nord». Nous pouvons en extraire une liste de spécifications traitant d'une part, des retombées économiques régionales liées à la phase de construction du projet et d'autre part, des revenus générés pour l'ensemble du Québec une fois la centrale en opération.

Certains des énoncés peuvent être discutables, mais en général, ceux-ci sont constitués de faits relativement peu importants pour mon analyse. Ils situent toutefois bien l'ampleur du projet pour lequel les québécois sont aujourd'hui interpellés.

J'ai retenu plus spécifiquement trois justifications favorables au projet qui sont basées sur des prémisses sur lesquelles j'exposerai ma réflexion :

- 1- La production des centrales du complexe de la Romaine contribuera de manière importante à la réduction des émissions de gaz à effet de serre en Amérique du Nord.
- 2- L'énergie du projet répondra, à long terme, aux besoins du Québec.
- 3- Le complexe de la Romaine générera aussi des bénéfices importants sur les marchés d'exportation. À titre d'exemple, en 2007, les exportations nettes d'Hydro-Québec ont généré 25 % du bénéfice net de l'entreprise, pour seulement 5% du volume total de ses ventes d'électricité.

Le projet de la Romaine vu par certains groupes environnementaux

Les groupes environnementaux ne constituent pas un bloc monolithique, il existe de nombreuses divergences de vue d'un à l'autre. À mon avis, il ne faut pas percevoir les groupes environnementaux comme de perpétuels antagonistes mais plutôt comme des éléments positifs fondamentaux d'une société évoluée critiquant certes toute forme de projet, et ce souvent vertement, mais qui permettent la plupart du temps de proposer des alternatives tout à fait valables, ou encore des améliorations qui bonifient grandement ces projets.

À partir d'articles de journaux ou de documents³, j'ai pu établir une liste, voir ci-bas, des positions de quelques groupes environnementaux du point de vue énergétique.

² www.hydro-quebec.qc.ca

³ Fondation Rivière, Les rivières : un patrimoine collectif à préserver, commentaires pour la stratégie gouvernementale de développement durable, novembre 2007.

Christian Simard, Libre-opinion : rendre le débat accessible, Le Devoir, 30 octobre 2008.

Nature Québec, La demande d'électricité au Québec justifie de moins en moins les nouveaux développements hydroélectriques, 28 août 2006.

Ces positions ne décrivent pas nécessairement la perception fine de tous les groupes environnementaux mais représentent un fragment de la perception qu'ont de l'énergie certaines organisations environnementales.

- 1- Nous sommes dans un contexte de surplus énergétique;
- 2- Les potentiels des filières éolienne, solaire et géothermique sont énormes;
- 3- Le potentiel d'économie d'énergie est énorme;
- 4- L'électricité qui proviendra de La Romaine sera coûteuse;
- 5- Il faut se questionner sur l'avenir énergétique du Québec, avoir un débat public;
- 6- Le projet de La Romaine est un non-sens sur les plans économique et environnemental;
- 7- Le solaire, la géothermie et l'éolien ainsi que les économies d'énergie peuvent remplacer l'hydroélectricité pour les nouveaux besoins d'énergie au Québec;
- 8- L'hydroélectricité est une solution des années 60;
- 9- L'hydroélectricité n'est pas une énergie «verte»;
- 10- L'hydroélectricité produit plus de GES que l'on pense;
- 11- Il n'est plus nécessaire de détruire des écosystèmes pour avoir de l'énergie;
- 12- L'hydroélectricité est plus «verte» que le nucléaire ou le charbon;
- 13- Les exportations d'électricité contribue à la boulimie énergétique des américains;
- 14- « La sécurité des approvisionnements énergétiques du Québec est assurée à plus de 96% par l'hydroélectricité. »
- 15- « [...] un développement du secteur de l'énergie centré sur la grande hydraulique accentue notre dépendance énergétique et notre vulnérabilité aux approvisionnements.»

A.2 Des études comme grille d'analyse

Durant l'hiver 2007-2008 et le printemps 2008, le Conseil régional de l'environnement et du développement durable du Saguenay-Lac-St-Jean (CREDD), conjointement avec le Groupe de recherches écologiques de La Baie (GREB), a publié une série de quatre études sur l'énergétique québécoise. Les trois premières ont permis de faire le point sur des concepts peu étudiés mais qui occupent souvent une grande place dans l'argumentaire des différents intervenants des milieux énergétique et environnemental. La quatrième et dernière étude consistait quant à elle à dresser un état de situation global de l'énergétique au Québec, filière par filière, et à faire de la prospective quant au futur de l'énergétique au Québec jusqu'en 2030.

Afin d'appuyer mon analyse, j'estime important de rappeler ici les conclusions de chacune de ces études. Les concepts énoncés dans ces études me serviront en effet de guide pour porter un regard bien différent sur le projet de la Romaine et sa raison d'être.

Roy Dupuis, Hydroélectricité - le projet de la Romaine nécessite la tenue d'un débat national, Le Devoir, 30 octobre 2008.

Jessica Nadeau, « Pas besoin de barrage », Journal de Montréal, 6 septembre 2008.

Jessica Nadeau, Énergie verte, vraiment?, Journal de Montréal, 6 septembre 2008.

François Cardinal, Bras de fer entre Hydro et les «verts», La Presse, 16 septembre 2008.

Bernard LeBrun, Opinion - La rivière de la honte, Le Devoir, 9 septembre 2008.

Louis-Gilles Francoeur, La bataille de la Romaine s'engage, Le Devoir, 17 septembre 2008.

Rapport #1 - Substitution énergétique, mythe ou réalité?⁴

Ce premier rapport, basé sur l'analyse des données historiques de production et de consommation d'énergie de 4 territoires, soit l'Allemagne, les États-Unis, le Québec et le monde, évalue les conditions nécessaires pour réaliser des substitutions énergétiques. La substitution énergétique étant le remplacement d'une source d'énergie par une autre. On y constate que :

- Les prétentions concernant la diminution véritable des émissions de CO₂ des promoteurs de sources d'énergie émettant moins de gaz à effet de serre ne concordent pas avec la réalité. Dans le contexte actuel du libre marché, la production de ces sources nouvelles s'additionne à la production existante et ne la remplace pas.
- Laisser faire le marché n'amène d'aucune façon une substitution réelle à moyen et long terme, le marché étant trop gourmand de toute forme d'énergie quelle qu'elle soit.
- La croissance de l'économie mondiale commande une croissance extrêmement rapide de la consommation mondiale d'énergie surtout depuis le début du millénaire.
- Toutes les sources non-renouvelables d'énergie sont exploitées au maximum de leur capacité.

En conclusion, on retient surtout qu'une planification énergétique à long terme considérant à la fois l'offre et la demande d'énergie **est essentielle pour réaliser une substitution énergétique effective.**

Rapport #2 - L'économie d'énergie dans un contexte de libre-marché est-elle illusoire ?⁵

Ce second rapport s'emploie d'abord à mettre en lumière la distinction entre les concepts «d'économie d'énergie» et «d'efficacité énergétique» :

Économie d'énergie : réduction des dépenses d'énergie, donc de la consommation d'énergie (non pas seulement d'une filière énergétique mais bien de l'énergie en général).

Efficacité énergétique : amélioration du niveau de performance des processus énergétiques que nous utilisons déjà, donc obtenir les mêmes ou plus de résultats en utilisant moins d'énergie qu'avant

L'analyse des données historiques des quatre territoires de l'étude sur la substitution, ainsi que les rapports consultés ont ensuite permis de montrer que :

- 1- Les économies d'énergie à l'échelle d'un territoire ne sont apparues, jusqu'à présent, que sporadiquement avec une durée très limitée (moins de 10 ans) et durant des crises d'approvisionnement (ex : chocs pétroliers) ou des crises économiques (ex : récessions).

⁴ 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. Disponible sur le www.rncreq.org

⁵ 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. Disponible sur le www.rncreq.org

- 2- Un système basé sur la croissance économique perpétuelle et une libéralisation des marchés avec un minimum d'encadrement n'engendre qu'une croissance continue de la consommation d'énergie.
- 3- La croissance économique perpétue la croissance de la consommation d'énergie et limite la réalisation d'économies d'énergie.
- 4- La croissance de la population perpétue la croissance de la consommation d'énergie et limite la réalisation d'économies d'énergie.
- 5- La croissance de la consommation d'énergie se poursuit à des taux importants (2% pour le monde soit l'équivalent d'un doublement en 35 ans).
- 6- Les deux chocs pétroliers ont induit un processus d'optimisation de l'utilisation de l'énergie de façon durable depuis plus de 30 ans.
- 7- Les efforts d'efficacité énergétique ne suffisent pas à réduire et même à stabiliser la consommation d'énergie au niveau mondial.
- 8- L'efficacité énergétique permet de «libérer» de l'énergie pour poursuivre la croissance économique.
- 9- Les efforts d'efficacité énergétique et les politiques énergétiques allemandes n'ont pas permis des économies d'énergie réelles et suffisamment importantes. Les tendances très récentes en Allemagne indiquent aussi que la consommation d'énergie va augmenter dans les prochaines années. Les politiques ne visaient pas directement une décroissance de la consommation d'énergie.
- 10- Le Québec a de moins bons résultats au plan de l'efficacité énergétique que les autres territoires étudiés compte tenu de la faible croissance de sa population.
- 11- Le ratio entre la croissance énergétique et la croissance économique est d'un ordre de grandeur unitaire. Pour chaque augmentation d'un point de pourcentage de la croissance économique, il y a augmentation d'environ un point de pourcentage de la consommation d'énergie. De même, lors d'une décroissance du PIB.

Dans ce second rapport, il apparaît ainsi que le marché doit être fortement encadré par une **planification énergétique à long terme incluant à la fois la consommation et la production avec des objectifs clairs, précis et mesurables de réduction de la consommation d'énergie directe et indirecte**. Sans cela, le marché devra «détruire» la demande et créer ainsi des crises pour faire face au déclin de la production des sources d'énergie non-renouvelables.⁶

⁶ Voir aussi : Jeff Rubin and Peter Buchanan, What's the Real Cause of the Global Recession?, CIBC World Market, StrategEcon, 31 octobre 2008.

Rapport #3 - Quel rendement sur notre investissement énergétique?⁷

Ce troisième rapport met en lumière quelques constats importants quant à la production d'énergie nette⁸ au Québec :

1- **Les évaluations de la production d'énergie nette d'une même source d'énergie peuvent varier grandement.** La précision des résultats dépend grandement du contexte d'utilisation de cette source.

2- **L'utilisation des seuls facteurs économiques pour évaluer une filière énergétique peut mener à un cul-de-sac énergétique,** comme dans le cas des schistes bitumineux.

3- L'utilisation d'**une méthode comptabilisant l'énergie nécessaire à l'extraction d'énergie est fondamentale et devrait être obligatoirement utilisée lors d'une planification énergétique à long terme.** Sans cela, nous risquons de mettre des efforts importants dans des sources ayant un potentiel énergétique très limité ou même inexistant. Le cas de l'éthanol à base de maïs en est un exemple patent, mais il en existe sans doute d'autres comme la séquestration du carbone provenant des centrales thermiques au charbon ou la génération d'électricité nucléaire.

4- La devise de « **la bonne énergie à la bonne place** » s'avère aussi juste dans le cas de la recherche de la plus grande valeur d'énergie nette à l'échelle d'un territoire donné. **Les choix de consommation d'énergie, et non seulement la façon de produire celle-ci, influence grandement la production d'énergie nette.** Dans un tel contexte, les sources de chaleur à basse température, comme le bois ou le solaire thermique, doivent servir en priorité à l'utilisation directe de chaleur comme le chauffage des bâtiments, plutôt qu'à la production d'électricité. La cogénération est intéressante, selon le point de vue de l'énergie nette, uniquement lorsque l'usage principal est la chaleur et que l'électricité en est un « sous-produit ». En contrepartie, l'électricité devrait d'abord servir aux équipements nécessitant absolument cette forme d'énergie plutôt qu'à la production de chaleur à basse température. Par exemple, la ressource forestière en tant que source d'énergie dédiée au chauffage des bâtiments, et tel que cela se fait abondamment en Europe, pourrait permettre d'opérer un déplacement de l'électricité vers l'électrification du transport afin de réduire notre dépendance au pétrole et au gaz naturel ce qui, du même coup, améliorerait notre balance commerciale et notre bilan d'émission de gaz à effet de serre.

5- En général, **plus l'énergie nette produite d'une même source est importante, moins celle-ci génère de gaz à effet de serre en proportion de l'énergie produite.**

6- Du point de vue de l'énergie nette produite, **les sources d'énergie les plus intéressantes pour le Québec sont, par ordre d'importance : l'hydroélectricité, la biomasse forestière, le solaire thermique (passif principalement), l'éolien, le solaire photovoltaïque, la géothermie et le biogaz.** Les autres sources potentielles sont soit négatives du point de vue de l'énergie nette, soit très limitées dans leurs applications; ou l'on ne dispose pas des

⁷ 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. Disponible sur le www.rncreq.org

⁸ L'énergie nette équivaut à la production totale d'énergie d'une source dont on soustrait la consommation d'énergie qu'à nécessité l'extraction de cette énergie.

informations nécessaires pour en juger. Cependant, certaines d'entre elles pourraient néanmoins s'avérer intéressantes pour certaines applications bien précises.

Rapport #4 – État et perspectives énergétiques mondiale et québécoise⁹

Le quatrième rapport s'est quant à lui attardé à évaluer l'état et les perspectives à long terme de toutes les filières énergétiques utilisées ou potentielles au Québec. Des scénarios de la consommation et de la production d'énergie ont été réalisés pour l'horizon 2030. Ces scénarios ont été 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.

Il en ressort d'abord que **la réponse à la problématique énergétique se situe plus du côté de la consommation que de la production d'énergie.**

De plus, des cinq scénarios de production d'énergie 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.**

Ce rapport termine en citant 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...»¹⁰

A.3 Un contexte de boulimie énergétique

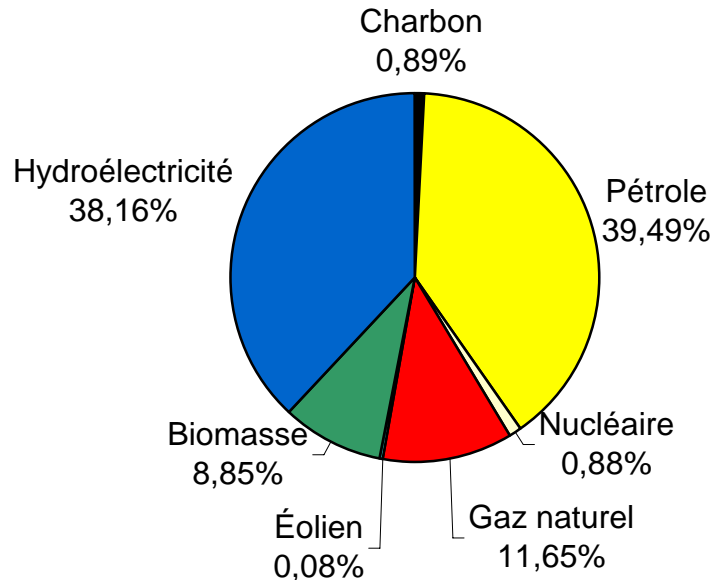
Hydro-Québec, tout comme la plupart des groupes environnementaux qui se sont prononcés dans les médias, ne considèrent pas à mon avis l'ensemble de la complexité de la problématique énergétique. Le Québec ne consomme pas que de l'électricité, le pétrole est la première source d'énergie primaire consommée au Québec (voir graphique du bilan énergétique du Québec). Nous ne sommes donc pas dans un contexte de surplus énergétique mais plutôt dans un contexte de surplus de capacité de production d'électricité... pour l'instant.

⁹ Patrick Déry, État et perspectives énergétiques mondiale et québécoise, quatrième 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, avril 2008. Disponible sur le www.rncreq.org

¹⁰ Fatih Birol, We can't cling to crude we should leave oil before it leaves us, The Independent, Sunday, March 2, 2008.

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

Données : MRNF



Nous sommes aussi dans un contexte de boulimie énergétique, c'est-à-dire que notre consommation d'énergie continue de croître de façon importante. L'efficacité énergétique ne nous donne aucunement d'économie d'énergie réelle. Elle ne fait que diminuer le taux de croissance de notre consommation d'énergie. Jusqu'à tout récemment, avant la crise financière américaine, toute l'Amérique du Nord poursuivait cette tendance à la hausse de la consommation d'énergie. L'étude sur la substitution a permis de démontrer que de mettre en service un complexe énergétique «propre», plus que le charbon à tout le moins, comme celui de la Romaine ne contribue en rien à la réduction des GES en Amérique du Nord car la production s'additionne. Elle n'élimine en aucun cas la production provenant de sources plus polluantes, excepté peut-être lors de crise économique, et encore, c'est à voir.

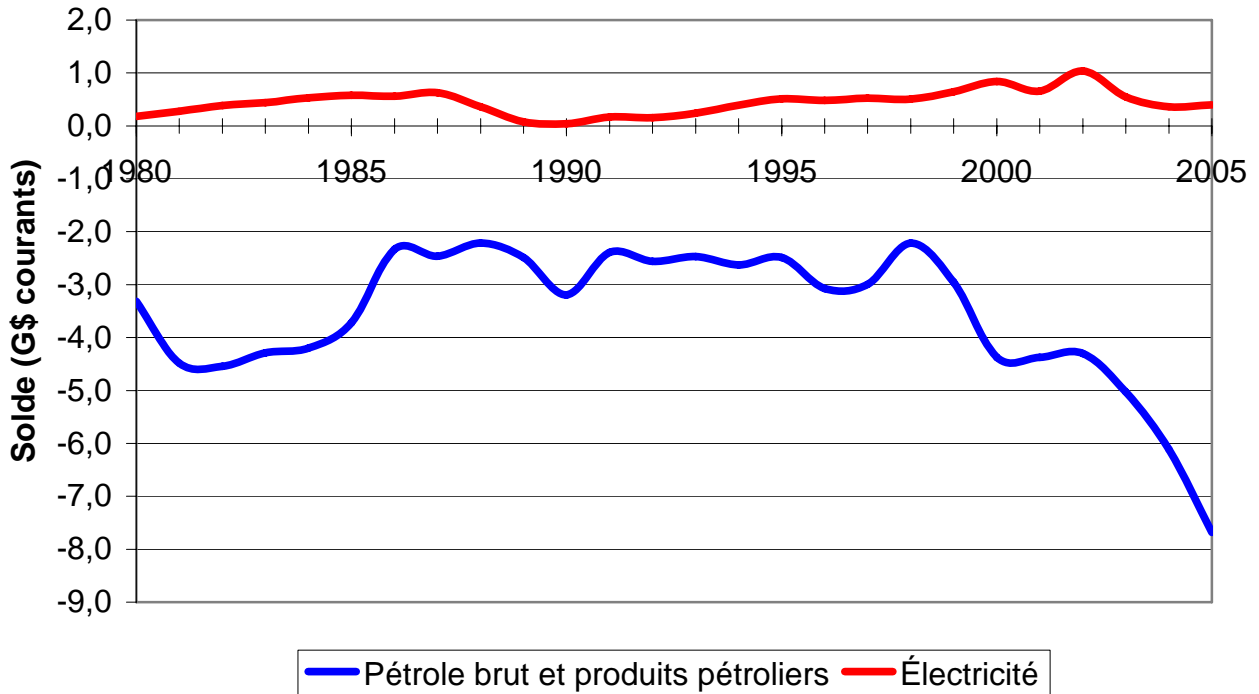
L'exportation d'électricité, si elle est rentable pour Hydro-Québec et donc pour le gouvernement québécois, n'est peut-être pas la meilleure façon de rentabiliser un investissement comme celui de la Romaine pour l'enrichissement de l'ensemble des québécois. En fait, pris isolément, l'exportation d'électricité n'enrichit pas réellement beaucoup le Québec dans son ensemble.

Sur le plan énergétique, il serait plus juste de dire que le pétrole appauvrit le Québec. Les pertes générées par l'importation de pétrole de l'étranger sont très loin d'être comblées par les bénéfices de l'exportation d'électricité (voir le graphique de la balance commerciale des filières pétrolière et hydroélectrique). Cette dernière a un effet presque négligeable sur la balance commerciale du secteur énergétique.

Ainsi, le plus rentable pour l'ensemble des québécois serait sans doute d'utiliser l'électricité pour diminuer la dépendance au pétrole, surtout que l'efficacité de l'utilisation de l'électricité dans les transports peut être jusqu'à trois fois supérieure à l'utilisation de carburants pétroliers.

Balance commerciale des filières pétrolière et hydroélectrique

Données : MRNF



Dans un tel contexte de boulimie énergétique, et si l'on ne s'attarde qu'à la partie électrique de notre consommation d'énergie, le projet la Romaine perd effectivement de son sens, tout en laissant les québécois avec un problème énergétique grandissant.

Toutefois, si l'on change de perspective, le projet peut prendre un sens différent.

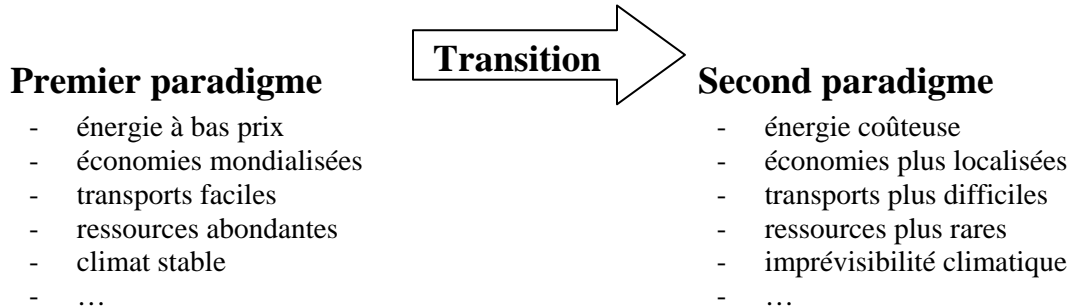
A.4 Un changement de paradigme qui s'impose

A.4.1 Paradigmes et transition

Avant d'aller plus loin, il importe de bien saisir que la compréhension du monde est toujours liée à la conception que l'on s'en fait : on voit le monde selon nos propres lunettes¹¹. Or, il s'avère que, pour la plupart des gens, la perception qu'ils ont du monde s'inscrit dans la continuité de celui qu'ils ont connu jusqu'à maintenant. Les études actuelles les plus sérieuses concernant la

¹¹ Pierre Calame, NIKAN : Congrès international sur les applications territoriales du développement durable 1997.

question de la disponibilité des ressources non-renouvelables et des changements climatiques m'amènent à penser que nous ferons face à des changements très importants, pour ne pas dire radicaux, dans les années qui suivent. Un changement de paradigme, hors de notre contrôle par ailleurs, s'imposera donc à nous. Ce changement consiste à passer du premier paradigme au second via une transition (voir le tableau suivant)¹².



La vie dans l'un ou l'autre de ces paradigmes n'est pas ce qu'il y a de plus problématique, ce qui est le plus critique, c'est la transition. Transition qui, avec la hausse et la chute subites des prix du pétrole, la crise économique qui se déploie ainsi que l'accélération supérieure aux prévisions les plus pessimistes du réchauffement climatique, a peut-être déjà commencée. Ainsi, j'estime **qu'un projet, pour être durable à long terme, doit être réalisable dans le premier paradigme, résister à la transition, et demeurer viable dans le second.**

Par exemple, lorsque vient le choix de décider entre investir dans une nouvelle autoroute ou dans un train léger électrifié, il apparaît clairement que, selon ce que j'ai dit plus haut, la solution d'un train léger électrifié est plus durable à long terme qu'une nouvelle autoroute.

De même, il m'apparaît important de s'assurer de la viabilité à long terme des projets énergétiques proposés, comme celui de la Romaine, dans un contexte de changement de paradigme.

A.4.2 Un scénario à long terme pour assurer la transition

Après avoir rappelé les éléments suivants dans les sections précédentes :

- 1- les perceptions du promoteur du projet La Romaine ainsi que celles des groupes opposés à ce projet des points de vue de l'énergétique et de l'émission de gaz à effet de serre ;
- 2- les conclusions des quatre études sur l'énergétique réalisées pour le compte du Conseil régional de l'environnement et du développement durable du Saguenay-Lac-Saint-Jean (CREDD) ;
- 3- le contexte de boulimie énergétique du Québec et de l'ensemble de l'Amérique du nord;
- 4- le changement de paradigme profond que nous imposent le déclin des sources non-renouvelables d'énergie et le réchauffement climatique ainsi que la transition inévitable et qui en est le véritable écueil ;

¹² Colin Campbell, géologue pétrolier à la retraite, auteur et cofondateur de l'Association for the study of the peak oil and gas (ASPO) nomme ces paradigmes premier et second âge du pétrole.

Il est possible de constater que le projet la Romaine peut s'inscrire dans une démarche beaucoup plus vaste que celle de l'exportation ou de la satisfaction de la croissance de notre consommation d'électricité.

Comme nous l'avons vu précédemment, le scénario d'une indépendance au pétrole pour 2030 pourrait répondre aux trois objectifs du quatrième rapport sur l'énergétique, soit :

- 1- assurer un approvisionnement énergétique fiable et sécuritaire aux québécois;
- 2- réduire 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.

Dans un scénario d'indépendance au pétrole pour 2030, l'élimination de plus de 40% de nos approvisionnements énergétiques provenant de sources fossiles nécessite, en plus de réaliser de très importantes économies réelles d'énergie, d'augmenter la production d'énergie de sources renouvelables sur le territoire québécois. **Une augmentation importante de la production d'énergie hydroélectrique devient alors essentielle** car c'est la source d'énergie renouvelable, avec la biomasse forestière et le bois-énergie, qui permet de produire de l'énergie le plus rapidement et le plus économiquement possible dans un délai aussi court (environ 20 ans). **Le rendement sur l'investissement énergétique de l'hydroélectricité québécoise est aussi le plus élevé de toutes les sources renouvelables** excepté le solaire passif sous certaines conditions¹³.

Dans un scénario d'indépendance au pétrole pour 2030, l'apport énergétique du projet de la Romaine m'apparaît alors essentiel. Il serait possible de ne pas réaliser ce projet mais il faudrait à ce moment trouver ailleurs un autre projet avec une production énergétique équivalente (8 TWh)¹⁴. Par ailleurs, ce scénario d'indépendance au pétrole requiert un apport supplémentaire de la filière hydroélectrique de 4000 MW entre 2020 et 2030. Ainsi, en ne construisant pas le complexe la Romaine, c'est donc l'équivalent d'environ 5500 MW d'énergie hydroélectrique qu'il faudra implanter d'ici 2030 **pour satisfaire non pas à de nouveaux besoins énergétiques mais pour remplacer une partie des besoins présents qui sont actuellement comblés par le pétrole.**

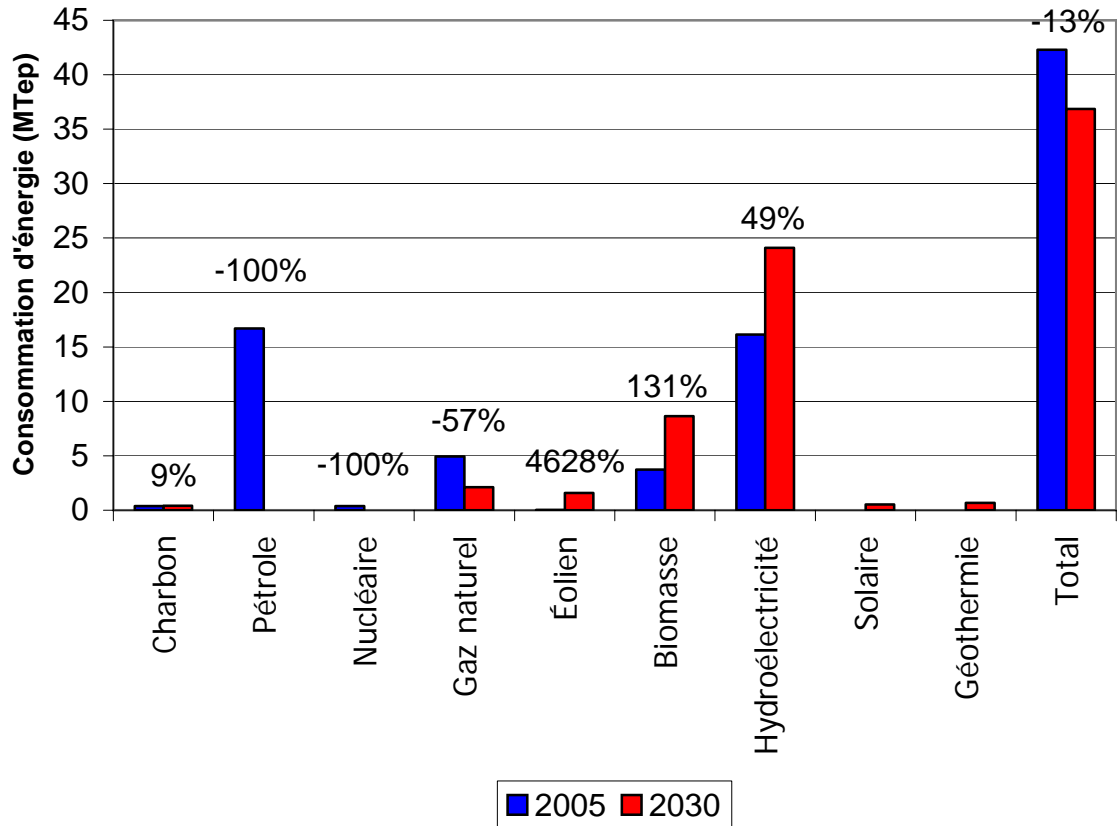
Le scénario retenu fait aussi appel aux sources d'énergie dites nouvelles que sont l'éolien, le solaire et la géothermie. En considérant des taux de croissance à peu près équivalents à ce que l'on voit dans le secteur de l'énergie solaire des pays les plus avancés¹⁵, **ces sources nouvelles ne pourront occuper qu'une très faible part dans le bilan énergétique du Québec en 2030 malgré de fortes croissances** (voir les graphiques suivants).

¹³ 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. Disponible sur le www.rncreq.org

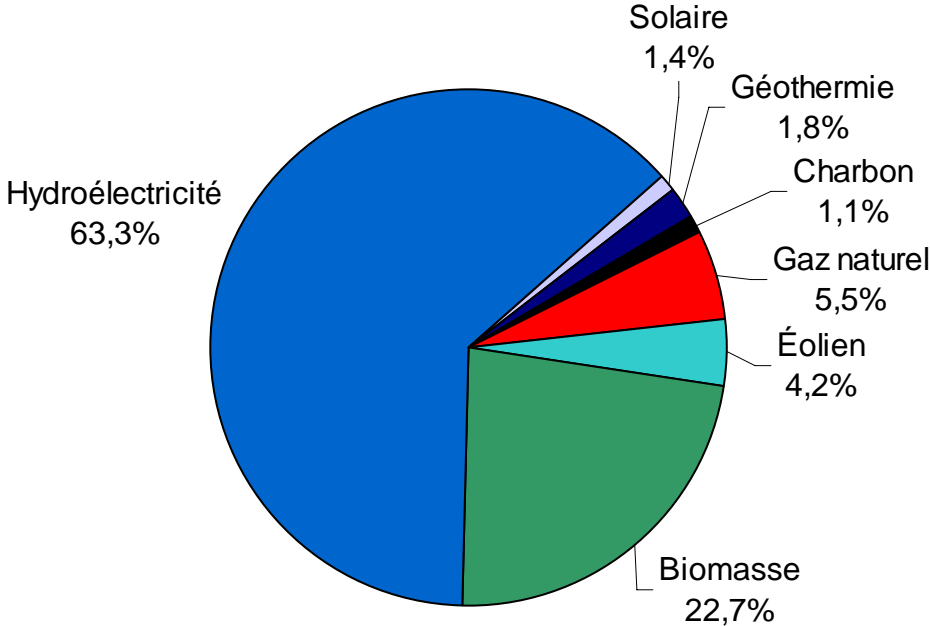
¹⁴ Soit environ la moitié de la production mondiale d'électricité solaire ou environ 5% de la production mondiale d'électricité éolienne.

¹⁵ BP Statistical Review of World Energy 2007, renewable section.

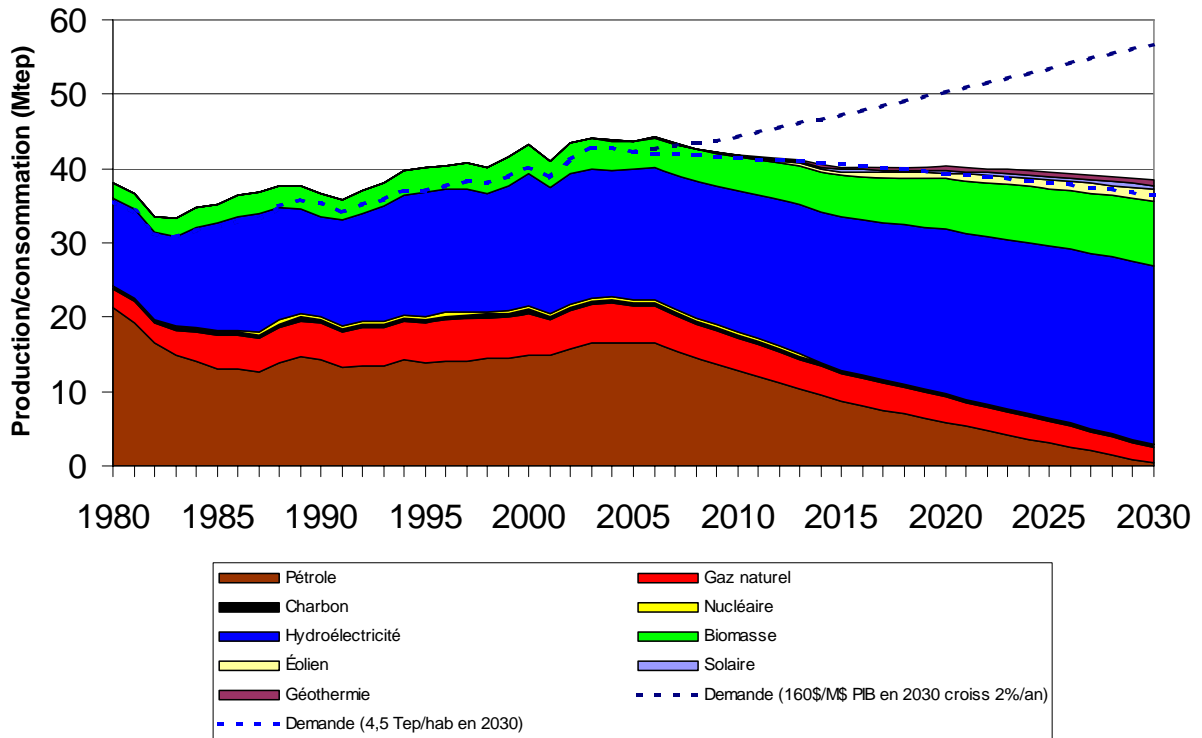
Variation de la consommation d'énergie par filière de 2005-2030



Consommation d'énergie primaire au Québec par source (2030)



Perspective énergétique "Indépendance pétrolière 2030"

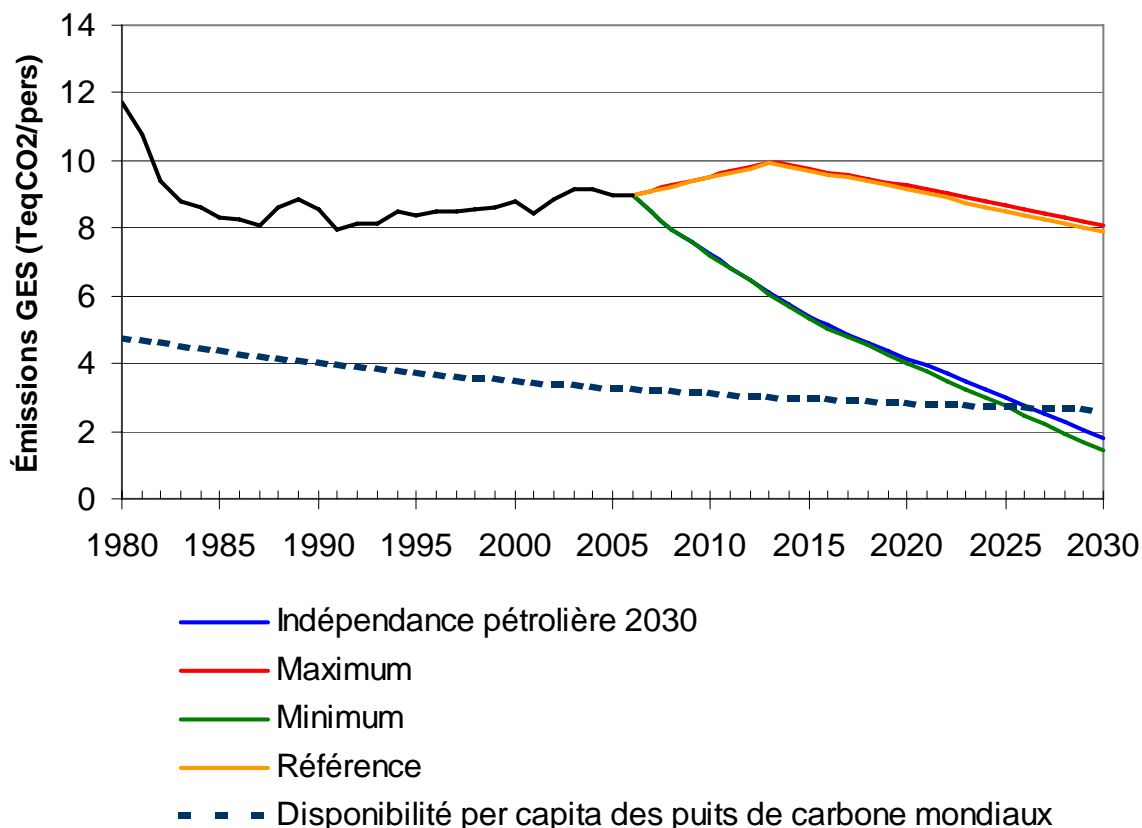


Sur le plan environnemental, l'étude démontre enfin que conséquemment à **l'adoption du scénario d'indépendance au pétrole pour 2030, on pourrait alors diminuer les quantités de gaz à effet de serre de façon très importante** puisque la combustion du pétrole représente 60% des gaz à effet de serre totaux émis au Québec.

Qui plus est, cette forte réduction pourrait se traduire en bénéfices économiques majeurs puisqu'en prenant pour acquis la réduction d'environ 50 MT d'équivalent CO₂ correspondante à ce scénario, et en la multipliant par l'estimation de la valeur du CO₂ en 2030 que fait l'Agence internationale de l'énergie (180 \$/TCO₂)¹⁶, nous obtenons un bénéfice qui pourrait atteindre environ 9 G\$.

¹⁶ Agence internationale de l'énergie, World Energy Outlook 2008, 12 novembre 2008.

Émissions de GES per capita provenant de la consommation énergétique québécoise



A.5 Conclusion

En conclusion, je considère que la stratégie énergétique du Québec actuelle, malgré de nombreux aspects positifs, est insuffisante pour répondre à la problématique énergétique globale québécoise.

En ce sens, les groupes environnementaux ont, à mon avis, tout à fait raison de se préoccuper sérieusement de la place que peut occuper ce projet dans ce contexte, et de s'inquiéter des impacts environnementaux non directement liés à la question énergétique, comme la perte d'une rivière de cette importance ou la question de l'érosion, par exemple.

Conséquemment, du point de vue d'un changement de paradigme, je recommande au RNCREQ et au CRECN d'appuyer le projet hydroélectrique de la Romaine, mais uniquement à **la condition qu'il s'inscrive à l'intérieur d'objectifs et des moyens vérifiables pour que l'énergie produite serve à réduire la dépendance au pétrole** le plus rapidement possible.

D'un autre côté, je tiens à souligner qu'il peut être risqué de ne pas développer un projet comme celui de la Romaine maintenant si l'on envisage la diminution de la disponibilité des combustibles fossiles dans un avenir rapproché. À cet égard, l'exportation d'électricité peut, pendant un certain temps, être utile au financement des infrastructures énergétiques nécessaires à une réduction de notre indépendance au pétrole, incluant les mesures d'économies d'énergie.

PARTIE B – Enjeux environnementaux locaux

Bien que nous ayons choisi, dans ce mémoire, d'examiner prioritairement le projet dans une perspective plus globale, nous tenions toutefois à partager avec le BAPE des préoccupations plus « pointues » sur des aspects qui nous apparaissent essentiels. Dans la présente section, nous nous attarderons sur des impacts environnementaux potentiels du projet. Conscient que l'exercice est loin d'être exhaustif et qu'il ne couvre pas l'ensemble des problématiques environnementales associées à un projet d'une telle ampleur, nous croyons qu'il donne tout de même une bonne idée des principales préoccupations que suscite ce projet pour nous.

B.1 Le projet et la faune aquatique

Le saumon est une espèce dont la situation est de plus en plus précaire au Québec et dans le nord-est du continent nord-américain. Pour cette raison, le RNCREQ et le CRECN sont préoccupés par l'impact des projets hydroélectriques sur les conditions hydrauliques favorables à l'espèce. Plusieurs éléments inquiètent les deux organismes. De manière générale, ce sont les conditions d'écoulement des eaux dans le tronçon aval du barrage La Romaine 1 pendant et après la construction qui nous préoccupent davantage. Les couvertures minimales d'eau des habitats de taccouage et de frayère du saumon et l'absence d'un débit réservé lors du remplissage du réservoir La Romaine 2 nous semblent les deux éléments les plus problématiques.

Nous sommes toutefois d'avis que les programmes de suivi prévus par le promoteur, notamment en ce qui a trait aux impacts des modifications thermiques de l'eau, au taux de survie des embryons et au maintien de la qualité des habitats pour le saumon devraient permettre, le cas échéant, d'apporter des mesures correctives. **Nous croyons cependant que le promoteur devrait assurer un suivi sur une plus longue période que ce qui a été initialement prévu au niveau des mesures de compensation.**

En plus des aspects spécifiques au saumon de l'atlantique, trois éléments importants retiennent notre attention quant aux impacts possibles du projet sur la faune aquatique. Le premier porte sur la contamination au mercure et son accumulation dans la chaîne alimentaire. Le second concerne le débit réservé en aval des ouvrages de retenues et le troisième est lié à l'augmentation importante de la pression de pêche (notamment durant la période des travaux) que le projet va engendrer sur l'ensemble du territoire.

En ce qui concerne la contamination au mercure, le RNCREQ et le CRECN constatent que la population est peu sensibilisée et connaît peu les problématiques associées à la contamination des poissons, notamment en ce qui a trait à la santé humaine. Les activités de sondage effectuées par le promoteur auprès des populations locales semblent démontrer la même chose. **Il est donc essentiel pour nous que le promoteur s'assure que les communautés en périphérie du projet soient informées des dangers que représente une surconsommation de poissons prélevés dans la zone affectée par le projet et qu'un suivi rigoureux soit réalisé afin de déterminer le succès des mesures de sensibilisation établies. Ce dernier devrait inclure un suivi de l'exposition des populations locales au mercure.**

Pour ce qui est des débits réservés, le CRECN et le RNCREQ se questionnent particulièrement sur l'impact possible d'un débit réservé insuffisant dans le tronçon aval du barrage Romaine 1.

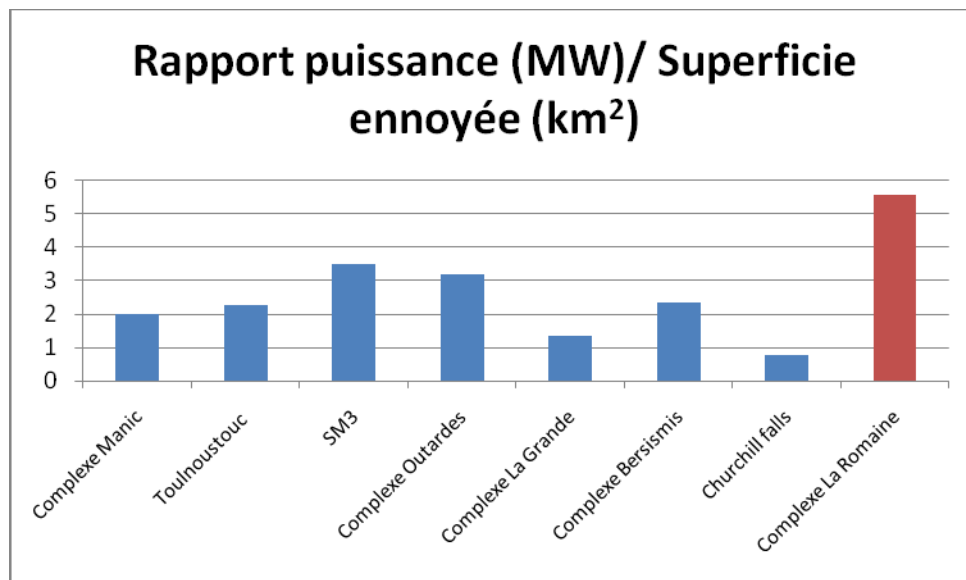
L'exondation possible des frayères à saumon préoccupent particulièrement les deux organismes. Par ailleurs, une augmentation probable de la prédation dans ce tronçon, en raison des conditions d'écoulement différentes, notamment lors de la mise en eau du réservoir La Romaine 2 préoccupent également les organismes.

Enfin, sur la question de la pression de pêche, nous sommes préoccupés non seulement par l'accès facilité à la ressource salmonicole décrite ci-haut (prédation humaine dans ce cas), mais également sur la pression de pêche qui s'exercera sur les plans d'eau situés à proximité de la route et des installations (campements surtout) lors de la période de construction. **Les expériences passées pour ce type d'ouvrage nous incitent à demander au promoteur de mettre en place des mesures permettant de limiter les impacts d'une pression de pêche accrue. Nous recommandons également que le promoteur instaure un système de contrôle pour s'assurer que la ressource salmonicole ne soit pas surexploitée pendant les périodes de construction où les conditions d'écoulement l'exposeront davantage. On devrait également évaluer la possibilité de conserver un débit supérieur pendant la période de construction et de mise en eau des réservoirs afin de limiter la prédation.**

Il serait également pertinent, à notre avis, que la région se donne un plan pour encadrer le développement de l'industrie de la chasse et de la pêche sur le territoire après les travaux, étant donné que l'accès aura été facilité.

B.2 La perte d'habitats

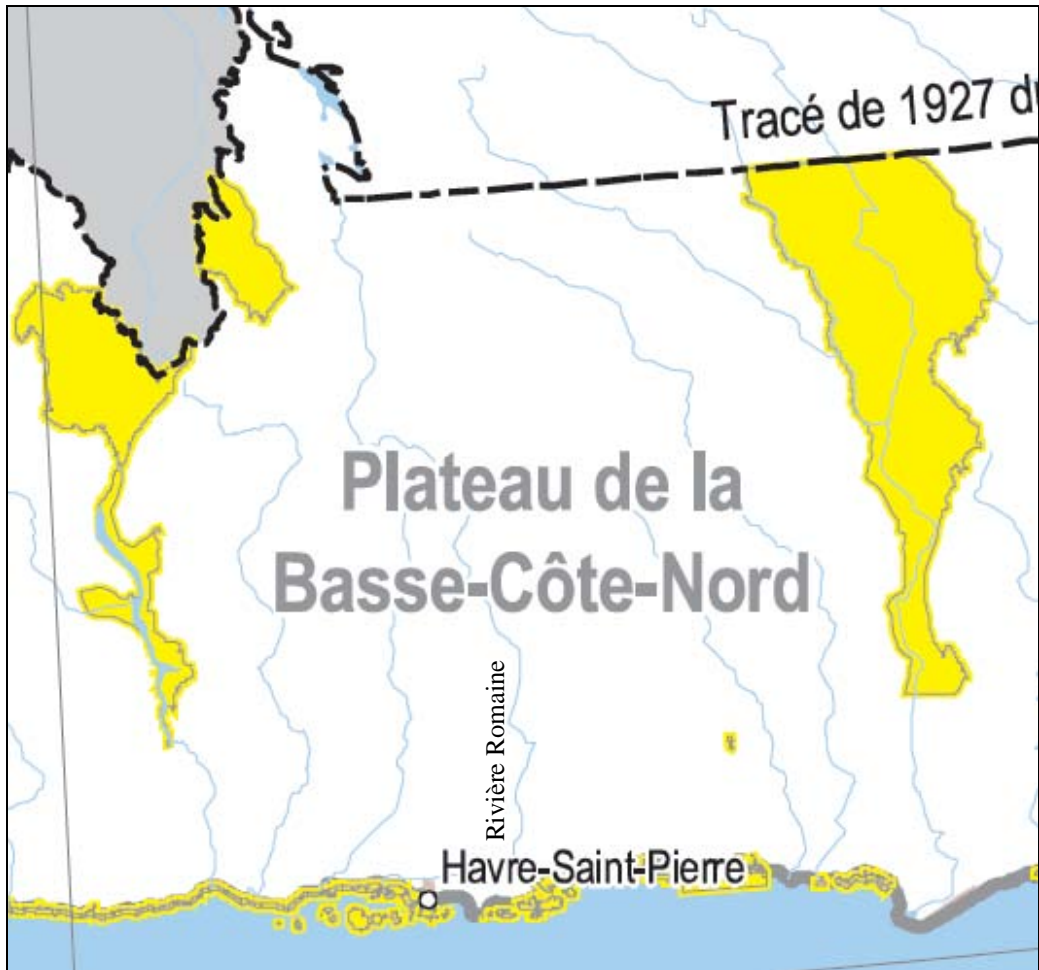
La mise en place d'un ouvrage de retenue entraîne toujours des pertes d'habitats pour la faune terrestre. L'actuel projet propose la création de quatre réservoirs qui occuperont une superficie ennoyée totale d'environ 280 km². Bien que cette superficie soit importante, elle demeure toutefois limitée par rapport à la production énergétique du complexe. À ce titre, le graphique suivant présente un comparatif avec les autres grands complexes hydroélectriques québécois :



À cet effet, le projet semble être de loin le plus optimisé des grands complexes québécois. Il demeure cependant qu'il entraînera tout de même des pertes d'habitats non négligeables pour la faune terrestre et la flore et que des mesures de compensations devront être apportées afin de limiter les impacts à ce niveau. Le RNCREQ et le CRECN sont particulièrement sensibles à la situation du caribou forestier. **De ce fait, ils souhaitent que le promoteur s'assure que les effets cumulatifs associés au dérangement de l'espèce, de même que les problèmes inhérents à un accès facilité au territoire, dont le braconnage, soient évalués et que des mesures particulières de protection et de sensibilisation soient mises en place afin de s'assurer du maintien des populations dans le secteur.**

Le CRECN et le RNCREQ tiennent également à spécifier que les connaissances sur l'espèce, surtout au niveau des concentrations dans l'est de la région, incluant la zone d'étude, sont grandement incomplètes et qu'il est hasardeux d'affirmer que les populations déclinent sur l'ensemble de l'aire de répartition, même s'il s'agit d'une affirmation qui est généralement admise. Les observations de la population de l'est de la région rapportées au CRECN tendent en effet à indiquer que les concentrations dans cette partie du territoire pourraient avoir augmenté dans les dernières décennies. Bien qu'il ne s'agisse que d'hypothèses, les activités humaines plus intenses à l'ouest du territoire, dont les activités forestières, auraient pu contribuer à un déplacement de certains individus ou de certaines hardes vers l'Est. Comme on sait que l'espèce est particulièrement sujette au dérangement induit par les activités humaines, il est d'autant plus important de s'assurer que le projet ne mettra pas en péril le maintien de l'espèce dans la zone du projet. Nous aimerions également spécifier que les aires protégées décrites par le promoteur n'ont toujours pas de statut permanent et que, bien qu'elles soient de superficie importante, ne sauraient suffire à protéger une espèce à aussi grand domaine vital s'il s'avérait que d'autres activités venaient s'ajouter, notamment des activités forestières. Il faut également rappeler que le tracé prévu de la ligne de transport d'énergie située au nord du projet scinderait en deux l'aire protégée des lacs Belmont et Magpie, ce qui pourrait contribuer au dérangement des caribous forestier en fragmentant le massif de protection.

Le CRECN et le RNCREQ considèrent que le suivi effectué par le promoteur doit permettre de parfaire les connaissances sur l'espèce, notamment en ce qui a trait aux concentrations et à l'utilisation effective des aires protégées comme refuge. À ce titre, l'aire d'étude devrait comprendre ces aires puisque le promoteur croit qu'elles serviront à réduire l'impact sur l'espèce.



Carte - Aires protégées en périphérie du projet (tirée de Les aires protégées au Québec, MDDEP, 2007)

Bien que conscients que la situation économique actuelle, particulièrement difficile dans le secteur de l'industrie forestière, ne facilite pas la récupération et la transformation du bois, nous considérons que l'on ne devrait plus, en 2008, envoyer des volumes de bois aussi importants. Avec une industrie forestière qui ne cesse de se plaindre des baisses de ses attributions, il est incompréhensible que l'on cautionne un tel gaspillage de ressources. **Nous croyons à cet effet qu'il faut mettre tout en œuvre afin d'éviter d'envoyer de grandes superficies de territoire sans en prélever avant la matière ligneuse.**

B.3 Dynamique sédimentaire

Un autre point qui suscite des préoccupations pour le RNCREQ et le CRECN est la question de l'impact du projet sur le transport sédimentaire. Nous sommes d'autant plus préoccupés que la problématique est particulièrement importante dans la région. Un document de vulgarisation préparé par le Comité ZIP Côte-Nord du Golfe intitulé *L'érosion des berges au Québec maritime* explique les impacts potentiels du harnachement d'un cours d'eau de la manière suivante : « Au cours du dernier siècle, l'exploitation des ressources naturelles et l'augmentation de la demande énergétique ont nécessité la construction de barrages sur de nombreux cours d'eau. L'impact de ces barrages sur le milieu côtier n'est pas à négliger. En effet, les barrages régularisent le débit des

rivières, ce qui diminue l'érosion des berges en aval des ouvrages pendant les crues. Des études ont aussi montré que la baisse des débits à l'embouchure d'une rivière harnachée déstabilise l'équilibre entre les forces marines et fluviales : les vagues de tempêtes peuvent pénétrer plus loin à l'intérieur des terres et ainsi accentuer l'érosion de la côte. De plus, le réservoir des barrages forme un énorme piège à sédiments, de sorte que la charge sédimentaire pouvant alimenter les plages à l'embouchure des cours d'eau harnachés s'en trouve réduite.»¹⁷ Bien que la géomorphologie de la rivière en amont du barrage La Romaine 1 ne semble pas favorable à l'érosion des berges, ce tronçon est tout de même responsable de 35 % de l'apport sédimentaire dans le tronçon aval du même barrage. Cette baisse de plus du tiers de l'apport sédimentaire nous inquiète. **Celle-ci est d'autant plus inquiétante que le promoteur ne prévoit pas un suivi particulier des berges du littoral du golfe Saint-Laurent en périphérie de l'embouchure de la rivière. En raison des problématiques importantes que connaît la région en ce qui concerne l'érosion des berges, le RNCREQ et le CRECN considèrent que les impacts des changements à la dynamique sédimentaire doivent être modélisés et qu'un suivi doit être effectué avant, pendant et suite à la mise en service du complexe.**

Finalement, le RNCREQ et le CRECN se questionnent également sur la réduction de l'apport en nutriments vers le milieu estuarien et marin causé par la présence d'un ouvrage de retenue. De récents travaux de recherche démontrent en effet que la présence de barrages nuit au transport des sédiments vers le milieu marin, pouvant ainsi provoquer une baisse des nutriments disponibles pour la faune marine.¹⁸ Il existe plusieurs exemples, au niveau international, où la mise en place d'installations de retenue a entraîné la dégradation des milieux estuariens et côtiers en périphérie.¹⁹ La présence d'un important parc national et de zones de concentration d'oiseaux et de mammifères marins à proximité de l'embouchure de la rivière amène le RNCREQ et le CRECN à se questionner sur les impacts possibles du projet à ce niveau. **Ils recommandent que le promoteur s'engage dans un processus de concertation et de collaboration avec le milieu afin de mettre en place des indicateurs qui permettront d'évaluer les impacts possibles du projet sur le milieu biologique en périphérie de l'embouchure de la rivière. Les préoccupations identifiées par le milieu devront être prises en compte dans la création d'un programme de suivi de ces indicateurs. À ce titre, il serait pertinent que Pêches et Océans Canada, notamment, travaille avec Hydro-Québec à développer une expertise sur la question de l'impact des grands ouvrages de retenue sur la productivité biologique en périphérie de l'embouchure des rivières harnachées.**

¹⁷ Comité ZIP Côte-Nord du Golfe, 2007

¹⁸ Voir notamment Teodoru, Christian. « Nutrient Retention in Danube's Iron Gate Reservoir », *EOS*, vol. 87 #38, 19 septembre 2006.

¹⁹ Les cas du Nil et du Mississippi sont notamment bien documentés.

PARTIE C – Développement économique et social

L'ampleur des retombées économiques et sociales du projet la Romaine pour le Québec, mais particulièrement pour la région de la Côte-Nord, est indéniable. Du point de vue du paradigme actuel (nous faisons ici référence à la distinction faite par M. Déry dans la Partie A du présent mémoire), ce potentiel de développement est d'ailleurs la seule justification valable pour le projet puisque les justifications énergétiques et environnementales n'ont, de ce point de vue, pratiquement aucun sens.

Sur cette question du développement économique et social, le RNCREQ et le CRECN constatent aussi qu'il se situe dans un paradigme plutôt étroit. Pour eux, le projet La Romaine est calqué à peu de chose près sur la même approche de développement, disons plutôt «classique et unidimensionnelle», qui a caractérisé la construction d'ouvrages hydroélectriques au Québec au cours des 50 dernières années. Le constat est le même, que ce soit pour ce qui concerne Hydro-Québec ou encore la communauté d'accueil.

Pour Hydro-Québec, même si la société d'État a raffiné sa stratégie pour s'assurer de l'adhésion du milieu au projet, reste que l'approche traditionnelle demeure : le projet la Romaine, c'est un projet hydroélectrique tout ce qu'il y a de plus traditionnel, livré clef en main, sans dialogue ni participation du milieu à la conception du projet.

Pour le milieu, le constat est plus attristant encore. Une région ressource qui voit dans un tel projet l'occasion inespérée de redynamiser une économie plutôt stagnante et qui conséquemment, est prête à l'impossible pour éviter de manquer l'occasion. Dans ce contexte, difficile d'émettre des réserves sur certaines dimensions du projet, ou encore de proposer des ajustements. Il ne faut surtout pas faire fuir le promoteur. Et malgré les ententes et garanties qui assureront de généreuses redevances pour les communautés locales, en l'absence d'une réelle vision de développement durable à l'échelle régionale et locale, il est difficile de voir comment on pourra utiliser cette opportunité unique d'investissement comme un véritable tremplin pour assurer l'amélioration notable de la qualité de vie des nord-côtiers.

Le RNCREQ et le CRECN considèrent qu'Hydro-Québec et la communauté devraient eux aussi faire évoluer ce paradigme afin d'amorcer une transition en faveur d'approches de développement plus visionnaires, axées sur l'innovation, qui permettrait de faire de ce beau projet, un «**extraordinaire projet**» qui serait porteur, stimulant et générateur de retombées économiques et sociales **durables**.

Voici d'ailleurs quelques pistes, qui à notre avis, pourraient permettre de faire évoluer ces approches :

- Pourquoi Hydro-Québec n'envisage-t-il pas d'intégrer directement sur le site du projet l'installation de turbines éoliennes (couplage éolien hydroélectrique direct) de manière à optimiser le rendement du complexe ? En plus de lui permettre de développer une expertise internationale en ce domaine, cela pourrait permettre, sait-on jamais, de limiter les impacts environnementaux en augmentant le niveau des débits réservés, par exemple.
- Pourquoi Hydro-Québec ne pourrait-il pas envisager de faire de ce chantier un modèle international de construction écoresponsable. Il s'agirait de mettre en pratique et d'exiger des entrepreneurs qu'ils adoptent des comportements exemplaires (politiques d'achats

responsables (fournitures, matériaux, nourriture, etc.), véhicules électriques ou à faibles émissions, bâtiments éconergétiques, respects des plus hauts standards au niveau de la gestion des matières résiduelles, utilisation prioritaire du transport maritime, etc.) ?

- Pourquoi la région ne se donne-t-elle pas un plan structuré qui lui permettra de se démarquer et de consolider son développement en se donnant pour objectifs de devenir une vitrine pour le développement durable, d'améliorer la qualité de vie de ses citoyens en préconisant des investissements importants dans des infrastructures « vertes » (traitement de l'eau, épuration, transport actif et collectif, etc.) ?
- La région ne pourrait-elle pas envisager de faire de l'énergie renouvelable un véritable créneau d'excellence, une marque distinctive qui lui permettrait d'attirer d'autres investissements (technologies matures ou projet de démonstration) autour de la production, du stockage ou de l'utilisation de l'énergie (solaire photovoltaïque ou passif, hydrogène, piles alcalines certifiées «énergie renouvelable», électrification de la communauté, biomasse forestière et bois-énergie, etc.) ?

Conclusion

À prime abord, le RNCREQ et le CRECN souhaitent signifier à la commission qu'ils partagent tout à fait le diagnostic que dressent de plus en plus d'intervenants du milieu à l'égard de la perte de crédibilité des processus d'audiences publiques en général, mais surtout à l'égard du BAPE en particulier. Nous estimons qu'une profonde réforme s'impose, et que celle-ci doit s'inscrire dans une démarche globale de modernisation de la Loi sur la qualité de l'environnement.

Cela dit, le RNCREQ et le CRECN ont néanmoins choisi de participer aux présentes audiences, notamment en raison de l'importance des enjeux que le projet soulève pour le développement durable du Québec, mais surtout parce que si le BAPE a perdu bien du lustre, les audiences qu'il tient demeurent toujours une occasion privilégiée pour des organisations comme les nôtres de faire valoir leur position.

Le BAPE reconnaîtra que le RNCREQ et le CRECN, en tant qu'organisations œuvrant dans le domaine de l'environnement, font preuve ici de beaucoup d'audace avec ce mémoire. Ils se positionnent en effet de façon très particulière par rapport au développement de projets hydroélectriques. C'est un risque qu'ils acceptent de prendre dans la mesure où ils reconnaissent qu'il faut à tout prix aborder ces enjeux dans une perspective globale. Ils espèrent sincèrement que le BAPE fera preuve d'autant d'audace dans son rapport afin de marquer un tournant dans sa façon d'aborder les dossiers et de considérer son rôle. Le RNCREQ et le CRECN comptent sur le BAPE pour qu'il se fasse la courroie de transmission de leur plaidoyer en faveur d'un changement de paradigme qui sera salutaire pour l'avenir du Québec.

Sur le fond du dossier maintenant, le RNCREQ et le CRECN estiment que la justification économique du projet la Romaine, particulièrement pour la région de la Côte-Nord, ne fait pas de doute. Elle pourrait toutefois, à notre avis, être grandement améliorée si Hydro-Québec et les communautés d'accueil faisaient preuve d'une vision plus innovante, intégrée et durable de ce développement.

Le problème avec le projet la Romaine pour le RNCREQ et le CRECN se situe donc au niveau de la justification énergétique et environnementale. Pour nous, la seule et unique manière d'envisager positivement ce projet, c'est d'en faire une composante d'une stratégie globale, structurée et mesurable visant l'indépendance pétrolière du Québec. Le projet deviendrait alors, pratiquement essentiel à l'atteinte de cet objectif ambitieux mais non moins nécessaire.

Le RNCREQ et le CRECN demandent donc au BAPE de recommander au gouvernement du Québec de mettre rapidement en chantier une planification énergétique complète et à long terme qui inclura à la fois la production et la consommation d'énergie et qui intégrera aussi le projet mobilisateur d'une indépendance au pétrole pour 2030.

Annexes

ANNEXE 1

Rapport #1 sur l'énergétique régionale :

Substitution énergétique Mythe ou réalité?

Substitution énergétique

Mythe ou réalité?



**Conseil régional de l'environnement et du
développement durable (CREDD)**

Groupe de recherches écologiques de La Baie (GREB)

Rapport #1
sur l'énergétique régionale

Substitution énergétique
Mythe ou réalité?

Réalisé par

Patrick Déry, B.Sc, M.Sc. (physique)
Analyste/consultant, spécialiste en énergétique,
agriculture et environnement

Pour

Conseil régional de l'environnement et du développement durable
(CREDD), Saguenay–Lac-St-Jean

Groupe de recherches écologiques de La Baie (GREB)

Octobre 2007

Partenaires financiers



Sommaire

Sommaire	3
Note	3
Remerciements	3
Avertissement	3
Présentation des organisations	4
Introduction	5
Qu'est-ce que la substitution énergétique?	6
1- La substitution des parts de marché (ou relative)	6
2- La substitution énergétique effective	8
Pourquoi parle-t-on autant de substitution énergétique?	12
1- La sécurité ou indépendance énergétique nationale	12
2- Le réchauffement climatique	13
Que peut-on retirer des données historiques quant à la substitution énergétique?	14
Les États-Unis d'Amérique	14
Le monde	25
L'Allemagne	30
Le Québec	34
Résultats	38
Quelles sont les conditions pour réussir une substitution ?	39
Conclusion	40
La planification énergétique à long terme, une condition essentielle	40
Quelle est la pertinence de cette planification?	40

Note

Le présent rapport est le premier d'une série de cinq sur l'énergétique au Saguenay–Lac-St-Jean. Les trois premiers rapports concernent des concepts importants de l'énergétique que sont la substitution énergétique, l'efficacité énergétique et l'économie d'énergie et le rendement énergétique. Le quatrième aborde l'énergétique au niveau mondial et québécois. Le dernier rapport met 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 tout autre partie de ce rapport peuvent être utilisés à condition de mentionner l'auteur.

Présentation des organisations

Le Conseil régional de l'environnement et du développement durable (CREDD) du Saguenay-Lac-St-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 œuvrant 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).

Le 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 quatre axes d'intervention: recherche, expérimentation, éducation, puis action publique et civique.

«Les faits ne cessent pas d'exister parce qu'ils sont ignorés», **Aldous Huxley**

Introduction

Principalement en raison de la préoccupation croissante concernant le réchauffement climatique, certaines filières énergétiques sont perçues depuis plusieurs années comme solution à cette problématique car elles pourraient se substituer aux sources d'énergie fortement émettrices de gaz à effet de serre¹.

Toutefois, les travaux réalisés jusqu'à maintenant sur la question de la substitution énergétique, comme ceux de Cesare Marchetti dans les années 1970², ont tous été liés à la substitution des parts de marché et non à la substitution réelle de sources d'énergie par d'autres. Rarement, il nous a été donné de constater qu'une source plus «propre» empêchait la consommation d'une autre sur une période de temps importante.

Pourtant, la substitution constitue souvent, avec la séquestration du carbone, un élément essentiel aux stratégies de lutte aux changements climatiques.³ Aussi, la substitution est-elle souvent un argument fort des promoteurs de projets énergétiques pour justifier ceux-ci auprès des décideurs et de la population.⁴ Il est d'ailleurs très fréquent d'entendre que l'installation d'éoliennes, de panneaux solaires ou d'une centrale au gaz naturel permettrait d'éviter l'utilisation de charbon plus polluant.

Mais qu'en est-il vraiment de la substitution énergétique?

Peut-on vraiment éviter de consommer autant de charbon et de pétrole en les substituant par des sources plus propres?

Les productions supplémentaires par des sources «propres» d'énergie ne font-elles pas que s'additionner à la consommation totale d'énergie?

Quelles sont les conditions qui permettraient effectivement à la substitution énergétique d'avoir un impact réel et concret sur la consommation d'énergie et l'émission de gaz à effet de serre?

C'est à ces questions que nous tenterons de répondre par ce rapport.

¹ Le plan du gouvernement québécois sur la réduction de la consommation de mazout lourd visant à améliorer la qualité de l'air et à réduire les émissions de gaz à effet de serre en est un bon exemple (1^{er} octobre 2007).

² Marchetti, C., Primary Energy Substitution Models: On the Interaction Between Energy and Society, *Technological Forecasting and Social Change*, 10:345—356, 1977.

Marchetti, C., Energy Systems -- The Broader Context, *Technological Forecasting and Social Change*, 14:191—203, 1979.

Marchetti, C., and Nakicenovic, N., The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model part I part II, RR-79-13, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 1979.
Luis de Sousa, Marchetti's curves, the Oil Drum, juillet 2007

³ Working Group III, Fourth assessment report, chapter 4, IPCC (GIEC), 2007.

⁴ Exemple : «Rabaska : un pas vers Kyoto», La Presse, 29 septembre 2007.

Qu'est-ce que la substitution énergétique?

La substitution énergétique est le remplacement d'une source d'énergie par une autre. Définition simple, mais qui cache en fait une réalité à deux facettes soit la substitution des parts de marché et la substitution effective.

1- La substitution des parts de marché (ou relative)

La substitution des parts de marché consiste à la prise de possession des parts de marché d'une source d'énergie par une autre. Les parts de marché de chaque source sont exprimées en pourcentage de la valeur totale de la consommation ou de la production énergétique, ayant été ramené à une valeur unitaire (100%), d'une entité prédéfinie (pays, province, région...).

Pour observer la substitution des parts de marché, il faut d'abord transformer les valeurs numériques de la consommation d'énergie de chaque filière en proportion de la consommation totale d'énergie pour chaque année. Par exemple, dans le tableau 1 en 1990, la consommation de 100 Mtep (mégatonne d'équivalent pétrole) pour la source A sur une consommation totale de 175 Mtep donne une part de marché de 57%.

On représente ensuite l'ensemble des valeurs obtenues sur un graphique avec une courbe pour chaque source d'énergie.

En observant chacune des courbes, il est ensuite possible d'identifier les moments où il y a substitution des parts de marché, soit un remplacement d'une source par une autre relativement à leur part de marché. Voici deux exemples purement théoriques pour illustrer la démarche.

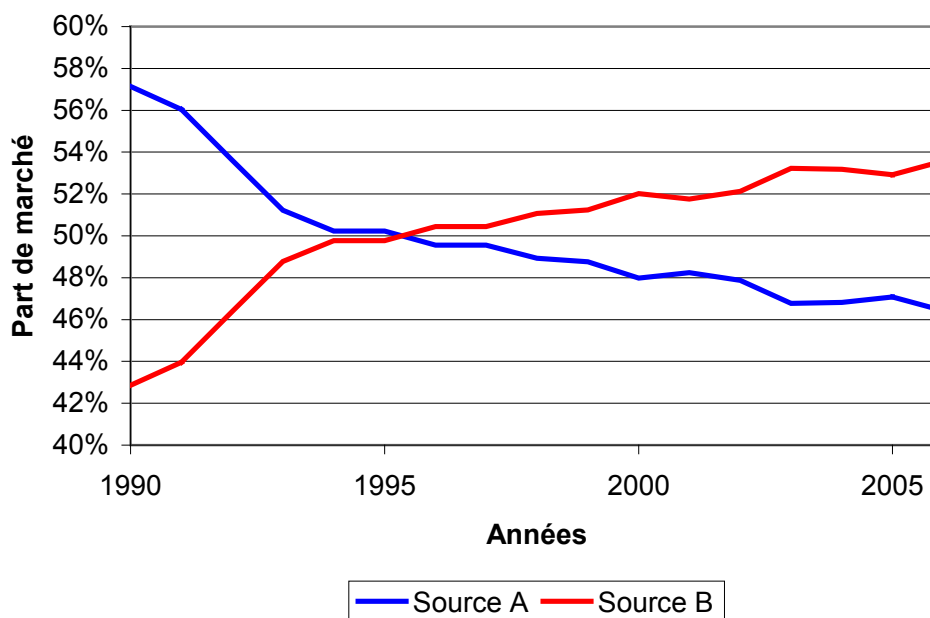
Tableau 1 : Exemple 1

Année	Consommation			Part de marché (%)	
	Source A	Source B	Totale	Source A	Source B
1990	100	75	175	57%	43%
1991	102	80	182	56%	44%
1992	104	90	194	54%	46%
1993	105	100	205	51%	49%
1994	106	105	211	50%	50%
1995	108	107	215	50%	50%
1996	110	112	222	50%	50%
1997	113	115	228	50%	50%
1998	115	120	235	49%	51%
1999	118	124	242	49%	51%
2000	119	129	248	48%	52%
2001	123	132	255	48%	52%
2002	124	135	259	48%	52%
2003	123	140	263	47%	53%
2004	125	142	267	47%	53%
2005	129	145	274	47%	53%
2006	130	150	280	46%	54%

Tableau 2 : Exemple 2

Année	Consommation			Part de marché (%)	
	Source A	Source B	Totale	Source A	Source B
1990	100	75	175	57%	43%
1991	98	77	175	56%	44%
1992	94	81	175	54%	46%
1993	90	85	175	51%	49%
1994	88	87	175	50%	50%
1995	88	87	175	50%	50%
1996	87	88	175	50%	50%
1997	87	88	175	50%	50%
1998	86	89	175	49%	51%
1999	85	90	175	49%	51%
2000	84	91	175	48%	52%
2001	84	91	175	48%	52%
2002	84	91	175	48%	52%
2003	82	93	175	47%	53%
2004	82	93	175	47%	53%
2005	82	93	175	47%	53%
2006	81	94	175	46%	54%

Figure 1: Part de marché par filière exemples 1 et 2



Les graphiques des parts de marché de ces deux exemples étant identiques, nous les avons fusionnés en un seul graphique (figure 1). On peut y voir que les parts de marché de la source A ont été substituées par la source B pour l'ensemble de l'échelle de temps représentée pour les deux exemples.

Si l'on s'arrête là, on pourrait conclure que la source A cède réellement sa place à la source B. C'est ce que font habituellement les analystes qu'ils soient du domaine énergétique ou économique. Nous verrons dans la prochaine section s'il y a eu un réel remplacement de la source A par la source B.

2- La substitution énergétique effective

La substitution effective consiste au remplacement concret et mesurable de la consommation ou de la production d'une source par une autre. La source substituée doit alors voir son utilisation diminuer de façon mesurable et inversement pour la source qui substitue. Une consommation ou production additionnelle évitée d'une source par une autre source ne constitue pas de la substitution effective car elle n'engendre aucun remplacement direct.

Pour observer un réel remplacement d'une source par une autre et ses impacts à long terme, il est nécessaire d'utiliser directement les données historiques de consommation d'énergie. Pour cela, il faut réaliser deux graphiques différents.

Le premier graphique contient les courbes des statistiques de la consommation d'énergie pour chaque filière pour une entité géopolitique déterminée. Le second graphique est plus complexe à effectuer et nécessite un certain traitement des données historiques. La méthode ne sera pas détaillée ici, mais précisons seulement qu'il faut extraire des données historiques les variations négatives de consommation pour chacune des filières et les variations positives qui y sont associées. De cette façon, on peut à la fois identifier les sources dont la consommation a diminué et celles qui les ont remplacées.

À partir de ces deux graphiques, il est possible de mettre en évidence les moments où il y eu substitution, quelles ont été les sources substituées et les substituantes ainsi que la durée de la substitution. Comme mentionné précédemment, l'ajout ou l'augmentation de la consommation d'une source qui ne fait pas diminuer la consommation des autres sources ne constitue pas une substitution effective, mais plutôt une addition à la consommation. D'ailleurs, ces changements n'ont habituellement aucun impact sur la sécurité énergétique ou sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Prenons les deux exemples précédents pour illustrer le propos.

Même si ces deux exemples avaient la même représentation sur les graphiques des parts de marché (figure 1), la réalité est tout à fait différente en ce qui concerne la représentation graphique de la consommation réelle (figures 2 et 4).

Figure 2: Consommation par filière exemple 1

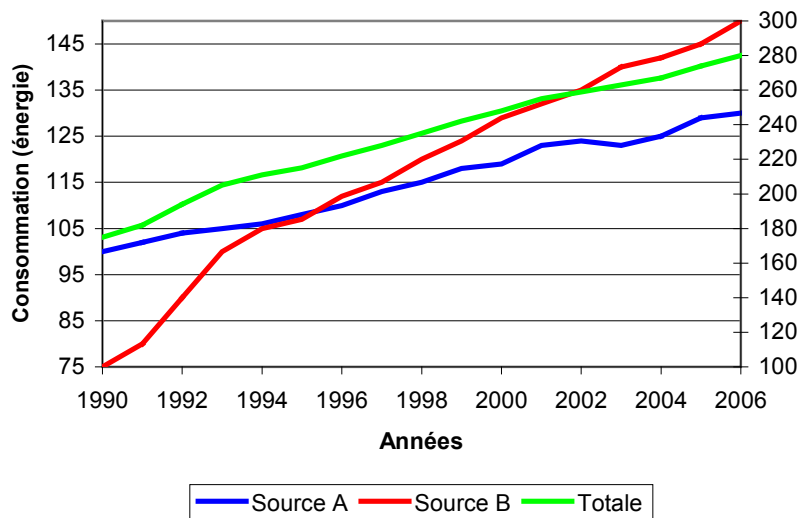
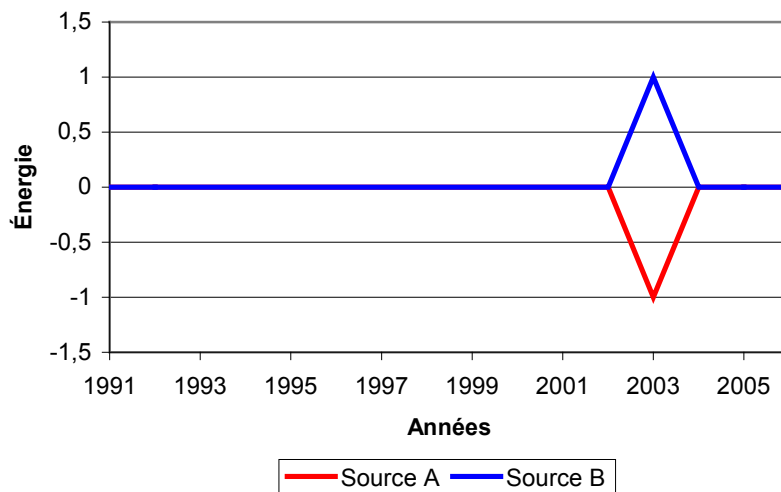


Figure 3: Substitution par filière exemple 1



Sur la figure 2, celle de l'exemple 1, il est facile d'observer qu'il n'y a aucune forme de substitution à long terme à cause de la croissance continue de la consommation de chaque filière. La figure 3 indique clairement d'ailleurs une substitution effective uniquement en 2003 et pour un an seulement. Ce résultat est très différent de celui obtenu avec les courbes de substitution des parts de marché. La croissance plus rapide de la consommation de la source B que celle de la source A explique le changement des parts de marché et non une quelconque substitution effective. Ce n'est que l'apparence d'un remplacement d'une source par une autre.

Figure 4: Consommation par filière exemple 2

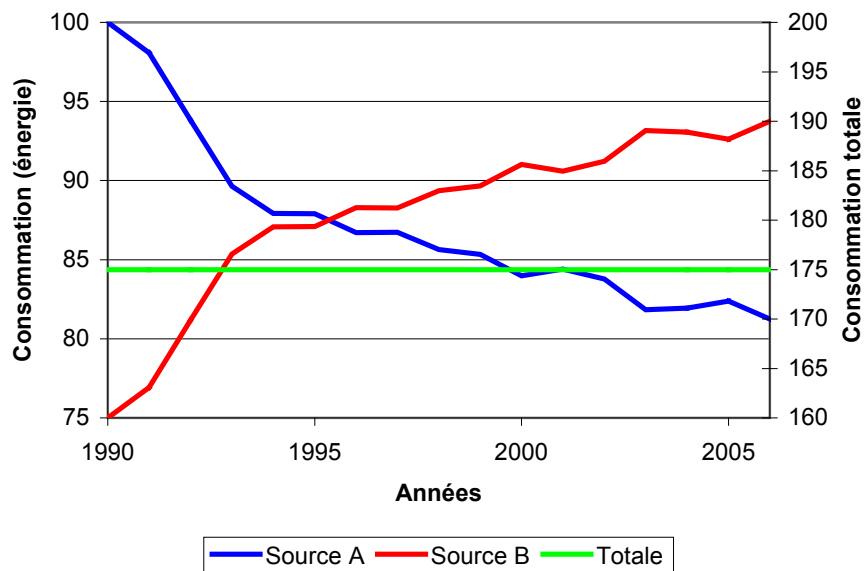
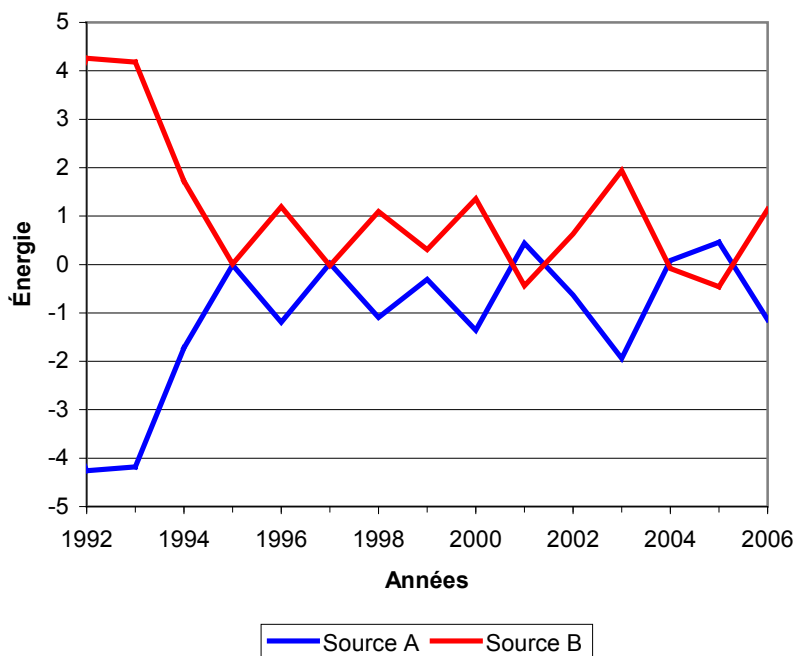


Figure 5: Substitution par filière exemple 2



Sur la figure 4 (exemple 2), à l'inverse de la figure 2, la consommation totale est stable tandis que la consommation de la source A décroît et celle de la source B s'accroît. Il y a donc une réelle substitution de la source A par la B. La figure 5 nous indique les substitutions effectives et leurs ampleurs selon les années.

Ces deux exemples, bien qu'hypothétiques, illustrent de façon non équivoque que l'utilisation de graphiques de part de marché ne permet pas de reconnaître une substitution ayant des impacts concrets. L'utilisation à la fois d'un graphique de la consommation réelle d'énergie par filière et d'un graphique de substitution effective s'avère efficace pour atteindre cet objectif. Nous verrons plus loin ce qui se passe avec des données réelles.

Pourquoi parle-t-on autant de substitution énergétique?

Actuellement, la substitution énergétique est un concept en vogue principalement pour deux raisons. La première en importance est la question du réchauffement climatique et la seconde la question de la sécurité énergétique nationale.

1- La sécurité ou indépendance énergétique nationale

Suite au discours du président américain George W. Bush sur l'état de l'Union en janvier 2006 et sa phrase désormais célèbre : « we are addicted to oil »⁵, le gouvernement américain a lancé un programme d'indépendance énergétique basé principalement sur la substitution du pétrole provenant des pays du Moyen-Orient par des biocarburants tels que l'éthanol. Ceux-ci ne se révèlent pourtant pas très efficaces à cette fin, du moins pour l'instant, étant donné la grande quantité de pétrole et de gaz naturel, sous la forme de fertilisants, produits phytosanitaires et carburants, nécessaires à la production agricole⁶. Il est difficile de confirmer qu'il y a réelle substitution du fait que la production a débuté depuis peu de temps. Pour l'instant, s'il y a eu substitution, elle serait tellement faible qu'elle serait indiscernable des autres effets comme le ralentissement économique dû à la crise immobilière américaine.

Il demeure que les États-Unis, comme plusieurs autres pays dont la Suède ou l'Islande⁷, utilisent l'argument de la substitution de sources de provenances étrangères par des sources locales pour l'atteinte d'une indépendance et d'une sécurité énergétique nationale. Le Québec a d'ailleurs invoqué cette raison pour justifier le transfert du chauffage au mazout vers l'électricité dans les années 70-80 après les deux chocs pétroliers et la mise en service de la Baie-James.

⁵ AFP, Essence : Bush veut réduire la consommation, Le Devoir, 15 mai 2007.

⁶ Bhat, M.G., B.C. English, A.F. Turhollow and H. Nyangito. 1994, Energy in Synthetic Agricultural Inputs: Revisited. Oak Ridge National Laboratory Report ORNL/Sub/90-99732/2. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory.

N.B. McLaughlin et al., Comparison of energy inputs for inorganic fertilizer and manure-based corn production, Canadian Agricultural Engineering, Vol. 42, No. 1, 2000.

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.

travaux de pimentel sur l'éthanol

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.

⁷ Statement of Government Policy presented by the Prime Minister, Mr Göran Persson, to the Swedish Riksdag on Tuesday, 13 September 2005

John Vidal, environment editor, Sweden plans to be world's first oil-free economy, Guardian, Wednesday February 8, 2006.

2- Le réchauffement climatique

Les changements climatiques constituent l'argumentaire principal à la substitution des sources d'énergie fortement émettrices de CO₂ comme le pétrole et le charbon par des sources moins émettrices comme le gaz naturel et les sources renouvelables⁸. L'utilisation des sources fossiles compte en effet pour 85% au bilan des émissions mondiales de CO₂ anthropogénique⁹. La diminution de leur usage par des économies d'énergie et par le transfert vers des sources contribuant moins aux changements climatiques s'avère alors tout indiquée.

Nous verrons dans la prochaine section ce qu'il en est réellement de ces affirmations sur la substitution énergétique et des résultats qui ont été obtenus selon les conditions d'application.

⁸ Working Group III, Fourth assessment report, chapter 4, IPCC (GIEC), 2007.

⁹ id.

Que peut-on retirer des données historiques quant à la substitution énergétique?

À partir des données historiques de la consommation d'énergie, il est possible d'observer les substitutions énergétiques effectives qui ont eu lieu au cours de l'histoire. Pour chaque cas de substitution, il est possible de restituer le contexte de l'époque et déterminer ce qui a permis cette substitution. Il serait possible d'analyser chaque pays, continent ou tout autre entité géopolitique pour lequel les données sont disponibles. Pour les besoins de ce rapport, et compte tenu des ressources dont nous disposons, nous limiterons notre analyse à quatre entités géopolitiques ou géographiques soient les États-Unis, le monde, l'Allemagne et le Québec. Le choix se base principalement sur la disponibilité et la fiabilité des données historiques, mais aussi sur l'intérêt que représentent ces entités au regard de la substitution.

Les données que nous avons utilisées n'incluent pas l'énergie musculaire des animaux de trait ou du travail des êtres humains. À une certaine époque, l'énergie métabolique des êtres vivants, comme les animaux de traits ou celle des êtres humains, était très importante dans le bilan énergétique total des pays industrialisés, ce qui n'est plus le cas aujourd'hui.¹⁰ Les pays sous-développés, et dans une moindre mesure les pays émergents, peuvent avoir une forte contribution de cette forme d'énergie même encore aujourd'hui, mais elle est très difficile à quantifier¹¹.

Les États-Unis d'Amérique

Depuis les débuts de la colonisation, les États-Unis ont évalué leur consommation d'énergie, ont conservé ces statistiques et les ont rendues publiques et facilement accessibles. Ils sont les premiers consommateurs mondiaux d'énergie et ont figuré longtemps, au cours des deux précédents siècles, comme les premiers producteurs mondiaux de pétrole, de gaz et de charbon¹². Ils sont aussi, durant les années 1960 et 1970, les leaders des technologies de productions alternatives de sources d'énergie telles que le photovoltaïque et l'éolien. Ce pays est donc un joueur incontournable lorsqu'il est question d'énergie.

Les données ont été acquises auprès de l'United States Energy Information Administration (EIA)¹³. Les séries de données débutent en 1635 pour se terminer en 2005. Nous avons mis ces données sous forme graphique et nous en ressortons quelques observations quant à la substitution énergétique effective.

¹⁰ Voir Cutler Cleveland, Energy transitions past and future, The Oil Drum, 8 août 2007.

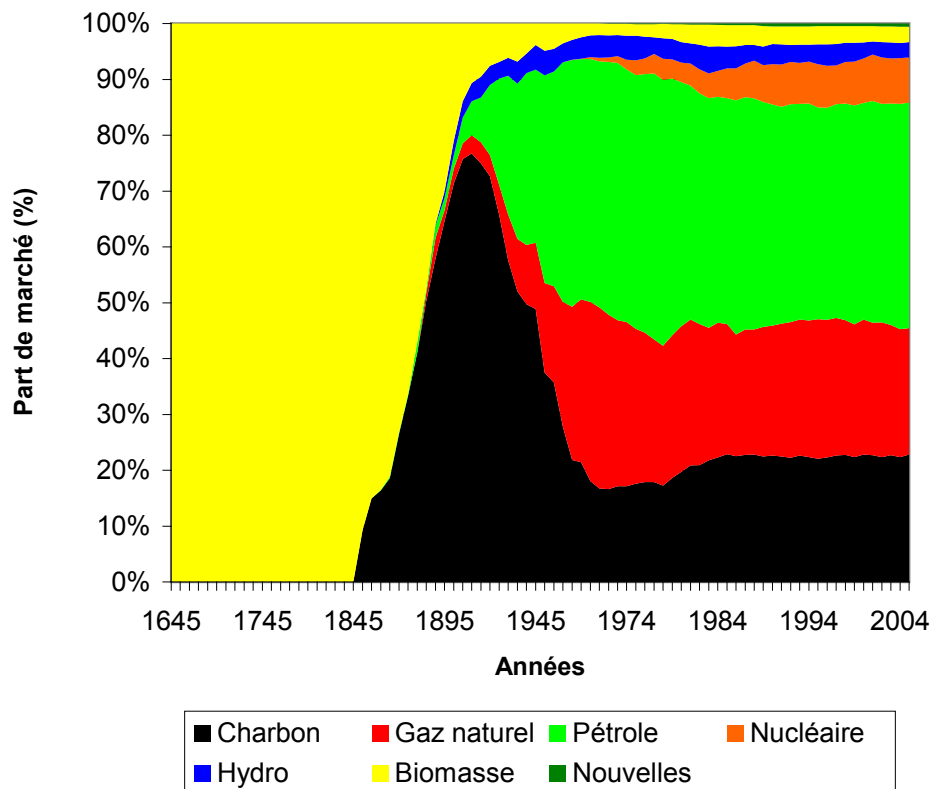
¹¹ Id.

Douglas Clark and Caroline Stein, Monitoring and analysis of wood energy developments: data quality and availability, inter-organisation cooperation, joint FAO/UNECE working party on forest economics and statistics, 2005.

¹² United States Energy Information Administration, Energy in the United States : 1635-2000.

¹³ Energy Information Administration, Annual Energy Review 2005.

Figure 6: Part de marché par filière (États-Unis)



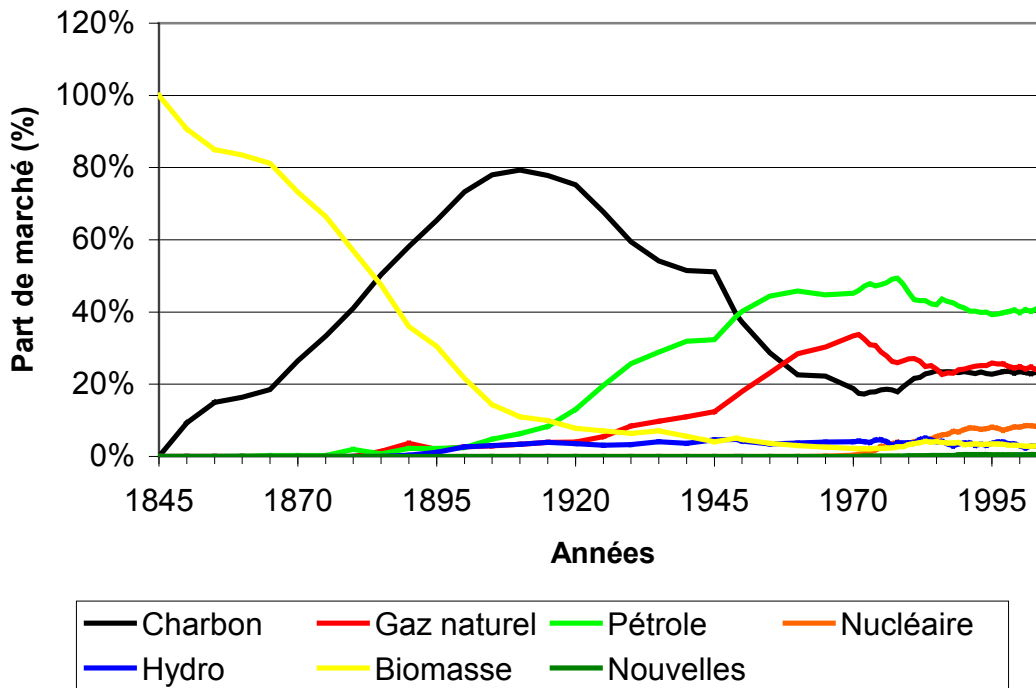
Sur la figure 6, les données de consommation d'énergie ont été cumulées et ramenées à une valeur unitaire (100%). Ainsi il est possible de voir la place qu'occupait chaque source d'énergie dans le bilan de la consommation totale. Toutefois, comme on l'a vu dans une section précédente, la consommation réelle est indiscernable.

Ce qui frappe le plus sur ce graphique, c'est l'espace que prenait le bois comme source d'énergie jusqu'au milieu du 19^{ème} siècle. À cette époque aux États-Unis, celui-ci a été déclassé par le charbon. L'une des raisons principales est que le bois était consommé en si grande quantité (pour la sidérurgie, le transport, le chauffage...) que la production de ce dernier a commencé à péricliter pour cause de surexploitation¹⁴. Le charbon est donc devenu le substitut le plus indiqué pour l'industrialisation des États-Unis, ceux-ci ayant d'ailleurs les plus grandes réserves mondiales de charbon¹⁵.

¹⁴ United States Energy Information Administration , Energy in the United States : 1635-2000 Total Energy

¹⁵ Coal : Research and development to support national energy policy, June 2007, National Academy of Sciences.

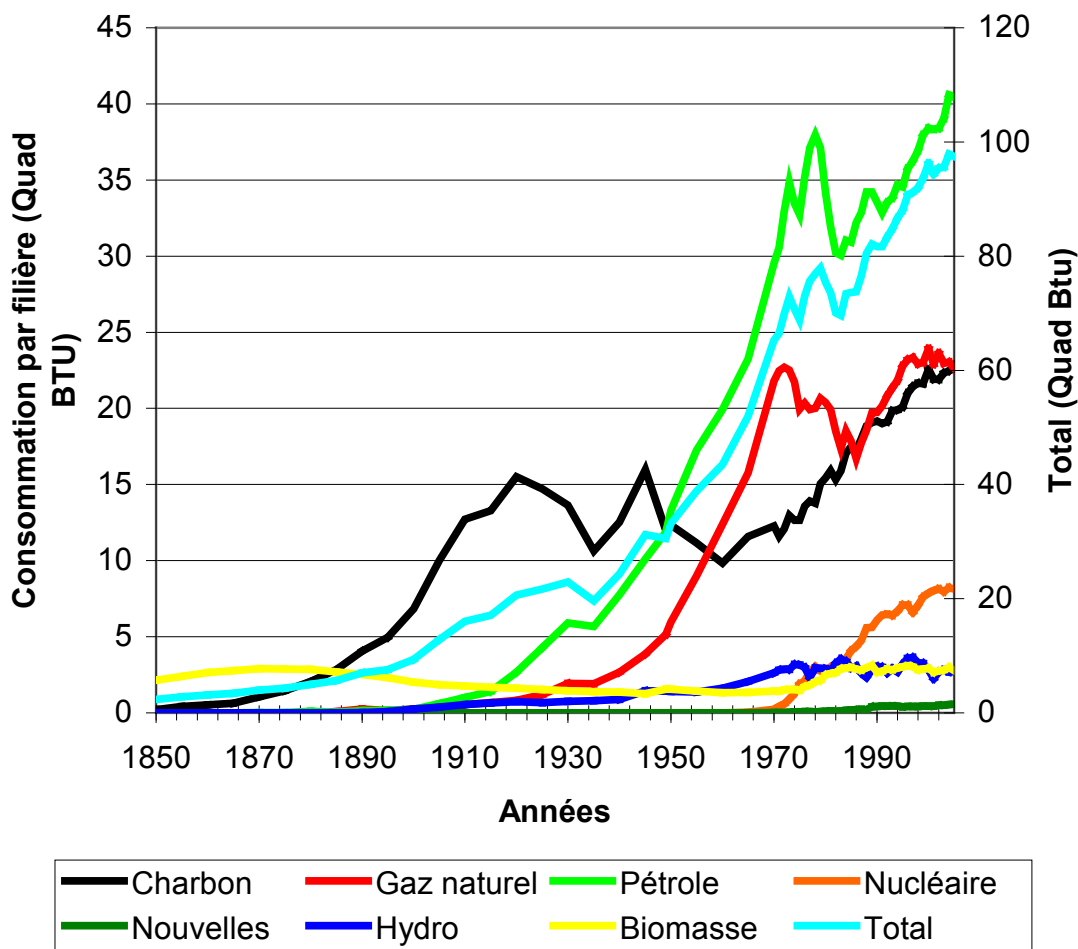
Figure 7: Part de marché par filière (États-Unis)



La figure 7 permet de comparer la consommation de chaque filière l'une par rapport à l'autre. C'est avec cet outil qu'il est possible de voir les substitutions relatives des filières. Il est clair que la substitution relative du bois par le charbon a été suivie par la substitution de ce dernier par d'autres sources : le pétrole d'abord, le gaz ensuite. Après les chocs pétroliers, le charbon a repris des parts de marché au pétrole et au gaz naturel. L'hydroélectricité, apparue vers la fin du 19^{ième} siècle, la biomasse ainsi que les sources nouvelles (éolien, solaire, géothermie...) n'occupent que très peu d'espace dans le bilan au début du troisième millénaire. Seules ces dernières sont renouvelables et ont la possibilité de remplacer les sources non-renouvelables pour l'instant. Théoriquement, le potentiel de celles-ci serait suffisant pour fournir l'énergie nécessaire mais d'autres contraintes comme l'intermittence, les coûts, la disponibilité de matériaux en quantités suffisantes, pour ne citer que celles-là, portent à croire qu'il sera difficile pour les États-Unis de substituer réellement les sources actuelles par des sources alternatives.¹⁶

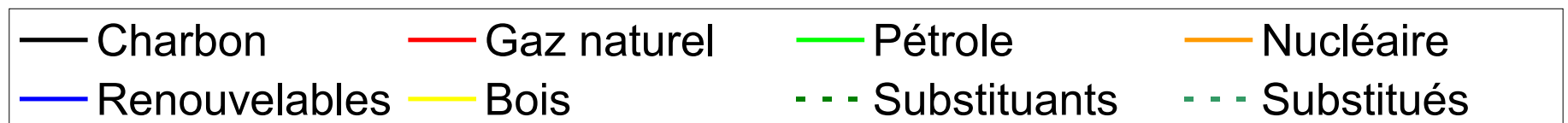
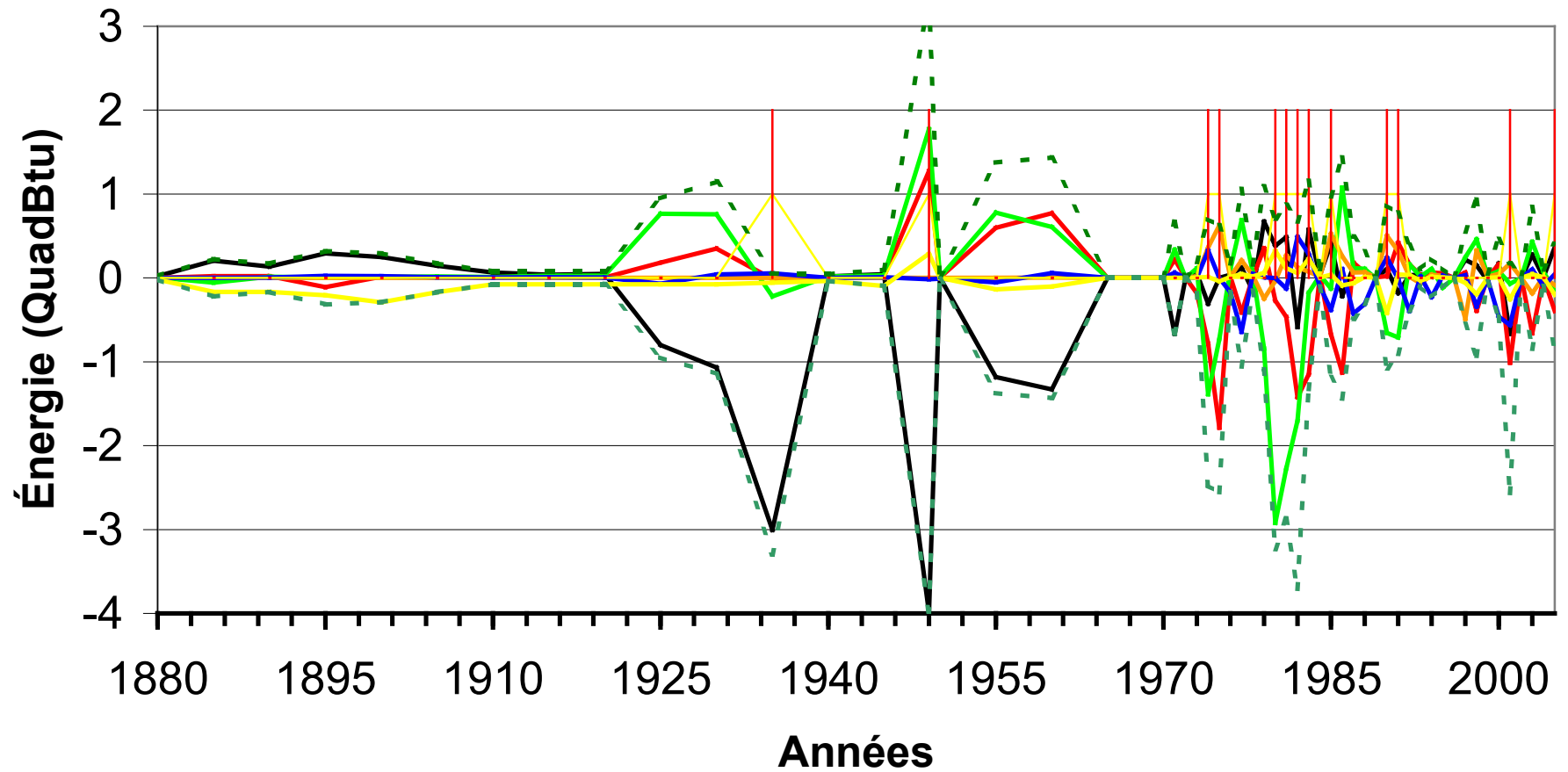
¹⁶ Ted Trainer, *Renewable Energy Cannot Sustain a Consumer Society*, Springer 2007

Figure 8: Consommation d'énergie par filière (États-Unis)



La figure 8 est constituée simplement de courbes de consommation d'énergie en fonction du temps. Il faut lui adjoindre un graphique de substitution effective (figure 9), pour observer les moments où il y a eu substitution réelle et en mesurer l'ampleur. Lorsque les courbes descendent dans la partie négative, les filières qui leur sont associées se font remplacer par les filières dont les courbes sont dans la partie positive au même moment. Lorsque qu'il n'est pas possible de substituer entièrement les sources dans la partie négative, c'est qu'il y a diminution de la consommation totale, donc économie d'énergie effective. Cela est représenté par les barres verticales rouges. Les courbes pointillées représentent la somme de l'ensemble des résultats positifs (substituants) ou la somme des résultats négatifs (substitués) et indiquent l'ampleur de la substitution.

**Figure 9: Substitution par filière 1880-2005
(États-Unis)**



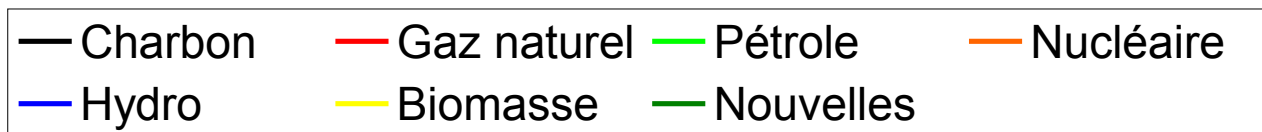
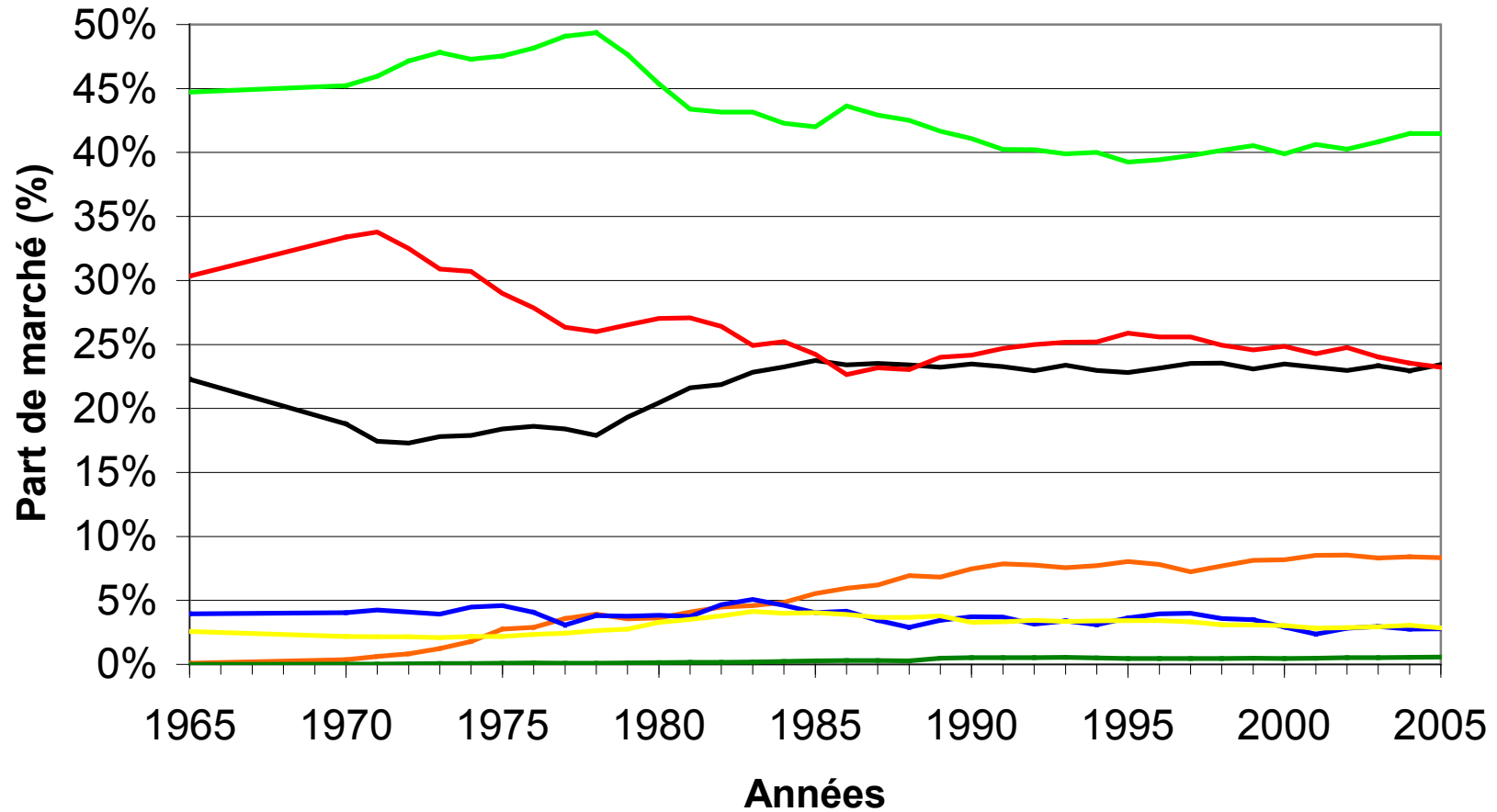
Les figures 14 et 15 permettent d'observer une substitution effective aux États-Unis à partir 1875. Le remplacement du bois, en déclin à cause de sa surexploitation, par le charbon au début et par le pétrole et le gaz naturel par la suite se maintient jusqu'au milieu des années 1970, soit sur une période de près de 100 ans. Suite aux deux chocs pétroliers, la biomasse reprendra sa production d'avant la substitution. Celle-ci est effectivement possible aujourd'hui, sans surexploitation, grâce à de nouvelles superficies dans l'ouest qui n'avaient pas été utilisées à l'époque, étant donné les coûts de transport importants; les industries consommatrices de biomasse étant situées principalement sur la côte est. À partir des années 1970, l'augmentation de l'utilisation de la biomasse n'a occasionné de substitution que pour une quinzaine d'années durant la période des chocs pétroliers.

La grande dépression des années 1930 a engendré un recul de la consommation totale d'énergie. La croissance de celle-ci a toutefois repris pour répondre aux besoins engendrés par la 2^{ème} guerre mondiale et s'est maintenue par la suite jusqu'aux chocs pétroliers des années 1970.

Une substitution du charbon a eu lieu pendant environ 30 ans, de la fin de la seconde guerre mondiale jusqu'à l'amorce du premier choc pétrolier. Il a alors été remplacé par le pétrole et le gaz naturel. Une réorganisation de la production industrielle autour de ces sources à plus grande densité énergétique et meilleure facilité d'utilisation est à la base de cette substitution. La hausse des prix du pétrole et l'augmentation de la consommation d'électricité ont contribué au retour du charbon lequel se prêtait aisément à la production d'électricité. Le charbon n'a pas connu de nouvelle substitution par la suite sauf pendant la courte période des chocs pétroliers.

Le pétrole et le gaz naturel ont été substitués principalement par le charbon durant la période des chocs pétroliers. Le nucléaire et la biomasse ont aussi participé à cette substitution, mais dans une moindre mesure que le charbon. La production d'hydroélectricité quant à elle, est restée relativement stable alors que les nouvelles sources d'énergie (solaire, éolien, géothermie...) ont été et sont encore à ce jour très marginales.

**Figure 10: Part de marché par filière
1965-2005 (États-Unis)**



**Figure 11: Consommation d'énergie par filière
1965-2005 (États-Unis)**

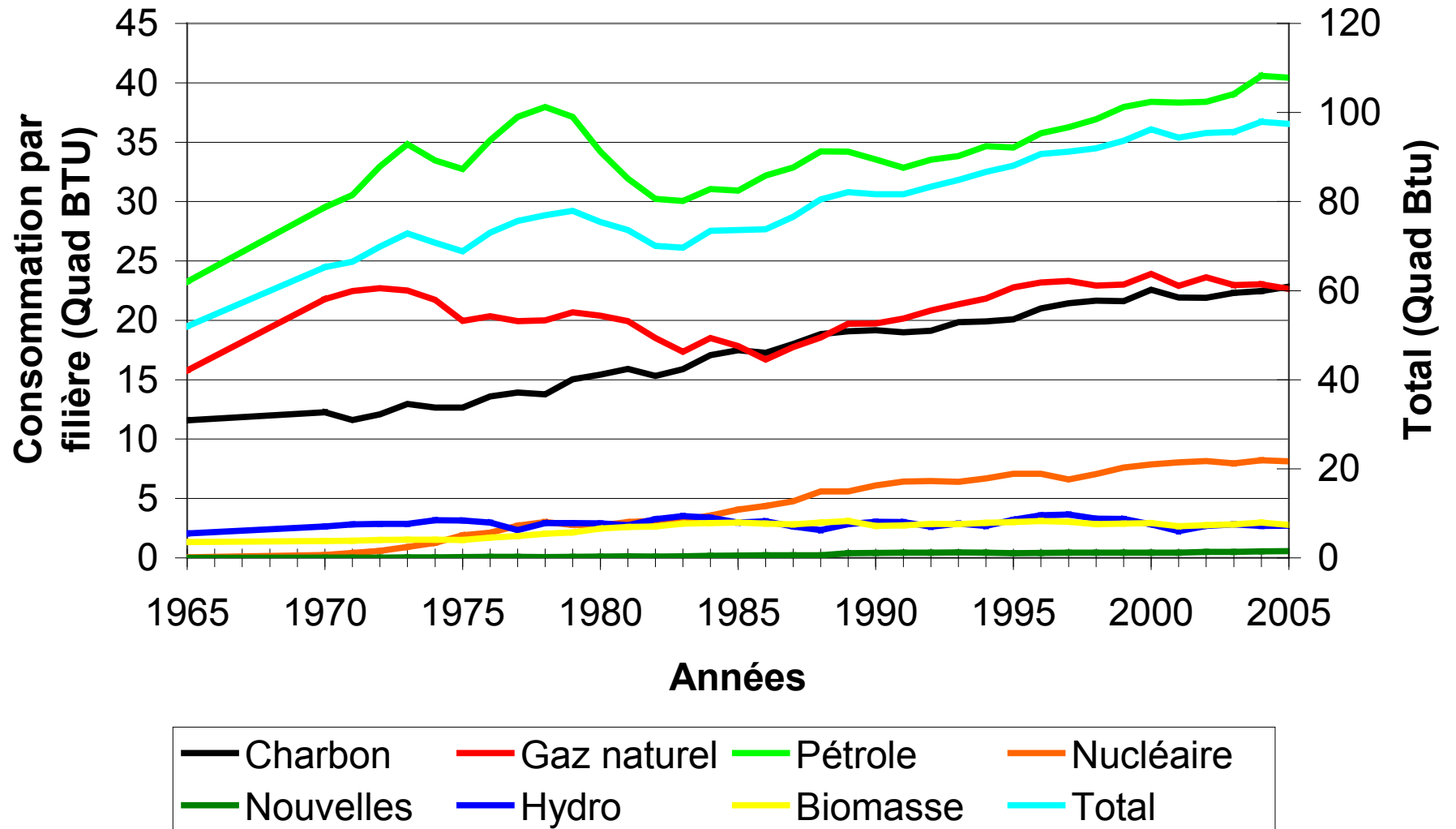
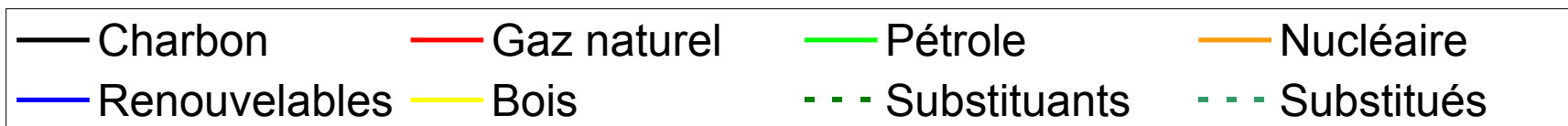
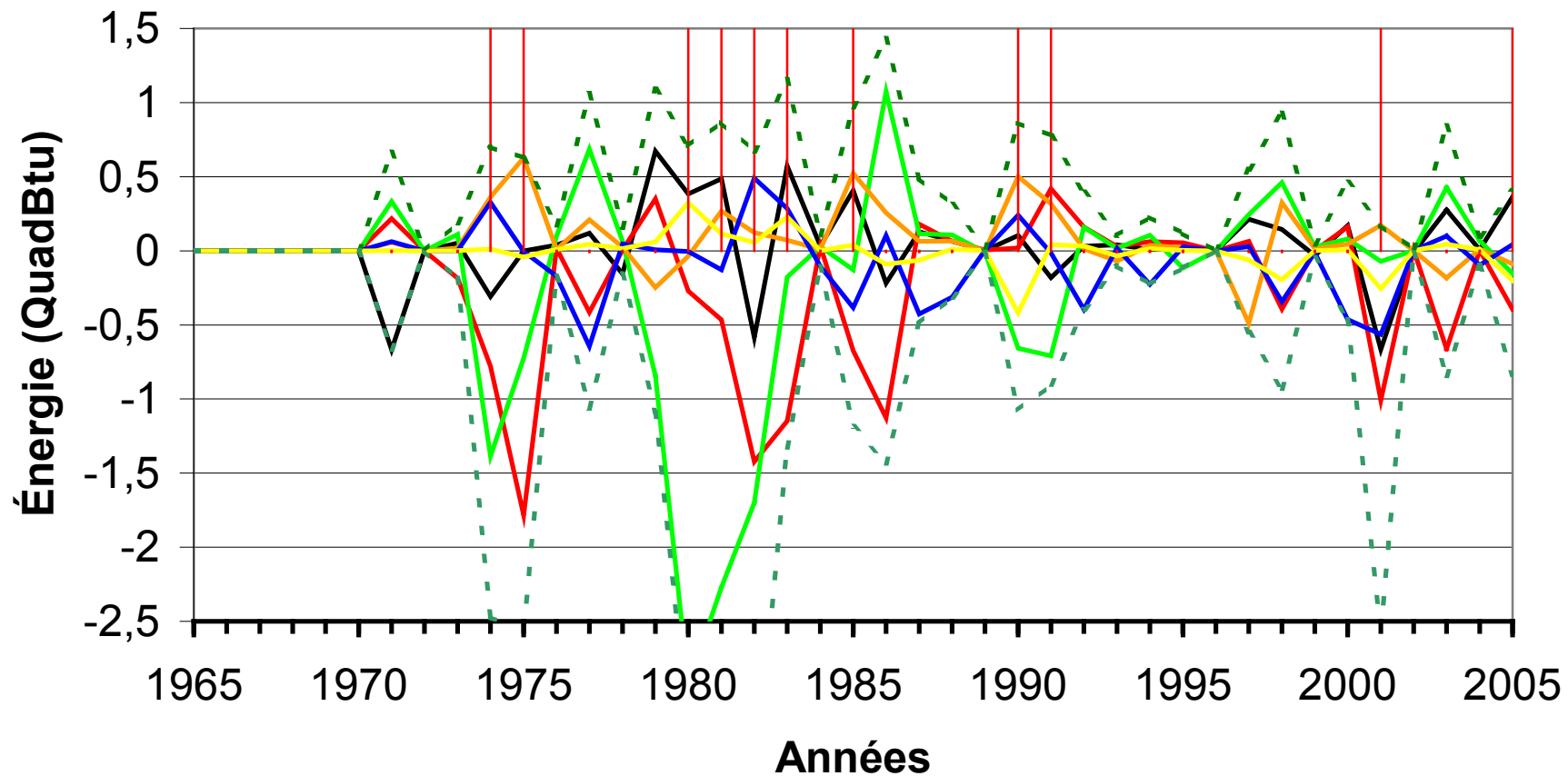


Figure 12: Substitution par filière 1965-2005 (États-Unis)



Sur les trois graphiques précédents (figure 10, 11 et 12), nous avons changé la plage de temps pour débiter les observations en 1965, une période de temps plus représentative de notre mode de vie «moderne».

La consommation totale d'énergie est en constante augmentation, mais depuis 2000 le taux d'augmentation a légèrement diminué. La baisse de la production des sources renouvelables d'énergie a été compensée par la production d'électricité d'origine nucléaire depuis 1997. La production à partir de biomasse est stable de 1965 à 2005. Le gaz naturel semble subir une substitution aux États-Unis depuis 2000. La compensation se fait par une augmentation de la consommation de pétrole et de charbon dans une moindre mesure. L'atteinte du pic gazier à l'échelle de l'Amérique du nord en 2001 ainsi que la hausse des prix du gaz peuvent probablement expliquer cette substitution¹⁷. L'importation de gaz naturel liquéfié provenant d'ailleurs dans le monde ne compensera pas la perte occasionnée par le déclin du gaz à l'échelle du continent américain.¹⁸ Il est fort probable que cette substitution du gaz naturel par d'autres sources devienne permanente¹⁹.

À partir de la figure 12, on peut observer onze substitutions effectives dont nous avons résumé les composantes sur le tableau 3 qui suit. Sur ce dernier, nous avons inscrit l'année de la substitution, les sources substituées, les sources substituantes, la diminution de la consommation d'énergie totale s'il y a lieu, l'ampleur de la substitution totale, la durée de la substitution pour chaque filière substituée et des informations mettant en perspectives les conditions de la substitution.

¹⁷ J. David Hughes, *Natural Gas in North America: Should We be Worried?*, Geological Survey of Canada, World Oil Conference, ASPO – USA, Boston, Massachusetts, October 26, 2006

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

¹⁸ Id.

¹⁹ Id.

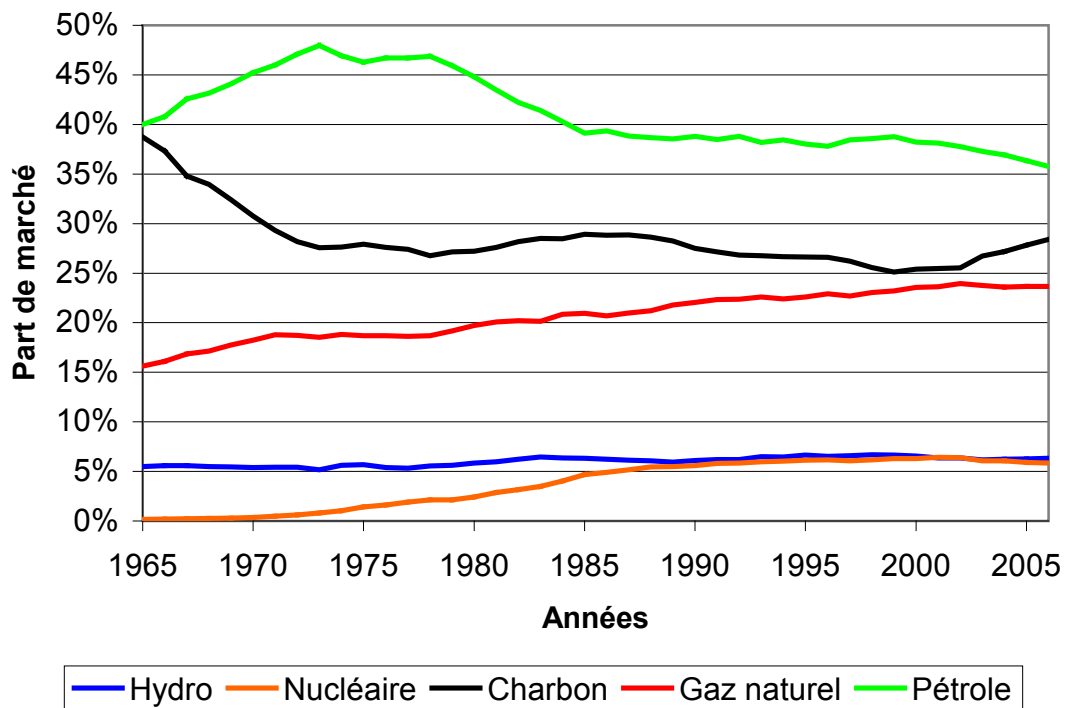
Tableau 3

	Années	Substituées	Substituants	*Économie d'énergie	Ampleur	Durée (années)	Notes
1	1971	Charbon	Pétrole/gaz naturel/renouvelables	Non	Faible	1	
2	1974-75	Gaz Pétrole Charbon	Nucléaire/renouvelables*	Oui	Forte	3 17 1	1 ^{er} choc pétrolier (pénurie temporaire)
3	1977	Renouvelables Gaz	Pétrole/nucléaire/charbon	Non	Moyenne	1 2	
4	1979-83	Pétrole Gaz	Charbon/renouvelables/bois/nucléaire*	Oui	Très forte	22 11	2 ^{ème} choc pétrolier (pénurie temporaire)
5	1986	Gaz Renouvelables	Pétrole/nucléaire/charbon*	Oui	Moyenne	3 4	
6	1990-91	Pétrole Bois Charbon	Nucléaire/gaz*	Oui	Moyenne	5 5 1	1 ^{ère} guerre d'Irak
7	1994	Renouvelables	Pétrole/gaz/nucléaire	Non	Faible	2	
8	1998	Gaz Renouvelables Bois	Pétrole/charbon	Non	Moyenne	2 en cours 2	
9	2001	Gaz Charbon Renouvelables Bois Pétrole	Nucléaire*	Oui	Forte	1 3 en cours 4 1	
10	2003	Gaz Nucléaire	Pétrole/charbon/renouvelables	Non	Moyenne	En cours 1	Pic gazier américain (pénurie temporaire ou permanente)
11	2005	Gaz Bois Pétrole Nucléaire	Charbon*	Oui	Moyenne	-----	

Le monde

Les données mondiales proviennent de British Petroleum (BP)²⁰ et s'étendent sur une plage de 1965 à 2006. Pour la très grande majorité des pays et des nations, les sources d'énergie actuelles sont principalement d'origines non-renouvelables (pétrole, gaz naturel, charbon et uranium). Elles constituent d'ailleurs près de 95% du bilan de la consommation mondiale (excluant le bois encore beaucoup utilisé dans les pays sous-développés)²¹. Elles sont majoritairement transigées sur le marché et les prix sont fixés par ce dernier. Il est donc important d'observer ce qui se passe au niveau mondial pour prévoir l'avenir de ces sources d'énergie.

Figure 13: Part de marché par filière (monde)



Sur la figure 13, on observe que depuis les chocs pétroliers, le pétrole cède des parts de marché (substitution relative) en faveur principalement du gaz et du nucléaire et depuis peu, du charbon. Le charbon avait quant à lui cédé des parts de marché importantes avant les chocs pétroliers. En analysant uniquement les parts de marché, il semble que nous soyons relativement moins dépendants du pétrole qu'auparavant. Mais le sommes-nous réellement?

²⁰ BP Statistical Review of World Energy June 2007, www.bp.com/statisticalreview

²¹ Agence Internationale de l'Énergie (AIE), World Energy Outlook 2006, novembre 2006.

Figure 14: Consommation d'énergie par filière (monde)

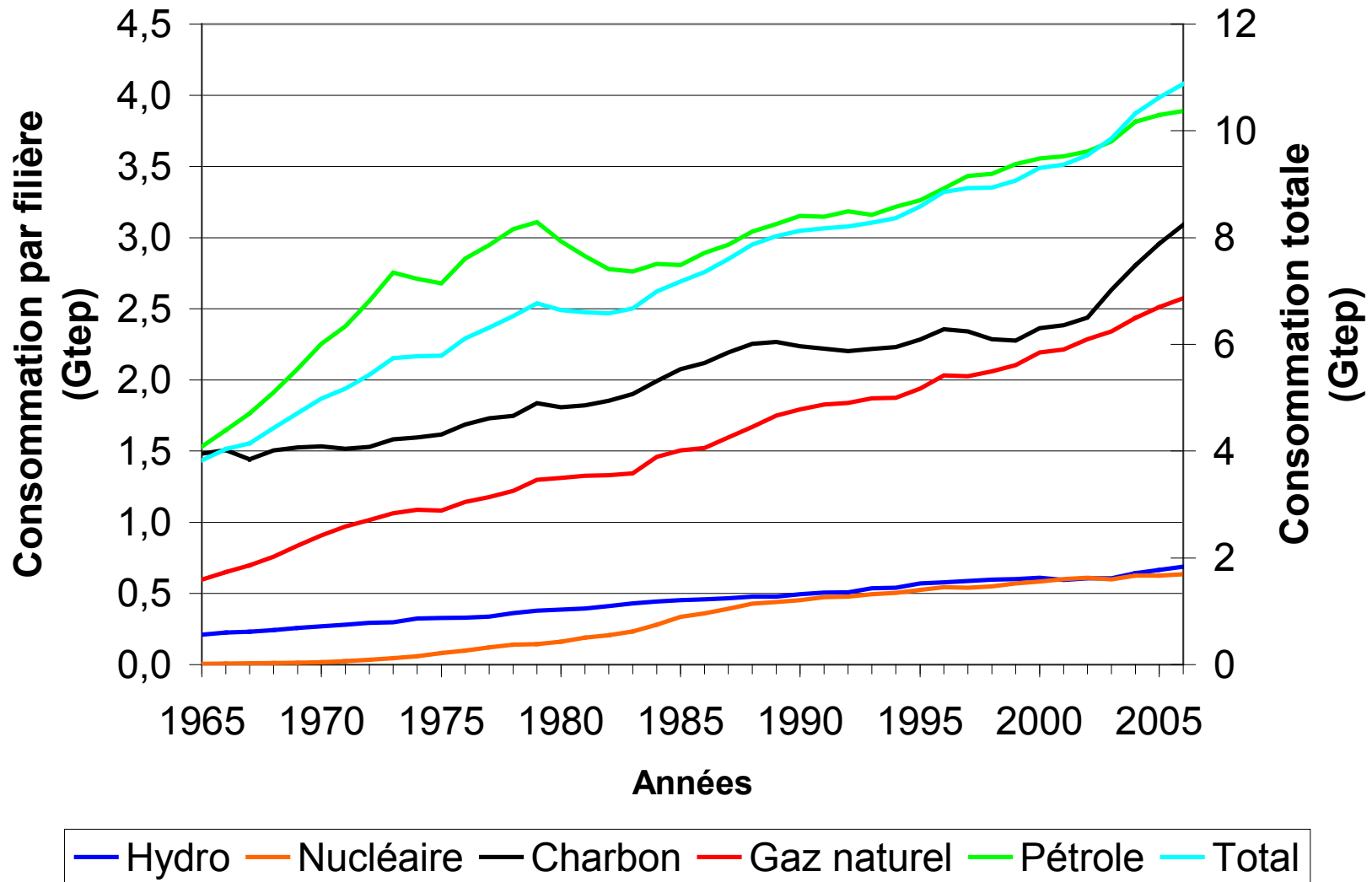
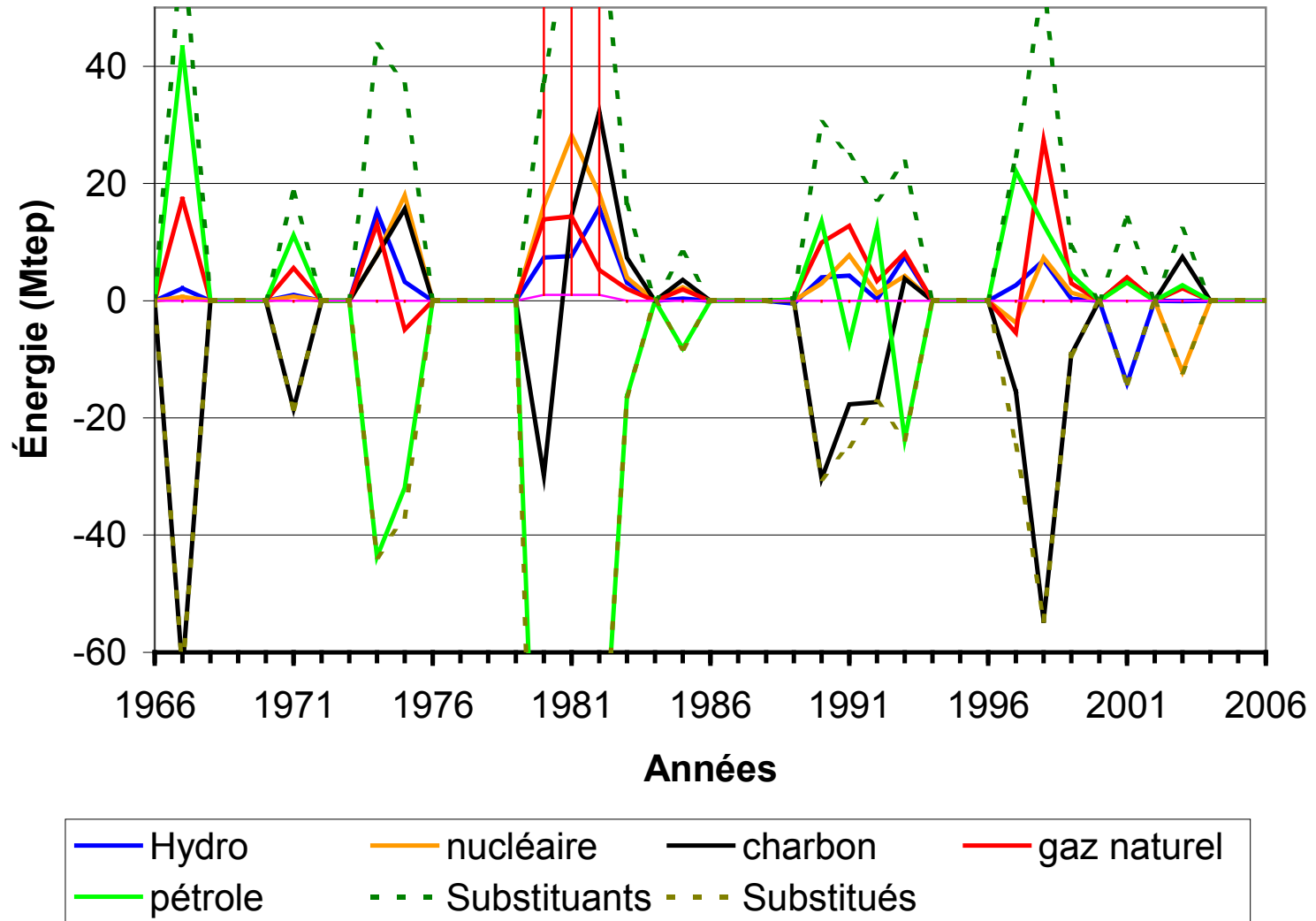


Figure 15: Substitution par filière Monde



Les figures 14 et 15 permettent d'observer que le pétrole a subi une faible substitution temporaire (environ 10 ans) après le second choc pétrolier (1979), cela au profit de l'ensemble des filières, une substitution d'ailleurs plus faible qu'aux États-Unis. Après cette période, la consommation de toutes les sources, incluant le pétrole, est en progression très forte. À partir de 2002, il y a hausse significative du taux de croissance de la consommation d'énergie, dont la plus remarquable est celle du charbon. La forte industrialisation de la Chine et de l'Inde explique probablement cette augmentation du taux de la hausse de consommation²². Il est à noter que la Chine possède de très grandes réserves de charbon²³.

Si l'on exclut la substitution temporaire du pétrole, il n'y a aucune substitution effective d'énergie à long terme. Malgré l'augmentation de la production de sources d'énergie plus propres au niveau des gaz à effet de serre (GES) comme le gaz naturel, le nucléaire ou les sources renouvelables, il n'y a, à l'échelle mondiale, aucun déplacement de l'utilisation des sources plus polluantes. Toutes les sources s'ajoutent et contribuent à la croissance peu importe leur provenance. L'accroissement de l'utilisation de sources «propres» d'énergie (éolien, solaire, gaz naturel...)²⁴ ne contribue donc pas à la diminution de gaz à effet de serre comme on le suppose à priori, du moins au niveau mondial. Elle semble plutôt donner à l'économie mondiale une possibilité de croissance que ne lui permettrait pas la seule utilisation des sources fossiles d'énergie.

Le tableau 4 résume l'ensemble des neuf substitutions effectives qui se sont produites dans le monde entre 1965 et 2006.

²² Selon les données du BP Statistical Review of World Energy, depuis 2002 la Chine a accru sa consommation de charbon de 75% et l'Inde de 38% tandis que le monde a accru de 30%.

²³ Agence Internationale de l'Énergie (AIE), World Energy Outlook 2006, novembre 2006.

²⁴ BP Statistical Review of World Energy 2007 : Renewables

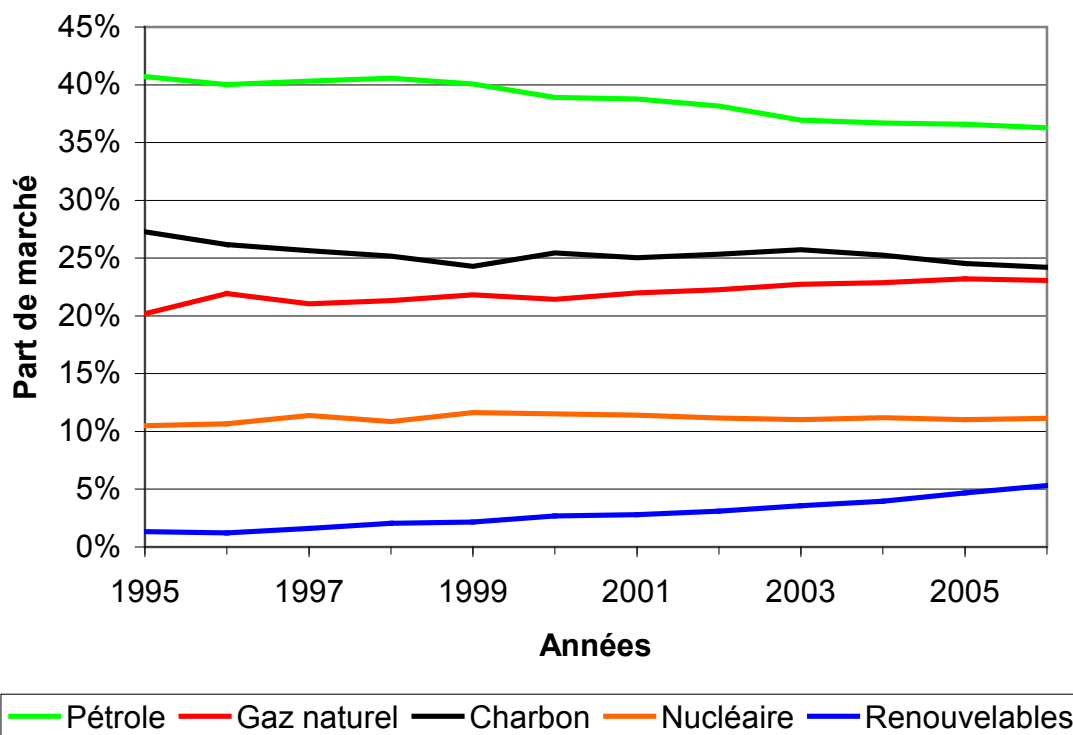
Tableau 4

	Années	Substituées	Substituants	*Économie d'énergie	Ampleur	Durée (années)	Notes
1	1967	Charbon	Pétrole Gaz naturel Hydro	Non	Fort	2	
2	1971	Charbon	Pétrole Gaz naturel	Non	Faible	1	
3	1974	Pétrole	Nucléaire Charbon Hydro Gaz naturel	Non	Fort	2	Premier choc pétrolier
4	1980-82	Pétrole	Charbon Nucléaire Gaz naturel Hydro	Oui	Très fort	10	Second choc pétrolier
5	1985	Pétrole	Charbon Gaz naturel	Non	Faible	1	
6	1990-93	Charbon	Gaz naturel Nucléaire Hydro	Non	Moyenne	6	
7	1998	Charbon	Gaz naturel Pétrole Hydro Nucléaire	Non	Fort	3	
8	2001	Hydro	Gaz naturel Pétrole	Non	Faible	3	
9	2003	Nucléaire	Charbon Pétrole Gaz naturel	Non	Faible	1	

L'Allemagne

L'Allemagne a été choisie comme exemple inverse des politiques énergétiques de libre marché, comme aux États-Unis ou dans le monde, par exemple. L'Allemagne a été le successeur des États-Unis comme leader de l'alternative énergétique à partir des années 1980 jusqu'à aujourd'hui²⁵. En 2006, ce pays était dépendant à environ 95% de sources non-renouvelables d'énergie, ce qui explique l'intérêt des allemands à se doter de sources renouvelables d'énergie. Les données proviennent du Federal Statistical Office Germany²⁶ ainsi que de BP²⁷.

Figure 16 Part de marché par filière (Allemagne)



Sur la figure 16, on peut observer que les parts de marché des sources les plus polluantes, comme le pétrole et le charbon, sont en régression. La part de marché du nucléaire est stable alors que celles du gaz naturel et des renouvelables sont en progression. On sait aussi que le bilan CO2 est en diminution en Allemagne, conformément au protocole de Kyoto. Mais comment cela se traduit-il réellement?

²⁵ Deutsche Welle, Report: German Companies World-Leaders in Renewable Energy, 2007.

²⁶ Federal Statistical Office Germany, Share of renewable energy sources in primary energy consumption, 2007.

²⁷ BP Statistical Review of World Energy June 2007, www.bp.com/statisticalreview

Figure 17 Consommation d'énergie par filière (Allemagne)

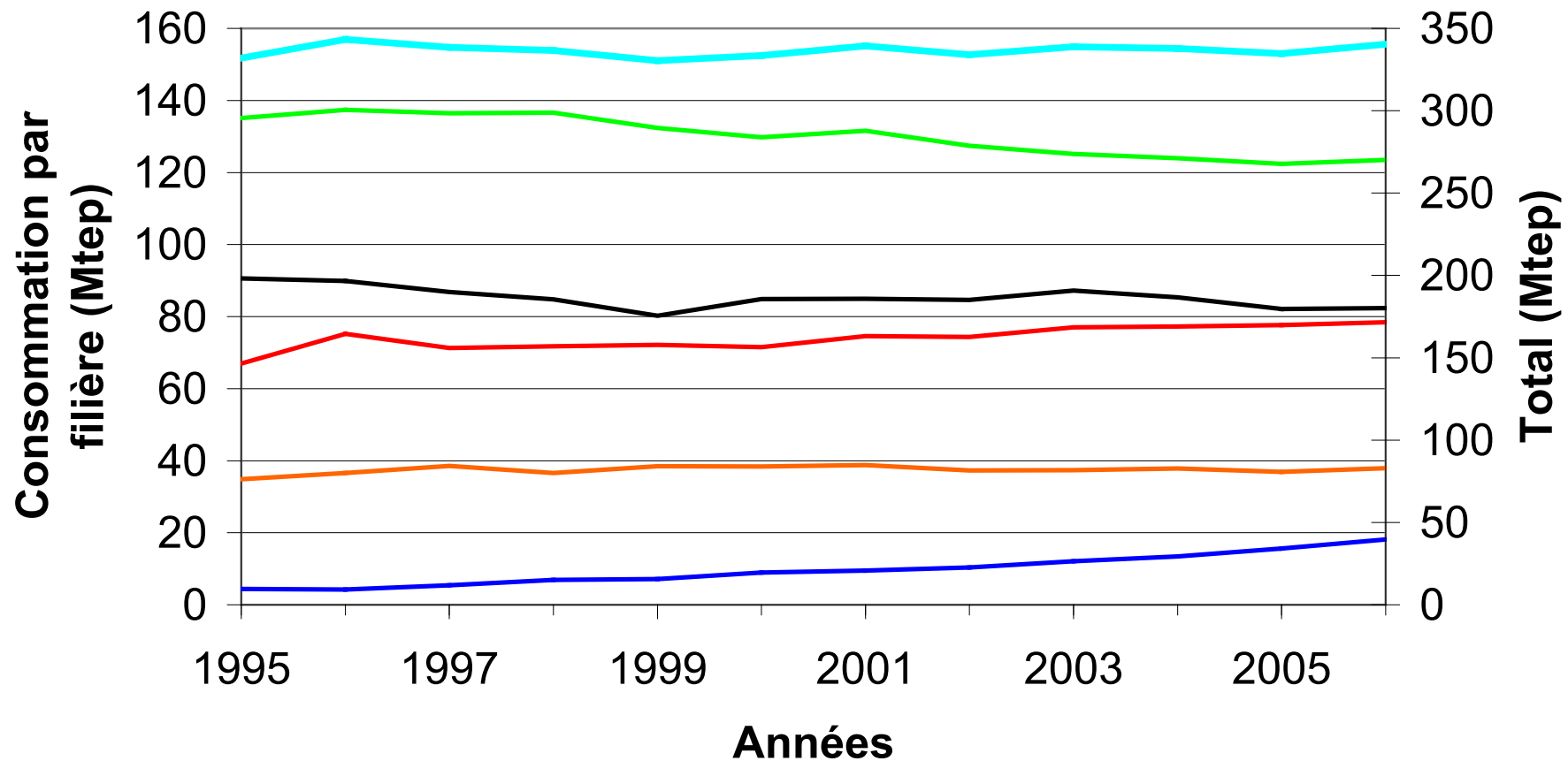
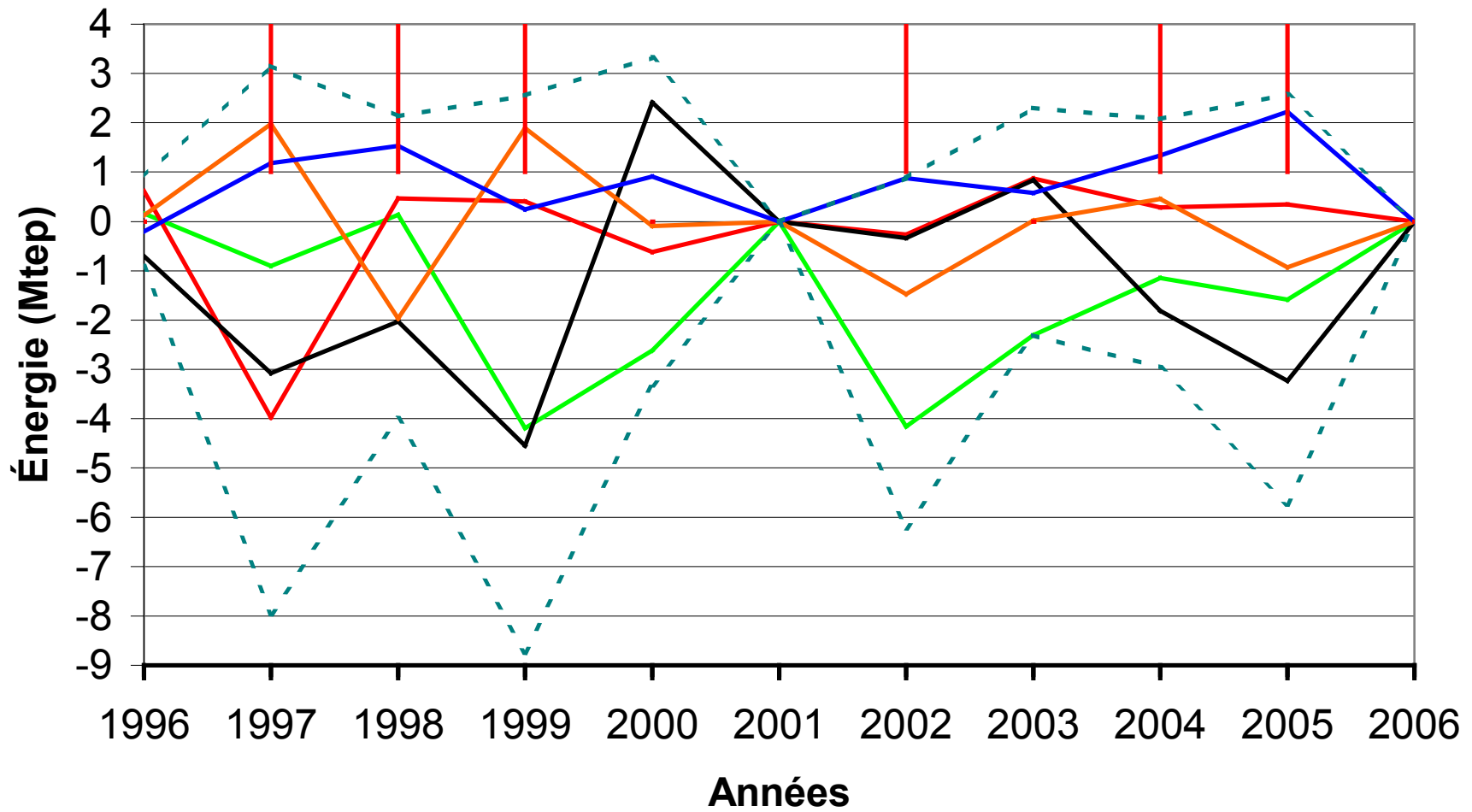


Figure 18 Substitution par filière (Allemagne)



Le cas de l'Allemagne est très intéressant au point de vue de la substitution. C'est l'un des rares pays à maintenir une croissance économique, quoique faible par rapport aux autres pays européens²⁸, tout en ayant stabilisé sa consommation totale d'énergie et ayant réussi à réellement substituer des sources plus propres d'énergie à celles plus polluantes au niveau des GES. Mais avec actuellement 83,6% de sources fossiles d'énergie, 88,2% en 1995, les efforts de l'Allemagne dans le sens de la substitution et de l'efficacité énergétiques devront être plus importants, surtout considérant le déclin futur de la production de ces sources fossiles²⁹.

La consommation totale d'énergie de l'Allemagne est stable. En dix ans, la décroissance réelle de la consommation a été de 11% pour le pétrole et de 9% pour le charbon. Toujours en dix ans, la hausse de consommation a été de 17% pour le gaz naturel et de 300% pour les sources renouvelables. En 2000, le gouvernement de Gerhard Schröder a pris la décision d'éliminer progressivement le nucléaire, et la première centrale a été fermée en novembre 2003³⁰. Le remplacement du nucléaire conjugué avec les problèmes européens d'approvisionnement en gaz naturel, forceront les allemands à redoubler d'effort pour développer les sources renouvelables d'énergie.

Cette réussite de la substitution, du moins jusqu'à maintenant, s'explique en grande partie par une législation (*Subventions, R&D*³¹, *Feed-in tariff system*³²...) permettant l'innovation technologique dans les équipements de production d'énergie renouvelable. Les coûts supplémentaires engendrés sont répartis sur l'ensemble des consommateurs. Cette législation a permis la production d'une énergie moins émettrice de GES dans le sens du respect du protocole de Kyoto. Elle a aussi favorisé le développement d'une expertise technologique qui est aujourd'hui exportée à travers le monde³³. Au plan économique, la balance commerciale allemande profite de la diminution des importations d'énergie étrangère et de l'augmentation de l'exportation de technologie et d'équipements de production d'énergie renouvelable³⁴.

²⁸ Croissance PIB réel (1998-2007) Allemagne : 1,3%; France : 2,2 %; Royaume-Uni : 2,7% (Eurostat)

²⁹ 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, Uranium resources and nuclear energy, December 2006 EWG-Series No 1/2006

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

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

Dr. Albert Bartlett: Arithmetic, Population and Energy <http://globalpublicmedia.com/node/461>

³⁰ AFP, German nuclear energy phase-out begins with first plant closure, novembre 2003.

³¹ Joint Global Change Research Institute, Renewable Energy Policy in Germany: An Overview and Assessment, 2005.

³² Dr. Mario Ragwitz, Dr. Claus Huber , Feed-In Systems in Germany and Spain and a comparison, Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, 2005.

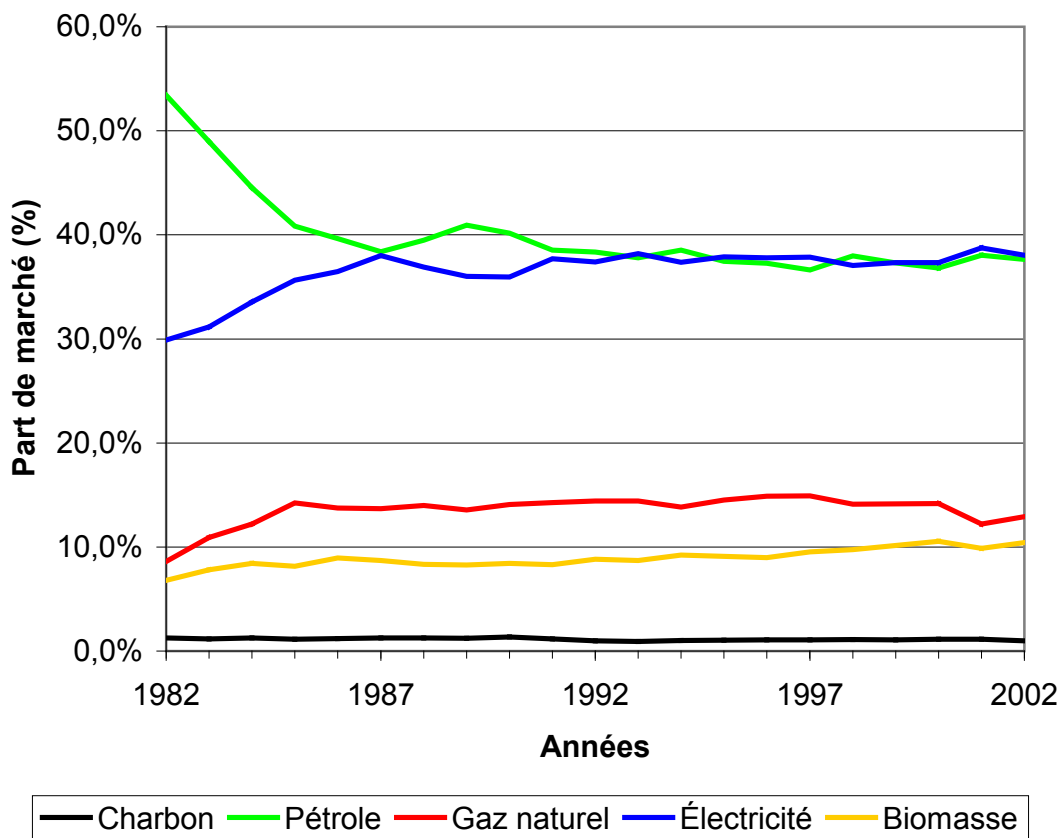
³³ Deutsche Welle, Report: German Companies World-Leaders in Renewable Energy, 2007.

³⁴ Id.

Le Québec

Le Québec a été le théâtre d'une substitution énergétique très intéressante durant les années 1980. Les données étudiées proviennent du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec³⁵.

Figure 19 Part de marché des filières (Québec)



Avant les deux chocs pétroliers des années 1970, le mazout constituait une source importante de chauffage pour les ménages québécois. L'apparition du gaz naturel dans le paysage québécois et les grands projets hydroélectriques de la Baie-James ont permis, durant les mêmes années, de dégager un surplus de production énergétique qui a été mis à contribution pour la substitution du pétrole. Une réduction de la consommation de pétrole d'environ 30% a été observée. Un encadrement législatif, ainsi que des tarifs d'hydroélectricité, parmi les plus bas sur la planète, auront effectivement permis de

³⁵Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, L'énergie au Québec 2004.

www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/energie/energie/energie-au-quebec-2004.pdf

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Évolution de la demande d'énergie au Québec, Scénario de référence, horizon 2016.

www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/energie/energie-prevision.jsp

réduire considérablement l'utilisation de pétrole³⁶. Sans trop en être conscient, le Québec était à l'avant-garde de la lutte contre le réchauffement climatique bien avant la propagation publique du concept lui-même. À l'époque, l'argument était économique et non pas environnemental.

La réalité de la consommation d'énergie québécoise ne colle pas au discours dit environnemental souvent entendu au Québec.³⁷ En effet, depuis 1991, la courbe de la consommation d'électricité (à plus de 95% d'origine hydraulique) et celle du pétrole se suivent. Le charbon demeure peu présent dans le bilan énergétique québécois. La biomasse, provenant des résidus forestiers principalement, croît constamment. La consommation de gaz naturel, en légère augmentation depuis 1985, diminue à partir de 2000 probablement pour les mêmes raisons invoquées aux États-Unis (hausse des prix et déclin de la production nord-américaine).

La durée de la substitution du pétrole par l'hydroélectricité et le gaz naturel n'aura été que d'environ 25 ans. Elle aura cessé d'être observée principalement à cause de la hausse constante de la demande d'énergie dans le secteur des transports³⁸. Bien que nous soyons mieux positionnés que la majorité des pays industrialisés, nous sommes encore à dépendant à 52% de sources fossiles d'énergie.

Tableau 5

	Années	Substituées	Substituants	*Économie d'énergie	Ampleur	Durée (années)	Notes
1	-1986	Pétrole	Hydro/gaz naturel	Non	Fort	22**	Second choc pétrolier
2	1987	Pétrole Biomasse	Hydro	Non	Faible	1 1	
3	1991	Pétrole Biomasse	Aucun	Oui	Fort	9 2	1 ^{ère} guerre d'Irak
4	1995	Pétrole Biomasse	Gaz naturel/hydro	Oui	Faible	4 1	
5	1998	Hydro Gaz naturel	Pétrole/biomasse	Oui	Moyenne	2 3	
6	2001	Gaz naturel Biomasse	Hydro/pétrole	Oui	Fort	3** 1	

** Selon la projection de la hausse de consommation et les données débutants en 1982. Les données du ministère des Ressources naturelles après 2003 ne sont pas encore disponibles.

³⁶ Hydro-Québec, Rapport sur le développement durable 2002.

³⁷ Cardinal, François, Le mythe du Québec vert, Les Éditions Voix Parallèles, 2007.

³⁸ Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, L'énergie au Québec 2004.

Figure 20 Consommation d'énergie totale et par filière (Québec)

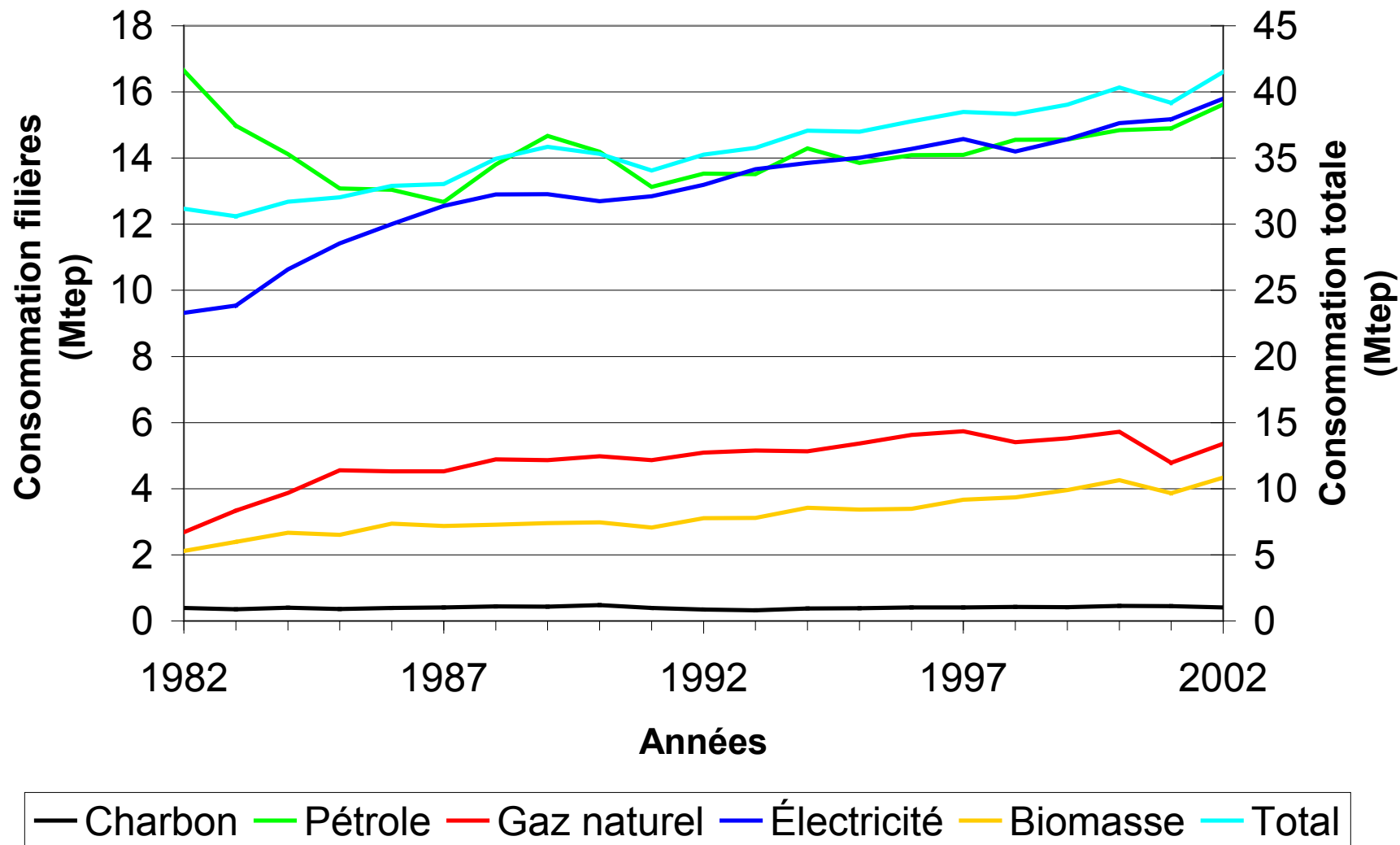
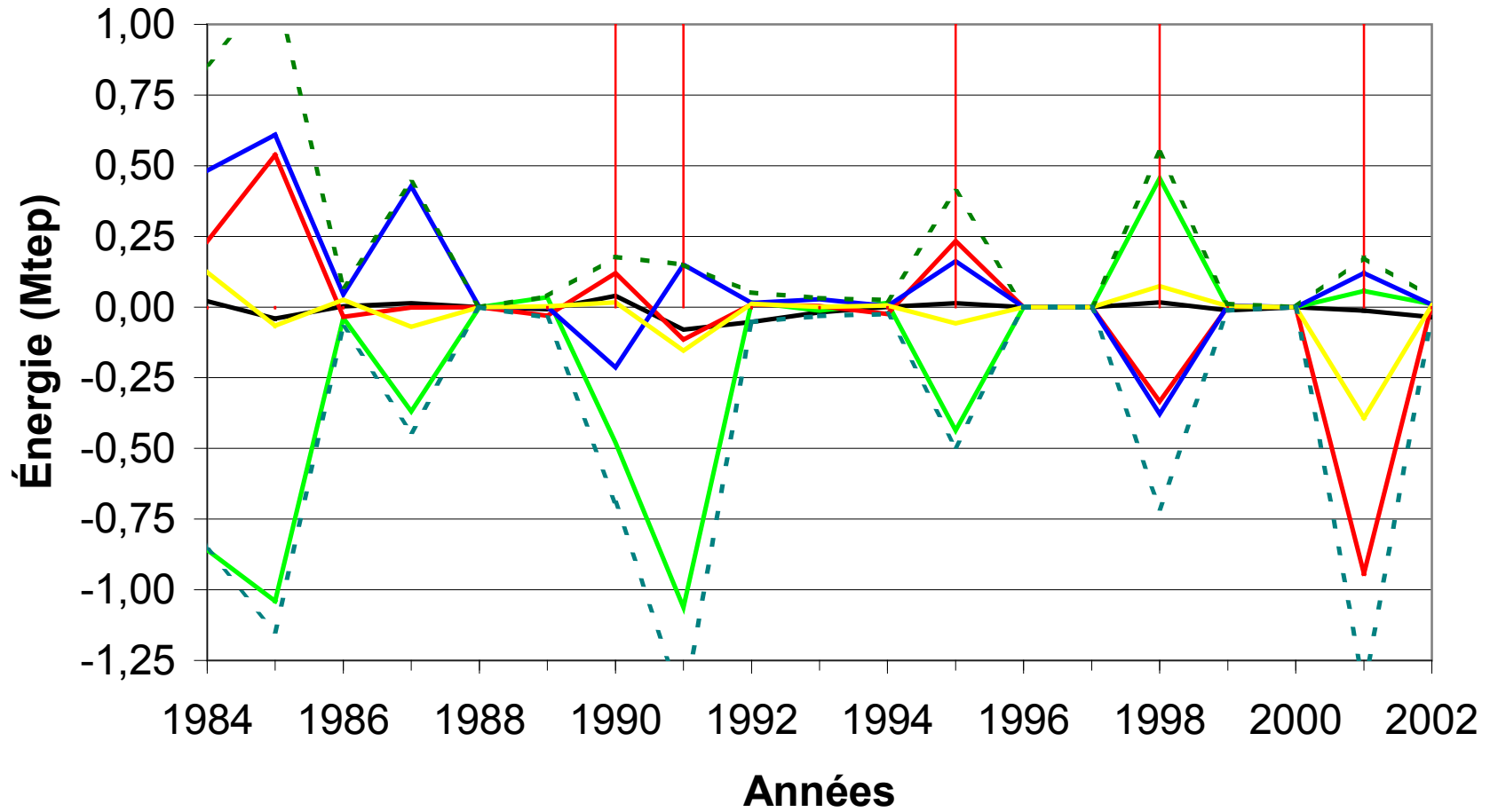


Figure 21 Substitution par filière Québec



Résultats

À partir des quatre zones géopolitiques étudiées, nous avons observé que les causes des substitutions effectives dont les impacts sont à court et à moyen terme (moins de 10 ans) sont difficiles à identifier parce qu'elles ne sont habituellement pas structurelles (changements profonds des infrastructures énergétiques, par exemple). Les prix, la spéculation, la demande à court terme (pour renflouer les réserves stratégiques, par exemple) ou les variations saisonnières du climat peuvent expliquer ces substitutions temporaires. Les substitutions à court terme peuvent notamment être attribuables à des fluctuations statistiques, donc donner simplement l'apparence de substitution.

La substitution effective, que ce soit pour la sécurité des approvisionnements ou pour la question du réchauffement climatique, n'est intéressante que dans la mesure où elle persiste sur une longue période (plus de 10 ans), car toute infrastructure énergétique requière une planification à long terme pour assurer sa rentabilité³⁹.

Dans le tableau 6, sont inscrites les substitutions effectives des entités géopolitiques que nous avons analysé et dont les durées de substitution sont égales ou supérieures à 10 ans.

Tableau 6 : Récapitulatif des substitutions effectives à long terme

Lieux	Années	Substitués	Durées (années)	Causes probables
États-Unis	1880-1910	Bois	~100	Pénurie de bois
États-Unis	1974-75	Pétrole	17	Premier choc pétrolier (pénurie artificielle)
États-Unis	1979-83	Pétrole Gaz naturel	22 11	Second choc pétrolier (pénurie artificielle)
Monde	1980-82	Pétrole	10	Second choc pétrolier (pénurie artificielle)
Allemagne	-2006	Pétrole Charbon	+11 +11	Politique d'encouragement au remplacement des sources polluantes.
Québec	-2004	Pétrole	+22	Second choc pétrolier, arrivée du gaz naturel et politique de transfert du chauffage vers l'hydroélectricité

L'analyse des données historiques nécessiterait une recherche extensive sur un plus grand nombre de pays ainsi que sur les causes des substitutions effectives observées. Les ressources dont nous disposons nous empêchent d'aller plus loin dans notre analyse. Toutefois, il est déjà possible de faire ressortir les grandes lignes des conditions favorisant la substitution réelle de sources d'énergie.

³⁹ Hirsch, R.L., Bezdek, R., Wendling, R. Peaking of World Oil Production: Impacts, Mitigation & Risk Management. DOE NETL. February 2005.

Quelles sont les conditions pour réussir une substitution ?

Pour permettre la lutte aux changements climatiques et faire face à la réduction de la production de pétrole dans un proche avenir et des autres sources non-renouvelables dans un avenir un peu plus lointain, la substitution effective de ces sources par des sources renouvelables ou des économies réelles d'énergie devront inévitablement se faire.

Nous avons observé que le marché à lui seul ne peut réaliser une réelle substitution énergétique durable. Historiquement, les seules raisons qui ont entraîné une substitution effective d'une durée importante sont de deux ordres : soit lors d'un problème d'approvisionnement (guerre, récession ou pénurie de la source substituée), soit lorsque des dispositions législatives sont prises à cet effet (taxes ou subventions par exemple).

Pour réussir une substitution réelle à long terme, nous devons nous imposer la planification de cette substitution à tous les paliers décisionnels (municipal, régional, provincial...) sinon un problème d'approvisionnement nous l'imposera un jour. Donc, la condition préalable et nécessaire est la réalisation et l'implantation d'une **politique énergétique cohérente et intégrée** dont les caractéristiques sont les suivantes:

- 1- Elle s'adresse à la fois à la production **ET** à la consommation.
- 2- Elle comporte des objectifs de substitution clairs, précis et mesurables.
- 3- Elle comprend un cadre législatif approprié (*feed-in tariff system, subventions, R&D...*).
- 4- Elle fait l'objet d'un suivi du processus.
- 5- Elle comprend des améliorations continues du cadre législatif.
- 6- Elle prend en considération la «rentabilité à long terme» pour les promoteurs privés ou publics de sources de remplacement.

Conclusion

Nous avons pu observer que :

- Les prétentions concernant la diminution véritable des émissions de CO₂ des promoteurs de sources d'énergie émettant moins de gaz à effet de serre ne concordent pas avec la réalité. Dans le contexte actuel du libre marché, la production de ces sources nouvelles s'additionne à la production existante et ne la remplace pas.
- Laisser faire le marché n'amène d'aucune façon une substitution réelle à moyen et long terme, le marché étant trop gourmand de toute forme d'énergie quelle qu'elle soit.
- La croissance de l'économie mondiale commande une croissance extrêmement rapide de la consommation mondiale d'énergie surtout depuis le début du millénaire.
- Toutes les sources non-renouvelables d'énergie sont exploitées aux maximum de leur capacité.

La planification énergétique à long terme, une condition essentielle

Une planification énergétique à long terme est nécessaire pour réaliser une substitution énergétique effective comme on le voit actuellement en Allemagne et comme au Québec dans les années 1980.

Cette planification devra comporter les conditions suivantes :

- 1- Elle s'adresse à la fois à la production **ET** à la consommation.
- 2- Elle comporte des objectifs de substitution clairs, précis et mesurables.
- 3- Elle comprend un cadre législatif approprié (*feed-in tariff system, subventions, R&D...*).
- 4- Elle fait l'objet d'un suivi du processus.
- 5- Elle comprend des améliorations continues du cadre législatif.
- 6- Elle prend en considération la «rentabilité à long terme» pour les promoteurs privés ou publics de sources de remplacement.

Quelle est la pertinence de cette planification?

Si on réduit la consommation nationale d'énergie d'origine fossile par la substitution et par des économies d'énergie réelles, cela aura-t-il des impacts au niveau mondial?

L'énergie ainsi libérée ne sera-t-elle pas de toute façon consommée par d'autres, ailleurs sur la terre, continuant ainsi les émissions de GES?

Quels impacts cela aura-t-il sur notre sécurité énergétique?

Il est fort probable qu'une planification énergétique nationale n'ait aucun impact concret sur les émissions de CO₂ au niveau mondial. La consommation d'énergie au niveau international étant comme un vase communicant; ce que l'un économise, l'autre l'utilise. La question du réchauffement climatique ne peut donc se régler chacun dans son coin. Seule une concertation complète de tous les pays peut résoudre le problème car il ne suffit que de quelques pays qui ne suivent pas, comme c'est d'ailleurs le cas

actuellement, pour que les effets soient à peu près nuls. Toutefois, le problème de l'approvisionnement énergétique s'approchant à grands pas, se tourner vers des sources renouvelables en remplacement de celles qui ne le sont pas pourrait augmenter notre sécurité énergétique et nous mettrait dans une meilleure position pour l'avenir.

Le charbon a mis près de 50 ans pour représenter 50% de la consommation totale d'énergie. Cinquante autres années ont été nécessaires pour que l'ensemble des sources d'énergie principalement utilisées de nos jours viennent en équilibre. Aucune autre nouvelle source d'énergie n'est entrée en force depuis.

Considérant le déclin inexorable des sources non-renouvelables d'énergie d'ici 20 à 30 ans⁴⁰, on peut se poser la question sur le temps que prendra le remplacement de celles-ci par des sources «alternatives», tout en maintenant un approvisionnement énergétique suffisant. Si l'on se fie à nos observations ainsi qu'à celles de Cesare Marchetti⁴¹, il est fort probable qu'une quarantaine d'années seront nécessaires car les sources nouvelles d'énergie (solaire, éolien, géothermie...) n'occupent actuellement qu'une très petite part de marché au niveau mondial⁴². De plus, la fusion nucléaire, source la plus souvent perçue comme remplacement ultime aux sources non-renouvelables, ne sera pas prête avant 50 ans⁴³.

Nous pourrions donc être confrontés à une pénurie d'énergie d'une durée d'au moins 20 ans en laissant le marché à lui-même⁴⁴. **Ceci renforce d'autant l'idée de l'urgence de prendre en main, de façon énergétique, notre planification énergétique.**

⁴⁰ 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, Uranium resources and nuclear energy, December 2006 EWG-Series No 1/2006 Energy Watch Group, Coal: Resources and Future Production (April, 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. Darley, Julian, High noon for natural gas: the new energy crisis, Chelsea Green, 2004. Dr. Albert Bartlett: Arithmetic, Population and Energy <http://globalpublicmedia.com/node/461>

⁴¹ Marchetti, C., Primary Energy Substitution Models: On the Interaction Between Energy and Society, Technological Forecasting and Social Change, 10:345–356, 1977. Marchetti, C., Energy Systems -- The Broader Context, Technological Forecasting and Social Change, 14:191–203, 1979. Marchetti, C., and Nakicenovic, N., The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model part I part II, RR-79-13, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 1979. Luis de Sousa, Marchetti's curves, the Oil Drum, juillet 2007

⁴² Agence Internationale de l'Énergie (AIE), World Energy Outlook 2006, novembre 2006.

⁴³ Nick Rouse, Will Nuclear Fusion Fill the Gap Left by Peak Oil?, janvier 2007.

⁴⁴ Hirsch, R.L., Bezdek, R., Wendling, R. Peaking of World Oil Production: Impacts, Mitigation & Risk Management. DOE NETL. February 2005.

ANNEXE 2

Rapport #2 sur l'énergétique régionale :

L'économie d'énergie dans un libre-marché est-elle illusoire?

L'économie d'énergie dans un libre-marché est-elle illusoire ?



Patrick Déry, B.Sc, M.Sc. (physique)
Analyste/consultant, spécialiste en énergétique,
agriculture et environnement

Conseil régional de l'environnement et du
développement durable (CREDD)

Groupe de recherches écologiques de La Baie (GREB)

Rapport #2
sur l'énergétique régionale

L'économie d'énergie dans un libre-marché est-elle illusoire ?

Réalisé par

Patrick Déry, B.Sc, M.Sc. (physique)
Analyste/consultant, spécialiste en énergétique,
agriculture et environnement

Pour

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

Groupe de recherches écologiques de La Baie (GREB)

Novembre 2007

Partenaires financiers



Sommaire

Sommaire	3
Note.....	3
Remerciements	3
Avertissement.....	3
Présentation des organisations.....	4
Introduction.....	5
Quelques définitions.....	6
Observations à partir des données historiques	7
1- Variations de la population	8
2- Variations du produit intérieur brut (PIB).....	10
3- Variations de la consommation d'énergie.....	12
4- Consommation d'énergie per capita.....	15
5- Consommation d'énergie selon le PIB	18
Résultats.....	21
Conclusion.....	25

Note

Le présent rapport est le second d'une série de cinq sur l'énergétique au Saguenay-Lac-St-Jean. Les trois premiers rapports concernent des concepts importants de l'énergétique que sont la substitution énergétique, l'économie d'énergie et le rendement énergétique. Le quatrième aborde l'énergétique au niveau mondial et québécois. Le dernier rapport met 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 tout 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-St-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 quatre axes d'intervention : recherche, expérimentation, éducation, puis action publique et civique.

Introduction

Depuis les chocs pétroliers des années 1970, de nombreux efforts ont été consentis à rendre la production industrielle de plus en plus efficace énergétiquement. Ces efforts ont permis à cette dernière d'être moins sensible aux variations des prix de l'énergie.

Les promoteurs de l'efficacité énergétique, tout comme ceux de l'écoefficacité, nous promettent des économies d'énergie par l'utilisation de techniques ou de technologies plus efficaces ou par des modifications de certaines de nos habitudes de consommation. L'implantation de ces méthodes coûterait moins cher que l'installation de nouveaux équipements de production d'énergie et éviterait ainsi une augmentation de la pollution dont l'émission de gaz à effet de serre (GES).

Effectivement, une diminution de la consommation directe d'énergie peut être mesurée par l'utilisateur de l'approche d'efficacité énergétique, que certains appellent d'ailleurs producteur de négawatts¹. De plus, dans les faits, les coûts d'implantation de ces méthodes sont de loin moins coûteuses financièrement que l'addition de nouvelles unités de production énergétique, donc une apparence de diminution de l'émission de GES. Ces méthodes ont souvent des retours sur l'investissement financier de moins de trois ans parfois moins d'un an.² Ces méthodes semblent donc avoir toutes les vertus à première vue.

Il est vrai qu'elles possèdent de nombreux avantages incomparables, toutefois, elles ont leurs propres limites et peuvent même générer ce que l'on pourrait appeler des dommages collatéraux lorsqu'elles sont utilisées sans encadrement. Par exemple, l'utilisation d'une ampoule fluocompacte diminue l'utilisation directe d'énergie par rapport à une ampoule à incandescence. Mais en y regardant de plus près, l'ampoule fluocompacte nécessite plus de matériaux, d'électronique (très polluant et énergivore) et de mercure (toxique) que l'ampoule à incandescence. Elles sont fabriquées pour l'essentiel en Asie alors que les ampoules à incandescence sont souvent fabriquées en Amérique du Nord³. Le bilan énergétique total n'est donc pas si évident à établir. Et pour calculer les émissions de GES, il est nécessaire d'avoir ce bilan total. Rien n'est tout blanc ou tout noir.

Alors, dans ce contexte, l'utilisation des méthodes d'efficacité énergétique depuis les années 1970 a-t-elle généré jusqu'à présent de réelles économies globales d'énergie? Nous verrons, dans ce rapport, ce que nos travaux nous permettent de comprendre sur cette question de l'économie d'énergie et sur les conditions gagnantes pour obtenir des résultats concrets en économie d'énergie.

¹ Amory B. Lovins, The Negawatt Revolution, Conference Board Magazine, September 1990.

² L'efficacité énergétique au quotidien, Agence de l'efficacité énergétique du Québec, novembre 2007
www.aee.gouv.qc.ca

³ Fabien Deglise, Pas si vertes, les ampoules fluocompactes dites écologiques, Le Devoir, 6 mai 2007.

Quelques définitions

D'abord, voici quelques définitions utiles pour la lecture de ce rapport.

Économie d'énergie : réduction des dépenses d'énergie donc de la consommation d'énergie (non pas seulement d'une filière énergétique mais bien de l'énergie en général).

Efficacité énergétique : amélioration du niveau de performance des processus énergétiques que nous utilisons déjà, donc obtenir les mêmes ou plus de résultats en utilisant moins d'énergie qu'avant.⁴

Intensité énergétique : mesure de l'efficacité énergétique d'une économie. Elle est calculée comme le rapport de la consommation d'énergie et de la production (mesurée par le produit intérieur brut).

Négawatt : concept créé par Amory Lovins du Rocky Mountain Institute, équivalant à celui d'économie d'énergie, mais qui place l'économie comme une augmentation des revenus plutôt qu'une réduction des dépenses. Il représenterait ainsi une substitution énergétique effective (production) dont la source serait des négawatts plutôt qu'une production réelle solaire, éolienne ou hydroélectrique, par exemple. Ce concept permet, au mieux de saisir l'importance de l'économie d'énergie, au pire, il peut engendrer une déformation de la compréhension de la dynamique réelle de l'énergie.

Substitution énergétique effective : remplacement de l'énergie provenant d'une source d'énergie par de l'énergie provenant d'une autre source.

Effet rebond⁵ : terme utilisé pour faire référence à l'accroissement de la demande causée par l'introduction de technologies plus efficaces et/ou environnementales. Cet accroissement de la consommation diminue l'ampleur des effets de l'utilisation de technologies améliorées sur la consommation totale. Historiquement, l'effet rebond a été observé à plusieurs reprises⁶, pas seulement en énergétique, Que l'on pense au problème charbonnier anglais du 19^{ième} siècle⁷, aux normes CAFE américaines⁸, au concept du bureau sans papier⁹ ou l'engorgement des ponts montréalais.

⁴ Jean-Marc Carpentier, L'efficacité énergétique, avis d'expert pour le MRNF, novembre 2004.

⁵ Frank Gottron, Energy Efficiency and the Rebound Effect: Does Increasing Efficiency Decrease Demand?, CRS report for Congress (USA), July 2001.

⁶ Richard York, Department of Sociology, University of Oregon, Ecological Paradoxes: William Stanley Jevons and the Paperless Office, Human Ecology Review, Vol. 13, No. 2, 2006

⁷ William Stanley Jevons, The Coal Question, 1865.

⁸ Board On Energy and Environmental Systems, Effectiveness and Impact of Corporate Average Fuel Economy (CAFE) Standards, The National Academies of Sciences (USA), 2002.

⁹ Sellen, A.J. and R.H.R. Harper. The Myth of the Paperless Office, Cambridge, MA: MIT Press, 2002.

Observations à partir des données historiques

Afin d'observer l'occurrence d'économies d'énergie par le passé, analyser l'influence de l'efficacité énergétique sur celle-ci et déterminer les conditions permettant la réalisation d'économies, nous avons utilisé les données historiques des territoires du premier rapport sur la substitution énergétique¹⁰ (États-Unis, monde, Allemagne et Québec).

Pour ce faire, nous avons utilisé les données de population et de produit intérieur brut (PIB) en plus des données sur l'énergie. Les variations annuelles ont été calculées afin d'observer les moments où il y a eu des économies d'énergie à l'échelle de ces territoires. Cela nous permet aussi de connaître l'influence qu'ont le PIB et la population sur la consommation d'énergie. Dû à certaines contraintes, nous n'avons pas évalué la variation des échanges en biens entre les pays pour tenir compte de l'énergie intrinsèque de ces biens. Cela aurait permis de dégager toute la question de la délocalisation industrielle vers les pays en émergence et la hausse de consommation d'énergie associée. Les données proviennent de la Banque Mondiale, de l'US Census Bureau, du British Petroleum (BP) Statistical Review of World Energy (2007), du ministère des Ressources naturelles et de la faune (MRNF) et de l'Institut de la statistique du Québec.

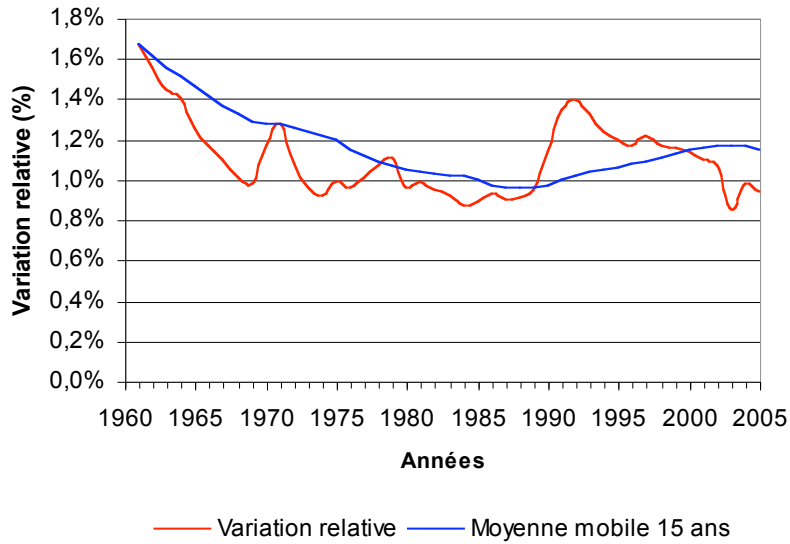
Pour chaque territoire, les données traitées ont été mises sous forme graphique :

- 1- Variations de la population (%)
- 2- Variations du produit intérieur brut (PIB) (%)
- 3- Variations de la consommation d'énergie (%)
- 4- Consommation d'énergie per capita (en tonne d'équivalent pétrole (Tep) par habitant)
- 5- Consommation d'énergie selon le PIB (en Tep par million de dollars de PIB)

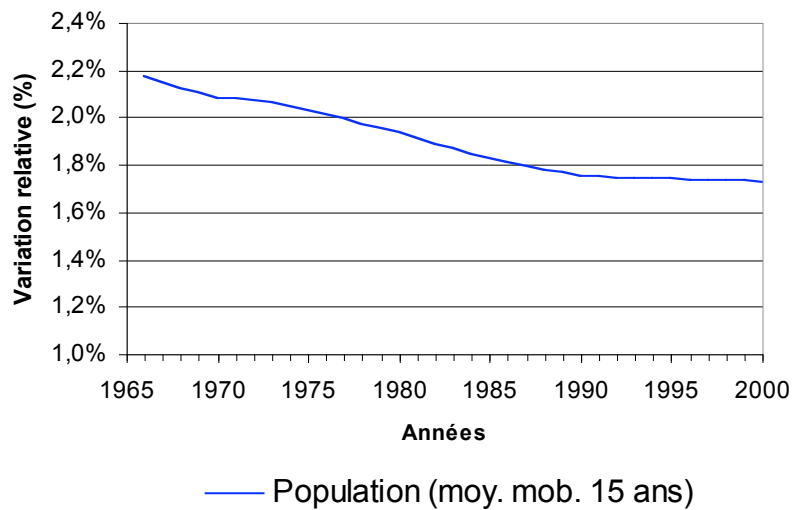
¹⁰ Patrick Déry, Substitution énergétique, mythe ou réalité?, premier volet du rapport sur l'énergétique régionale du Saguenay-Lac-St-Jean, Conseil régional de l'environnement et du développement durable et Groupe de recherches écologiques de La Baie, octobre 2007.

1- Variations de la population

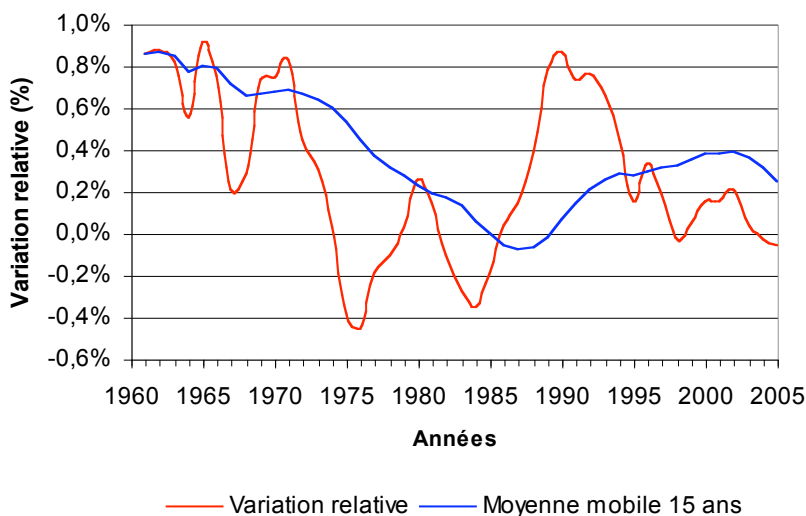
**Figure 1-1 Variation de la population
(États-Unis)**



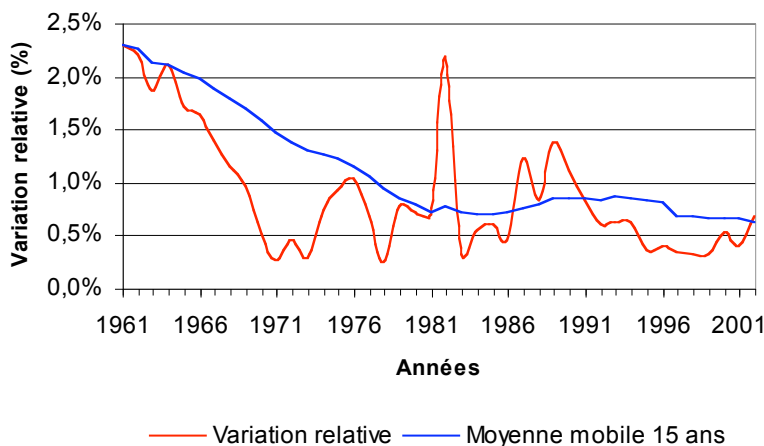
**Figure 1-2 Variation de la population
(Monde)**



**Figure 1-3 Variation de la population
(Allemagne)**



**Figure 1-4 Variation de la population
(Québec)**



Les figures précédentes (1-1 à 1-4) nous montrent la variation de la population dans chacun des territoires étudiés. On peut y observer une diminution du taux de croissance à partir du début de l'échelle de temps étudiée. Les États-Unis ont un taux de croissance moyen d'environ 1,1% depuis les années 1970. Le monde est passé de 2,2 % en 1965 à 1,75% en 1990. Ce taux s'est maintenu à peu près stable depuis. L'Allemagne affiche un taux moyen d'environ 0,2% avec des fluctuations importantes de $\pm 0,6\%$. Ce taux était plus élevé pendant les années 1960. Le taux de croissance de la population au Québec est passé de 2,25% dans les années 1960 pour descendre rapidement vers 0,5% à partir des années 1970.

2- Variations du produit intérieur brut (PIB)

Figure 2-1 Variation du PIB (États-Unis)

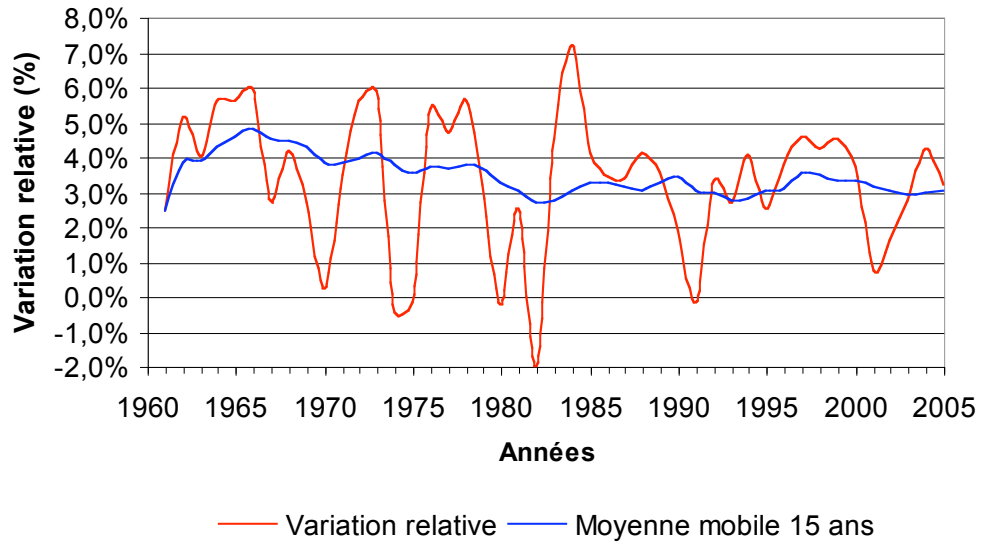
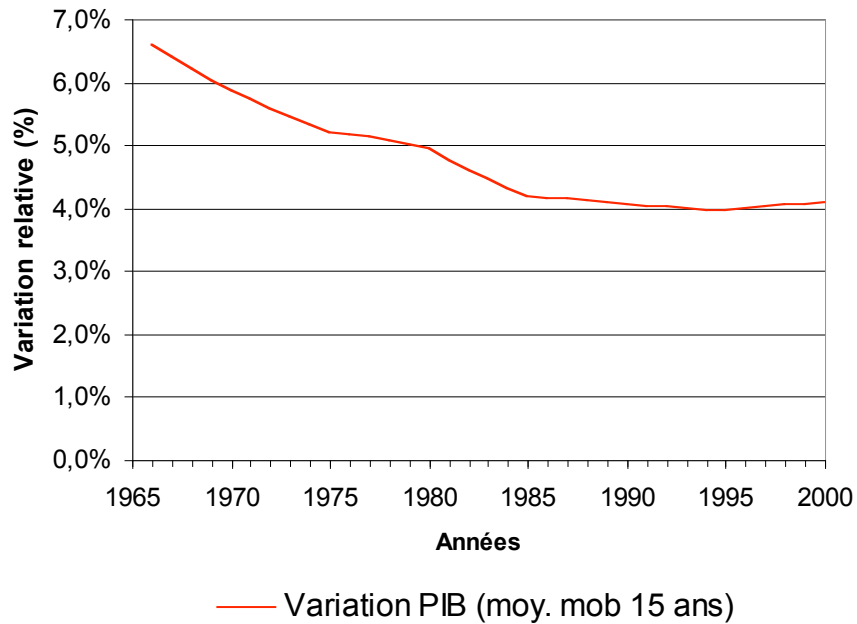
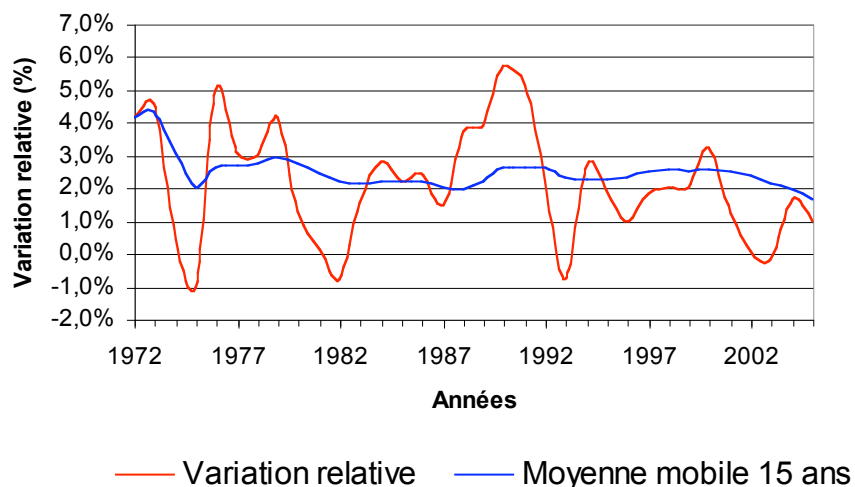


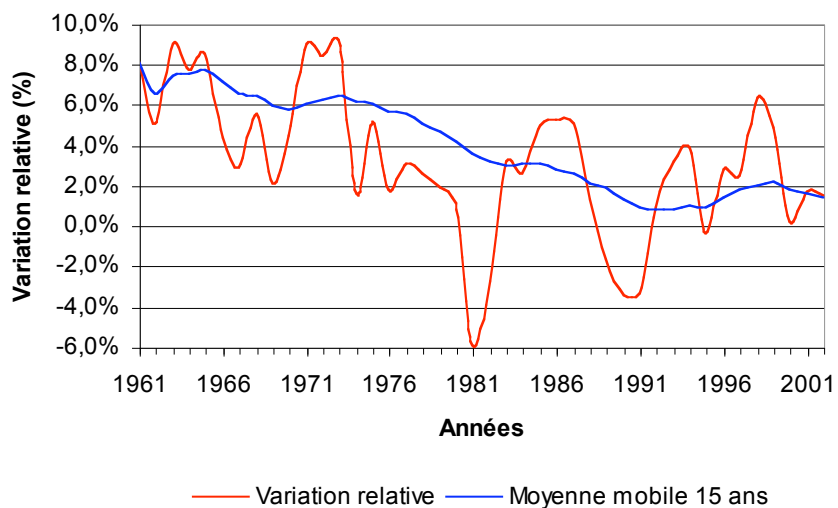
Figure 2-2 Variation du PIB (Monde)



**Figure 2-3 Variation du PIB
(Allemagne)**



**Figure 2-4 Variation du PIB
(Québec)**



Les figures 2-1 à 2-4 montrent les variations dans le taux de croissance du produit intérieur brut (PIB) de chacun des territoires. Aux États-Unis, le taux de croissance du PIB est passé de 4% dans les années 1960 à environ 3% depuis les années 1980. Le taux de croissance du PIB mondial est passé de 6,5% dans les années 1960 pour atteindre 4% vers le milieu des années 1980. Il est à peu près stable depuis à 4%. Le taux de croissance du PIB de l'Allemagne fluctue autour de 2% depuis les années 1970. Depuis 2000, le taux de croissance allemand est plus bas que la moyenne des trente années précédentes. Au Québec, le taux de croissance du PIB est passé d'une moyenne d'environ 6% dans les années 1960 à une moyenne d'environ 2% depuis les années 1990.

3- Variations de la consommation d'énergie

Figure 3-1 Variation de la consommation d'énergie (États-Unis)

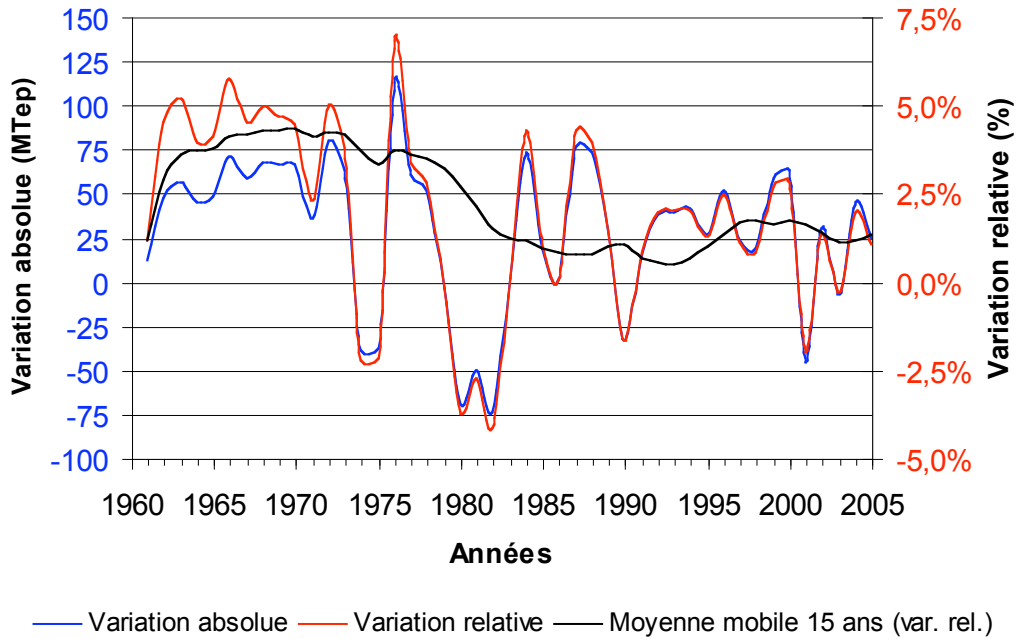
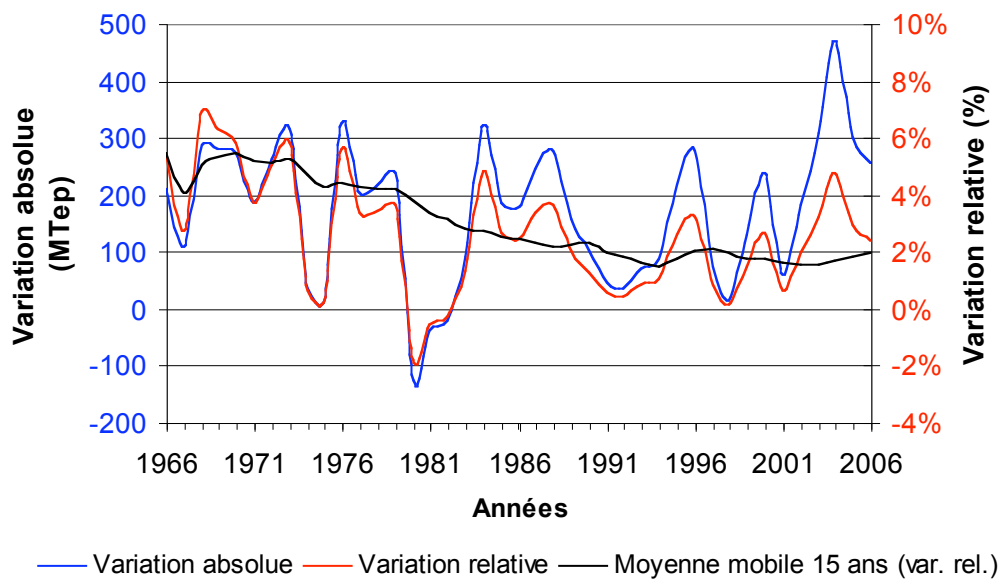
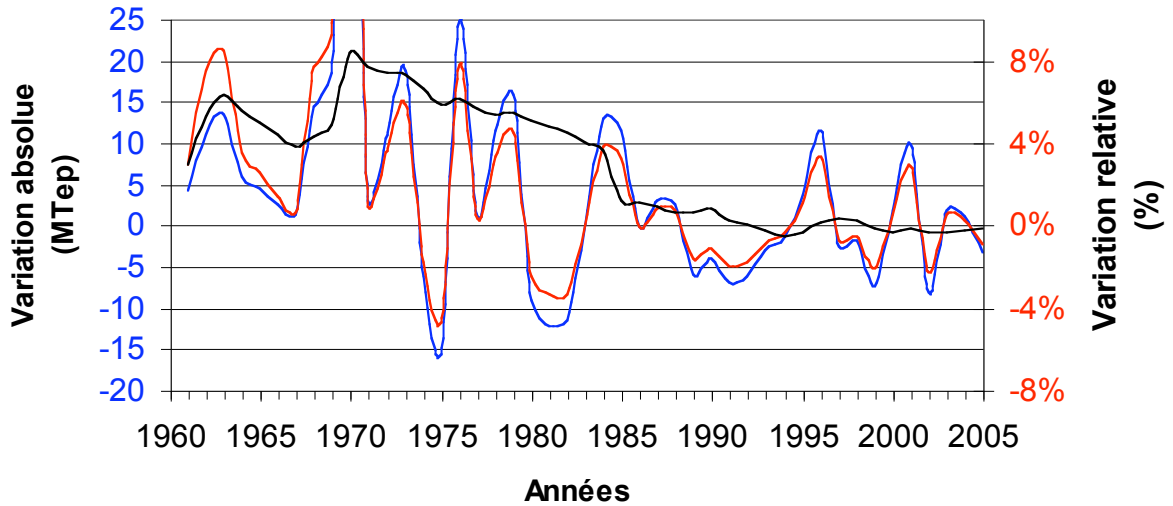


Figure 3-2 Variation de la consommation d'énergie (Monde)

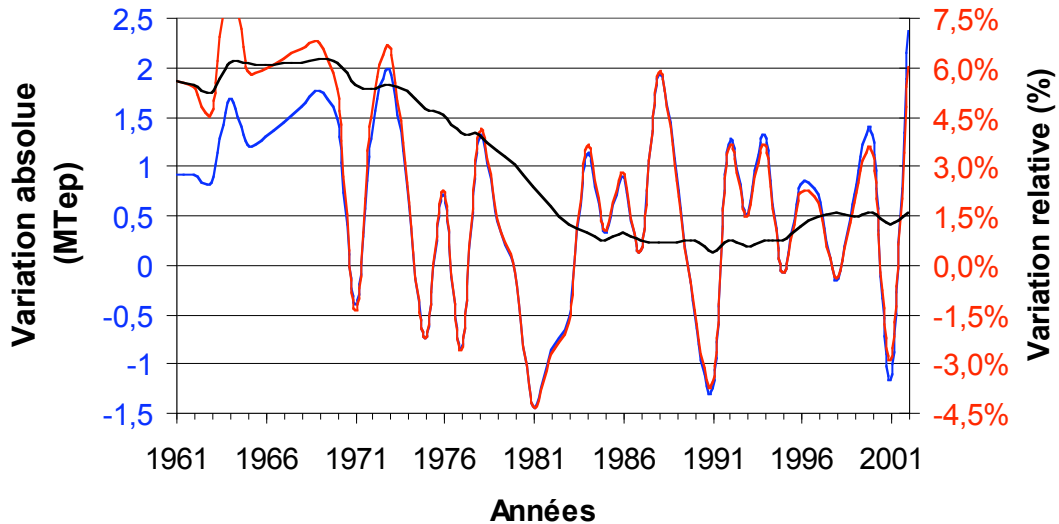


**Figure 3-3 Variation de la
consommation d'énergie (Allemagne)**



— Variation absolue — Variation relative — Moyenne mobile 15 ans (var. rel.)

**Figure 3-4 Variation de la
consommation d'énergie (Québec)**



— Variation absolue — Variation relative — Moyenne mobile 15 ans (var. rel.)

Les graphiques 3-1, 3-2, 3-3 et 3-4, nous montrent l'existence de réelles économies d'énergie pour chacun des territoires étudiés. On peut observer les économies d'énergie lorsque les courbes de ces graphiques descendent sous la barre du zéro. On constate

rapidement, sur l'ensemble de ces territoires, qu'il n'y a que très peu d'économie, et seulement sur du très court terme, la plupart liées aux chocs pétroliers ou à une récession économique souvent induites par des hausses des prix du pétrole (Figure 3-5)¹¹.

Aux États-Unis, des économies d'énergie temporaires ont eu lieu en 1974, 1980, 1990 et 2000. Les deux premières à cause des deux chocs pétroliers (1973 et 1979) et d'une durée de 2 ans et de 8 ans respectivement. Les deux dernières sont dues à des récessions probablement causées en partie par la hausse rapide des prix du pétrole brut. Ces économies ont été effectives pendant 3 ans (1990) et 4 ans (2000) respectivement. La tendance forte de la consommation d'énergie au États-Unis représente une croissance d'environ 1,3% annuellement.

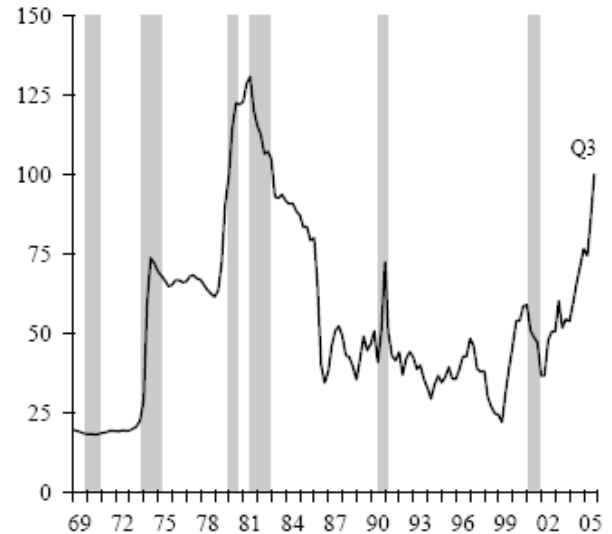
Le monde, quant à lui, n'a connu qu'une seule période d'économie d'énergie effective durant le second choc pétrolier (1979) pendant une période de 4 ans. Depuis, le taux de croissance moyen de la consommation d'énergie est d'environ 2%.

L'Allemagne, malgré l'ensemble des mesures mises de l'avant et une substitution énergétique réussie (pétrole et charbon par les sources renouvelables et le gaz naturel)¹² n'a réussi qu'à stabiliser sa consommation après une légère baisse de sa consommation totale d'énergie. Depuis le début des années 1990, le taux de croissance de la consommation d'énergie se situe autour de 0% ce qui est quand même remarquable pour un pays industrialisé.

Au Québec, le taux moyen de croissance de la consommation d'énergie est passé de 6% dans les années 1960 à 0,7% après le second choc pétrolier. Ce dernier taux s'est maintenu pendant une douzaine d'années. Il a ensuite remonté à 1,5% vers le milieu des années 1990. Il est à noter que ce taux est supérieur à celui des États-Unis (1,3%).

Figure 1. Real Price of Oil

2005:Q3 = 100



Note: Price of petroleum imports divided by the price index for personal consumption expenditures. Gray bars denote recessions.

Figure 3-5 : Extrait de Fernald et Trehan (2005)

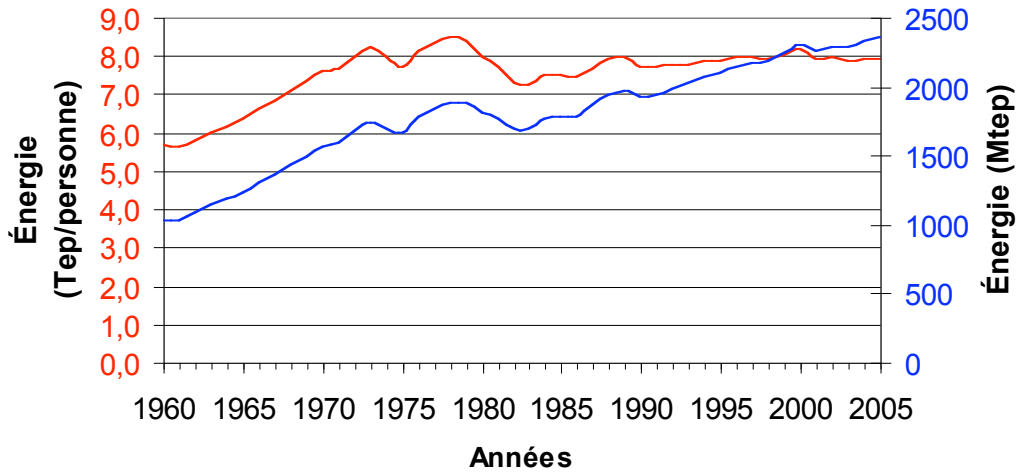
¹¹ John Fernald, Bharat Trehan, Why Hasn't the Jump in Oil Prices Led to a Recession? FRBSF Economic Letter, Number 2005-31, November 18, 2005.

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.

¹² Renewable Energy Policy in Germany : An Overview and Assessment, The Joint Global Change Research Institute, University of Maryland.

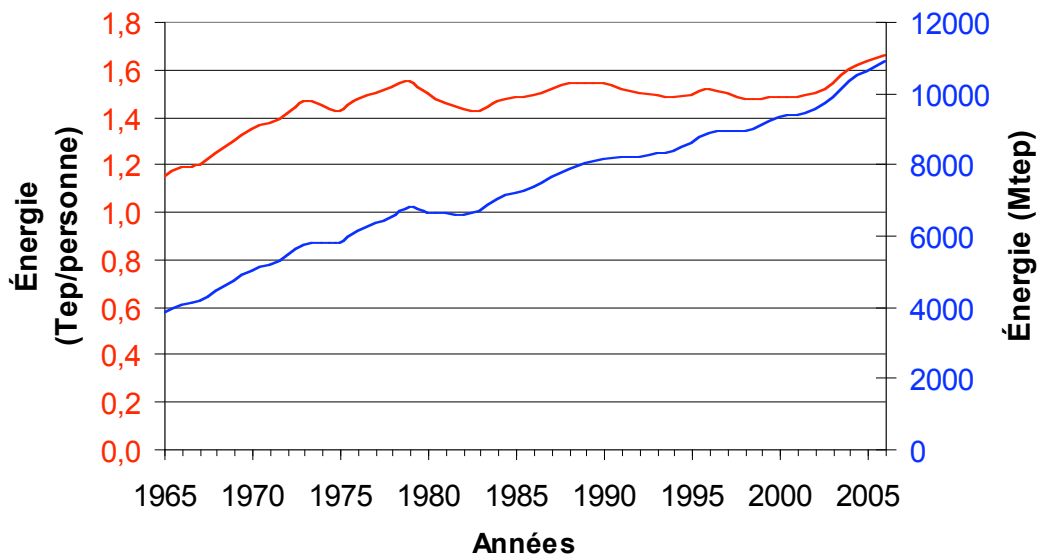
4- Consommation d'énergie per capita

Figure 4-1 Consommation d'énergie par habitant (États-Unis)



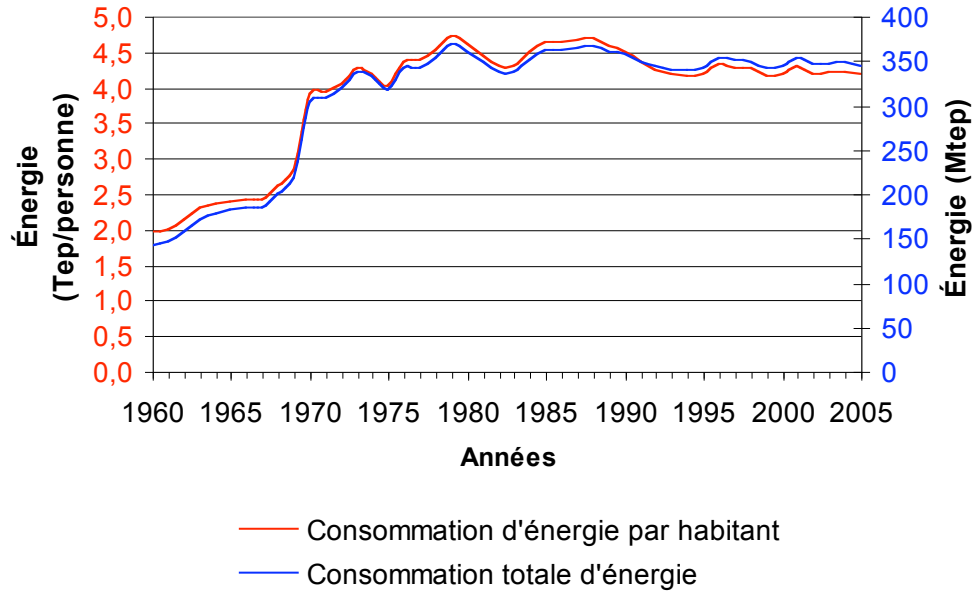
— Consommation d'énergie par habitant — Consommation totale d'énergie

Figure 4-2 Consommation d'énergie par habitant (monde)

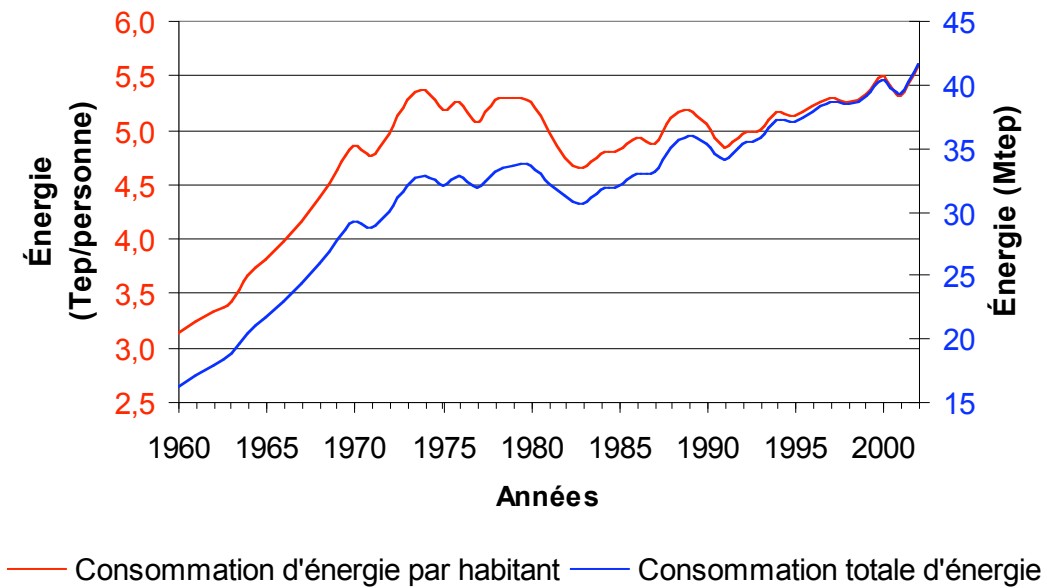


— Consommation d'énergie par habitant — Consommation totale d'énergie

**Figure 4-3 Consommation d'énergie par habitant
(Allemagne)**



**Figure 4-4 Consommation d'énergie par habitant
(Québec)**



La consommation d'énergie exprimée selon la population permet d'analyser l'implantation de l'efficacité énergétique dans un contexte «social» (figures 4-1 à 4-4). Elle permet aussi de comparer le niveau de développement des différents pays.

Aux États-Unis, la consommation d'énergie augmentait de 4,5 % annuellement avant le premier choc pétrolier. Après le second choc pétrolier, la consommation n'augmentait plus que de 1,3%. De même, il y a eu plafonnement de la consommation d'énergie par personne. D'ailleurs, le taux de croissance de la consommation énergétique s'approche de celui de la population américaine. La consommation énergétique d'un Américain moyen se situe autour de 8 Tep, soit environ cinq fois plus que la moyenne mondiale (1,65 tep/personne).

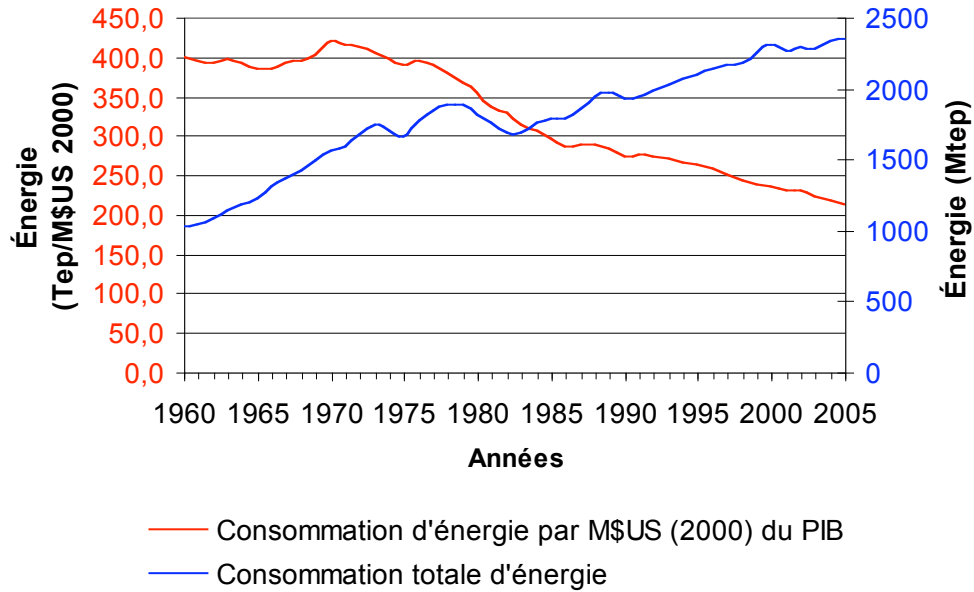
Depuis le deuxième choc pétrolier et après une croissance de la consommation d'énergie par personne ininterrompue depuis le 19^{ième} siècle, la consommation mondiale d'énergie par habitant s'est stabilisée autour de 1,5 Tep/personne. Toutefois, en 2002, la croissance économique des pays émergents (Chine et Inde principalement) a fait croître la consommation d'énergie de façon si importante que la consommation d'énergie par habitant est passée de 1,5 à 1,65 Tep/ personne soit une croissance de 10% en moins de cinq ans. Un véritable «*Energy Boom*».

Contrairement aux autres territoires, l'Allemagne a réussi jusqu'à présent à maintenir une croissance à peu près nulle de sa consommation d'énergie. L'énergie consommée par habitant s'est stabilisée depuis les chocs pétroliers et, depuis le début des années 1990, celle-ci semble être sur une pente très légèrement descendante tel qu'exigé par le maintien d'une croissance nulle de la consommation d'énergie et une faible augmentation de la population (0,2%/an). La consommation d'énergie par habitant en Allemagne se situe autour de 4,2 Tep/pers.

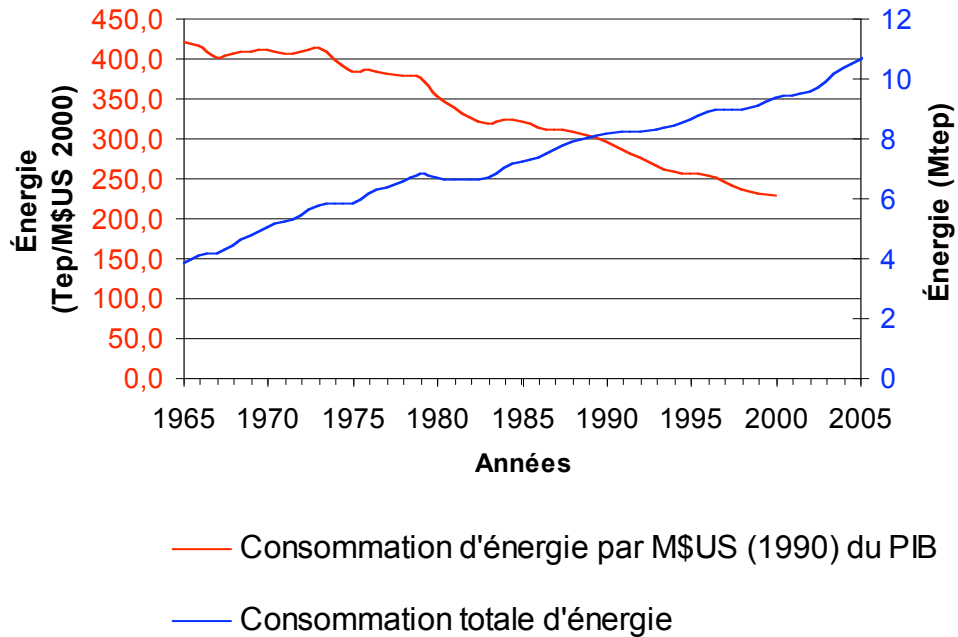
Au Québec, la consommation d'énergie par habitant s'est maintenue, à partir des chocs pétroliers jusqu'au milieu des années 1990, à un peu plus de 5 Tep/personne. Par la suite, il y a eu croissance pour atteindre une valeur de 5,6 Tep/personne en 2002 (dernières données disponibles actuellement).

5- Consommation d'énergie selon le PIB

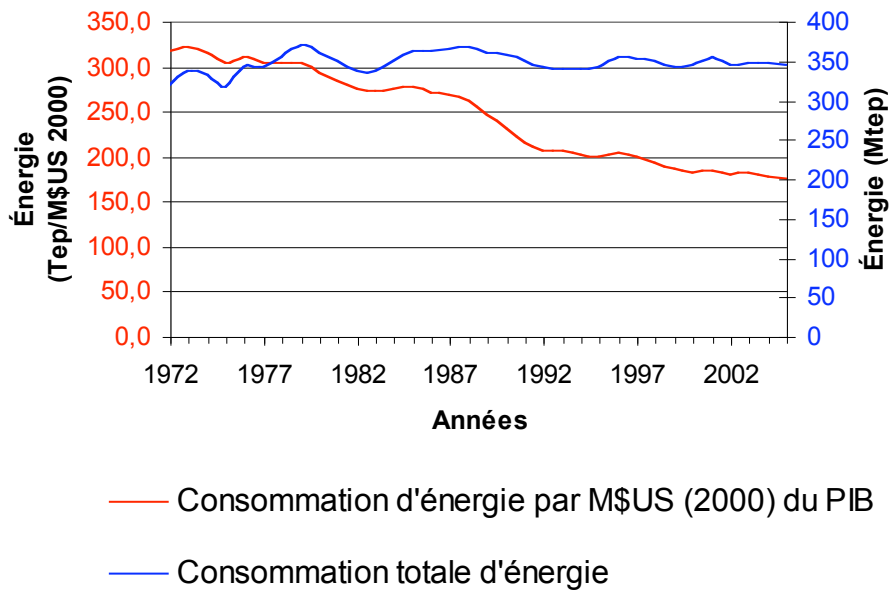
**Figure 5-1 Consommation d'énergie et PIB
(États-Unis)**



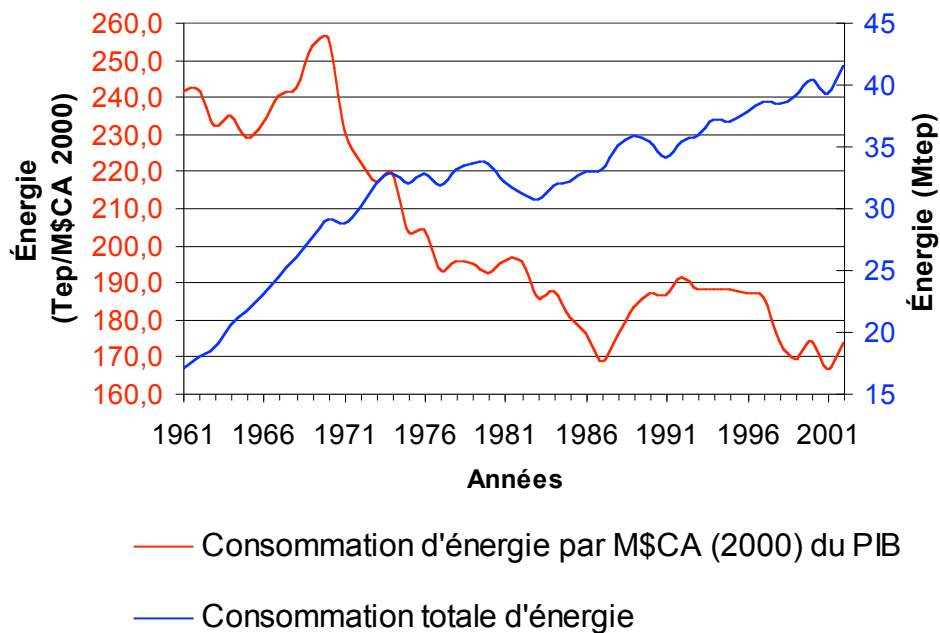
**Figure 5-2 Consommation d'énergie et PIB
(monde)**



**Figure 5-3 Consommation d'énergie et PIB
(Allemagne)**



**Figure 5-4 Consommation d'énergie et PIB
(Québec)**



La consommation d'énergie exprimée selon le produit intérieur brut, appelée intensité énergétique, permet d'observer les effets de l'efficacité énergétique, selon un point de vue économique (figures 5-1 à 5-4). Avec cet indicateur, moins un territoire utilise d'énergie pour une même valeur de production (liée au PIB, avec toutes les limites de l'utilisation d'un tel indicateur), plus il est efficace d'un point de vue énergétique.

Aux États-Unis, durant les années 1960 et début 1970, la production nécessitait 400 Tep par million de dollars du PIB. Les chocs pétroliers ont enclenché un phénomène d'efficacité énergétique qui s'est maintenu jusqu'à maintenant et cela malgré les bas prix de l'énergie des années 1990¹³. Ce même million de dollars nécessite aujourd'hui environ 200 Tep, soit la moitié de celui des années 1960. Toutefois, l'économie américaine étant devenue de plus en plus tertiaire, souvent moins exigeant énergétiquement, et ayant délocalisé les industries lourdes vers les pays émergents, il apparaît que ce constat est dans les faits encore plus sombre. En intégrant les biens produits à l'extérieur, mais consommés dans le pays, le constat serait différent, dans le sens d'une augmentation plus importante de la consommation d'énergie.

Le monde en général a suivi un chemin semblable à celui des États-Unis, passant de 400 Tep/M\$ du PIB dans les années 1960 à 200¹⁴ en 2005. La consommation totale d'énergie a continué sa progression malgré l'augmentation de l'efficacité énergétique.

L'Allemagne a elle aussi augmenté son efficacité énergétique de près d'un facteur deux depuis les années 1970 pour atteindre 170 Tep/M\$US. Ceci a sûrement contribué à maintenir une consommation d'énergie stable.

Le graphique du Québec est particulier du fait qu'il est en dollars canadiens et non en dollars américains. Toutefois, en tenant compte des taux de change, il apparaît clairement que le Québec a suivi lui aussi le chemin vers une plus grande efficacité énergétique tout en augmentant sa consommation totale d'énergie. La consommation d'énergie par M\$CA de PIB est passée d'environ 240Tep dans les années 1960 à 170 Tep en 2002.

¹³ Moins de 25\$ le baril de pétrole brut alors qu'il se transige actuellement à plus de 90\$.

¹⁴ Projection

Résultats

Les économies d'énergie réelles, dans les territoires étudiés (tableau 1), n'ont qu'une durée très limitée, que l'on peut observer sur la courbe de la consommation totale d'énergie (figures 4-1 à 5-4), sauf pour l'Allemagne qui a réussi à diminuer légèrement sa consommation et à la stabiliser depuis les années 1990. Les économies d'énergie observées d'une ampleur importante (-1,5% et moins) sont toutes liées à une crise énergétique (chocs pétroliers 1973 et 1979) ou économique (récessions 1990 et 2000).

Tableau 1 : Économie d'énergie effective historique

Territoires	Années	Durée (années)	Ampleur (%)
États-Unis	1974	2	-2,2
	1980	8	-4,2
	1990	3	-1,7
	2000	4	-2,0
Monde	1980	4	-1,9
Allemagne	1974	3	-4,5
	1980	***	-3,3
	1990	***	-2,0
	1998	4	-2,0
	2000	***	-2,3
Québec	1971	1	-1,4
	1975	2	-2,3
	1977	2	-2,6
	1980	7	-4,3
	1990	4	-3,6
	2000	2	-2,9

*** Persiste encore en partie

Avec le faible échantillon que nous avons (tableau 2), il est impossible d'établir une corrélation directe entre la croissance de la consommation d'énergie et les croissances du PIB et de la population. Toutefois, compte tenu de la stabilisation ou de l'augmentation de la consommation d'énergie par habitant, excepté pour l'Allemagne qui a d'ailleurs une très faible augmentation de sa population, toute augmentation de la population a un impact important sur la consommation totale. L'arrêt de la croissance de la population ne serait pas suffisant pour enrayer la croissance de la consommation d'énergie au niveau mondial et Québécois, mais elle le serait peut-être pour les États-Unis qui sont toutefois le pays qui consomme le plus d'énergie par habitant (8 Tep/habitant) soit près du double de l'Allemagne (4,3 Tep/habitant) et près de cinq fois la moyenne mondiale (1,65 Tep/habitant).

Tableau 2 : Tendances moyennes récentes des données et des indicateurs d'efficacité énergétique

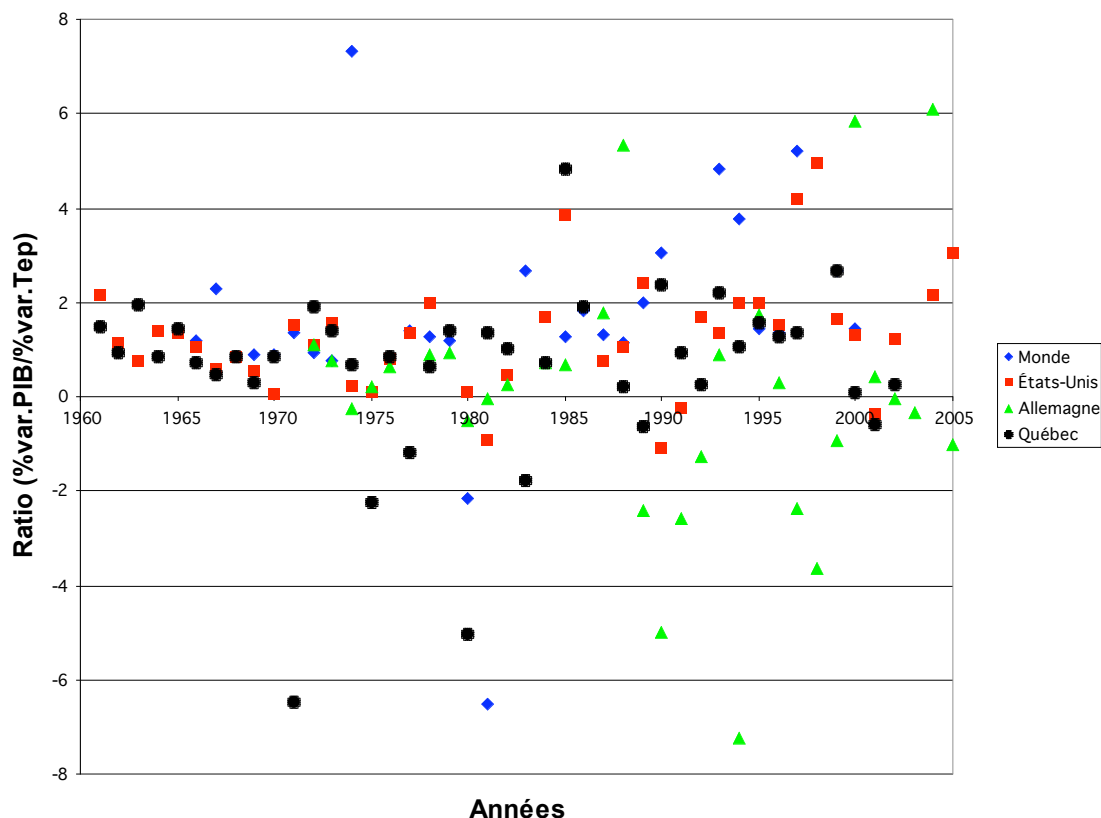
Territoires	Variation population (%)	Variation PIB (%)	Variation consommation d'énergie (%)	Variation consommation d'énergie/PIB (%)	Énergie consommée par habitant (Tep/hab)
États-Unis	1,1	3	1,3	-2,0	8 stable
Monde	1,8	4	2,5	-2,1	1,7 ↑
Allemagne	0,2	2	0	-1,8	4,3 ↓
Québec	0,5	2	1,5	-0,8	5,6 ↑

L'indicateur de la variation de la consommation d'énergie selon le produit intérieur brut (PIB) est représentatif de la variation de l'efficacité énergétique globale du territoire. L'efficacité énergétique de l'ensemble des territoires (tableau 2) s'améliore depuis les années 1980. Ceci veut dire que la production d'une même valeur de bien, en argent, nécessite de moins en moins d'énergie.

La croissance du (PIB) des territoires étudiés semble être liée à la croissance de la consommation d'énergie. La figure 6 nous montre cette corrélation. On peut constater que l'augmentation du PIB de 1% semble faire augmenter la consommation d'énergie d'environ un point de pourcentage.

$$\frac{\Delta \text{PIB}}{\Delta E} = \frac{\% \text{ variation du PIB}}{\% \text{ variation de la consommation d'énergie}} \approx 1$$

Figure 6 Ratio $\frac{DPIB}{DE}$



L'augmentation de l'efficacité énergétique (liée au PIB) ne permet pas la stabilisation de la consommation d'énergie, sauf pour l'Allemagne, car la croissance de l'économie est trop forte. Il semble donc très difficile d'économiser de l'énergie dans un monde en expansion exponentielle tant par la croissance de sa population que par celle de son économie.

L'efficacité énergétique est donc une condition essentielle mais non suffisante à la réalisation d'économies d'énergie. Pire, elle peut même devenir nuisible à la réalisation de celles-ci lorsque l'effet rebond entre en jeu¹⁵. L'utilisation de technologies plus efficaces sur le plan énergétique peut engendrer une hausse de la consommation totale d'énergie¹⁶ ou une réduction des effets escomptés des mesures d'efficacité énergétique

¹⁵ Richard York, Department of Sociology, University of Oregon, Ecological Paradoxes: William Stanley Jevons and the Paperless Office, Human Ecology Review, Vol. 13, No. 2, 2006
William Stanley Jevons, The Coal Question, 1865.

¹⁶ Le paradoxe de Jevons dans The Coal Question.

prévus de façon directe et/ou indirecte¹⁷, qui peuvent être totaux (aucune économie) ou partiels (réduction des effets par un certain pourcentage).

Le résultat de l'utilisation de l'efficacité énergétique peut être, par exemple, de libérer une pression sur les prix par une diminution temporaire de la demande qui incite à l'utilisation par de nouveaux usagers de cette énergie libérée. La répartition de l'usage de cette énergie sur un plus grand nombre d'utilisateurs diminue les coûts d'utilisation pour chacun des utilisateurs. Le nombre de ces derniers s'accroît et augmente donc la demande en énergie.

Cela peut aussi équivaloir à une hausse du niveau de vie par la «démocratisation» de produits autrefois énergivores et coûteux à l'usage, et utilisés seulement par une minorité de gens. En rendant ces produits plus efficaces au plan énergétique, l'usage en devient moins coûteux et se «démocratise». L'utilisation dans les résidences québécoises d'un équipement efficace qui permettrait de réduire la facture d'électricité de 300\$, par exemple, hausse le niveau de vie des habitants de ce même montant. Cet argent «économisé» pourra être utilisé pour l'achat d'objets ou pour faire un voyage quelconque. Ceci pourra, dans les faits, augmenter la consommation totale d'énergie par la fabrication et le transport de ces objets ou par l'usage de carburants pour faire le voyage. Cette énergie pourrait aussi provenir d'une source beaucoup plus polluante que l'hydroélectricité comme le pétrole ou le charbon.

Ceci ne veut pas dire qu'il faille abandonner l'efficacité énergétique, bien au contraire, il faut plutôt encadrer cette approche pour être sûr d'en obtenir les résultats escomptés. Si l'un des résultats projetés est de diminuer l'émission de gaz à effet de serre (GES), il est clair qu'il faut avoir un portrait complet de la question énergétique avant de dire qu'une économie localisée et dans une filière précise réduise les émissions de GES, tout comme dans le cas de la substitution énergétique¹⁸. D'ailleurs, l'approche des négawatts considère les économies d'énergie comme une source d'énergie qui peut se substituer à d'autres sources d'énergie¹⁹.

Il semble que seul un encadrement évite ou limite les effets rebonds. Laisser aller le marché ne semble donner aucun résultat quant aux économies d'énergie. Malgré la croissance de l'efficacité énergétique, aucune économie d'énergie n'est observable dans la plage de temps et les territoires étudiés, sauf pour l'Allemagne et dans une très faible mesure.

¹⁷ Frank Gottron, Energy Efficiency and the Rebound Effect: Does Increasing Efficiency Decrease Demand?, CRS report for Congress (USA), July 2001.

¹⁸ Patrick Déry, Substitution énergétique, mythe ou réalité?, premier 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.

¹⁹ Amory B. Lovins, The Negawatt Revolution, Conference Board Magazine, September 1990.

Conclusion

L'économie d'énergie véritable, tout comme la substitution, n'existe pas dans un contexte de libre-marché basé sur la croissance exponentielle, mondialisée et sans crise. L'énergie libérée par la diminution de la consommation ou par l'efficacité énergétique d'un secteur est utilisée par un autre secteur et alimente ainsi la croissance économique.

Les données historiques que nous avons analysées ainsi que les rapports que nous avons consultés concernant la question de l'économie d'énergie et l'efficacité énergétique, nous ont montré que :

- 1- Les économies d'énergie à l'échelle d'un territoire ne sont apparues, jusqu'à présent, que sporadiquement avec une durée très limitée (moins de 10 ans) et durant des crises d'approvisionnement (ex : chocs pétroliers) ou des crises économiques (ex : récessions).
- 2- Un système basé sur la croissance économique perpétuelle et une libéralisation des marchés avec un minimum d'encadrement n'engendre qu'une croissance continue de la consommation d'énergie.
- 3- La croissance économique perpétue la croissance de la consommation d'énergie et limite la réalisation d'économies d'énergie.
- 4- La croissance de la population perpétue la croissance de la consommation d'énergie et limite la réalisation d'économies d'énergie.
- 5- La croissance de la consommation d'énergie se poursuit à des taux importants (2% pour le monde soit un doublement en 35 ans)
- 6- Les deux chocs pétroliers ont induit un processus d'optimisation de l'utilisation de l'énergie de façon durable depuis plus de 30 ans.
- 7- Les efforts d'efficacité énergétique ne suffisent pas à réduire et même à stabiliser la consommation d'énergie au niveau mondial.
- 8- L'efficacité énergétique permet de «libérer» de l'énergie pour poursuivre la croissance économique.
- 9- Les efforts d'efficacité énergétique et les politiques énergétiques allemandes n'ont pas permis des économies d'énergie réelles et suffisamment importantes. Les tendances très récentes en Allemagne indiquent aussi que la consommation d'énergie va augmenter dans les prochaines années. Les politiques ne visaient pas directement une décroissance de la consommation d'énergie.
- 10- Le Québec, avec une croissance de son PIB et de sa population, dans les plus faibles des territoires analysés, a de moins bons résultats au plan de l'efficacité énergétique et du fait de l'augmentation importante de sa consommation d'énergie.

11- Le ratio entre la croissance énergétique et la croissance économique est d'un ordre de grandeur unitaire. Pour chaque augmentation d'un point de pourcentage de la croissance économique, il y a augmentation d'environ un point de pourcentage de la consommation d'énergie (Figure 6). De même, lors d'une décroissance du PIB²⁰.

Comme dans le rapport précédent, la seule solution pour réaliser de réelles économies d'énergie est d'encadrer fortement le marché. Le marché, pour réaliser des économies d'énergie, dans un contexte de déclin proche des sources non-renouvelables²¹ et du réchauffement climatique, devra détruire la demande en haussant les prix et créer ainsi des crises²².

Il est donc nécessaire que les décideurs, qu'ils soient fédéraux, provinciaux, régionaux ou municipaux, réalisent une planification énergétique à long terme incluant à la fois la consommation et la production avec des objectifs clairs, précis et mesurables de réduction de la consommation d'énergie directe et indirecte. Cette politique²³ pourrait être, pour ce qui est de la question des économies d'énergie, axée par exemple sur la taxation progressive de l'énergie, évitant ainsi l'effet rebond d'une augmentation du niveau de vie, et le réinvestissement des sommes récoltées dans des programmes musclés d'efficacité énergétique donnant lieu à des économies effectives d'énergie entre autres.

En considérant que 85% du CO₂ anthropique provient de la combustion des hydrocarbures²⁴, la solution au réchauffement climatique réside dans la réduction drastique des émissions provenant de ceux-ci. Or, il y a trois méthodes qui permettent d'atteindre cet objectif :

- 1- la diminution de la consommation d'énergie directe et indirecte;
- 2- la substitution vers des énergies plus propres;
- 3- la séquestration des émissions de CO₂ (directe et indirecte).

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

²¹ 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, Uranium resources and nuclear energy, December 2006 EWG-Series No 1/2006
Energy Watch Group, Coal: Resources and Future Production (April, 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.
Darley, Julian, High noon for natural gas: the new energy crisis, Chelsea Green, 2004.
Dr. Albert Bartlett: Arithmetic, Population and Energy <http://globalpublicmedia.com/node/461>

²² Dru Oja Jay, The Tar Sands and Canada's Food System: Are beans the only cure for natural gas?, The Dominion, October 21, 2007.

²³ Patrick Déry, Substitution énergétique, mythe ou réalité?, premier 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.

²⁴ Working Group III, Fourth assessment report, chapter 4, IPCC (GIEC), 2007.

Le problème est que, comme nous venons de le démontrer dans ce rapport et le rapport précédent (substitution), les deux premières méthodes questionnent le modèle économique en place, il n'est donc pas surprenant que la séquestration carbonique ait la cote auprès des gouvernements actuels de gauche comme de droite.

Laisser aller les choses dans le contexte actuel n'apportera qu'une volatilité des prix de l'énergie, une inéquité entre les riches et les pauvres²⁵ et finalement une crise énergétique que certains appellent déjà «*le dernier choc pétrolier*»²⁶. L'économie réelle d'énergie demeure la plus simple, la moins coûteuse et la plus efficace des options que nous ayons pour faire face au défi énergétique et climatique.

²⁵ Michael Wines, Toiling in the dark : Africa's Power Crisis, July 2007.

²⁶ David Strahan, The Last Oil Shock, John Murray Pub., 2007.

ANNEXE 3

Rapport #3 sur l'énergétique régionale :

Quel rendement sur notre investissement énergétique?

Quel rendement sur notre investissement énergétique ?

Réalisé par

Patrick Déry, B.Sc, M.Sc. (physique)
Analyste/consultant, spécialiste en énergétique,
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)

Février 2008

Partenaires financiers



Sommaire

Sommaire	2
Note	2
Remerciements	2
Avertissement	2
Présentation des organisations	3
Introduction	4
Quelques concepts et définitions	5
Qu'est-ce que l'énergie.....	5
Les lois de la thermodynamique.....	6
Premier principe	6
Second principe.....	6
Exergie	6
Qualité de l'énergie.....	6
Densité énergétique.....	7
Autres concepts.....	8
Rendement sur l'investissement énergétique et énergie nette.....	8
L'énergie nette de différentes sources d'énergie	11
Classement des filières selon l'énergie nette	15
Un outil de discrimination des sources d'énergie	17
Conclusion	19

Note

Le présent rapport est le troisième d'une série de cinq sur l'énergétique au Saguenay—Lac-Saint-Jean. Les trois premiers rapports concernent 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 dernier rapport met 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

Nous vivons dans un univers où l'énergie est essentielle à tous les processus. Elle est présente partout, que se soit dans la matière (par la fameuse équation d'Einstein $E=mc^2$ qui lie matière et énergie), dans le mouvement (révolution des astres les uns par rapport aux autres ou des particules dans un fluide, par exemple) ou dans le rayonnement (lumière, radiation nucléaire ou rayonnement fossile du Big Bang, par exemple).

En physique, les lois, contrairement aux théories ou aux hypothèses, doivent être vraies, universelles, simples, absolues, stables et omnipotentes; des exigences qui rendent celles-ci très rares. Les transformations énergétiques sont régies par des lois appelées lois de la thermodynamique. Qui n'a pas déjà entendu l'expression «Rien ne se perd, rien ne se crée»¹? Cette affirmation est l'idée principale de la première loi de la thermodynamique. Ces lois nous enseignent que pour extraire de l'énergie d'une source quelconque, nous devons dégrader la «qualité» d'une certaine quantité d'énergie qui, de ce fait, perd ainsi de ses qualités. Par exemple, en géothermie, pour extraire la chaleur du sol (énergie de basse qualité), il est nécessaire de dégrader de l'électricité (énergie de haute qualité). L'électricité se transforme ainsi en chaleur à basse température dont la qualité énergétique est inférieure.

À un moment donné, la qualité de l'énergie devient si basse ou sa dissipation si importante dans l'environnement qu'il est impossible de l'utiliser pour un quelconque travail utile à l'être humain. La transformation devient alors pratiquement irréversible : elle génère de l'entropie².

L'extraction d'une source d'énergie nécessite donc d'utiliser de l'énergie provenant de cette même source ou d'une source différente. Or, une fois que de l'énergie est extraite, et pour que celle-ci puisse effectuer un certain travail³, elle doit être d'une qualité suffisante. Cela nous permet d'introduire le concept de rendement sur l'investissement énergétique. Ce concept, semblable à celui du rendement sur l'investissement financier, nous informe si une source potentielle d'énergie permet ou non d'extraire une quantité d'énergie supérieure à celle utilisée pour son extraction.

Dans ce troisième volet sur l'énergétique régionale du Saguenay—Lac-Saint-Jean, nous mettrons en évidence l'importance de l'évaluation de l'énergie nette dans le choix et l'usage des filières énergétiques. Celle-ci se révèle cruciale dans un contexte de resserrement des approvisionnements énergétiques comme celui dont nous commençons à entrevoir les premiers signes⁴. Il importe donc de bien comprendre

¹ Anaxagore de Clazomènes, *Les homoéméries et le Nous*, VI^{ème} siècle avant J.C.

² Grandeur, qui en thermodynamique, permet d'évaluer la dégradation de l'énergie d'un système. L'entropie d'un système caractérise son degré de désordre.

³ Dans le sens physique. Par exemple, un réfrigérateur fait le travail de produire du froid.

⁴ 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.

ces concepts de rendement sur l'investissement énergétique et d'énergie nette et de les utiliser lors de l'élaboration de politiques énergétiques.

Contrairement aux deux précédents volets, celui-ci ne comporte pas de démonstrations car elles auraient nécessité des moyens hors de proportion.

Quelques concepts et définitions

Qu'est-ce que l'énergie

L'énergie est une grandeur caractérisant un système et exprimant sa capacité à modifier l'état d'autres systèmes avec lesquels elle entre en interaction. Dans le sens commun, l'énergie désigne donc tout ce qui permet d'effectuer un travail, fabriquer de la chaleur, de la lumière ou de produire un mouvement.

L'énergie doit être considérée comme une grandeur numérique clairement définie, et, en aucun cas comme un fluide ou une substance⁵.

Aussi, l'énergie englobe toutes les formes et toutes les sources. C'est donc bien davantage que l'électricité. Souvent, au Québec, il existe une confusion entre énergie et électricité, dû à notre usage important de cette dernière, qui ne représente pourtant que 38 % de l'énergie consommée. De plus, toute l'électricité ne découle pas de source hydraulique : environ 6% provient d'autres sources (centrale nucléaire Gentilly-2, parcs éolien, centrale au mazout de Sorel-Tracy...) . En somme, l'hydroélectricité ne réussit à combler qu'environ le tiers de notre consommation énergétique. En ce qui concerne la part d'énergie qui provient des sources non-renouvelables, elle représente plus de la moitié de l'énergie totale consommée au Québec⁶.

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, Uranium resources and nuclear energy, December 2006 EWG-Series No 1/2006

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

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

⁵ Comme les courants ésotériques la conçoivent, par exemple.

⁶ Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, L'énergie au Québec 2004.

www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/energie/energie/energie-au-quebec-2004.pdf

Les lois de la thermodynamique

Les lois de la thermodynamique caractérisent les transformations énergétiques pour toutes les théories physiques (mécanique, électromagnétisme, physique nucléaire, etc.). On ne leur a jamais trouvé la moindre exception.

Premier principe

- L'énergie est toujours conservée. L'énergie totale d'un système parfaitement isolé reste constante.
- L'énergie peut se transmettre d'un système à un autre.
- On ne crée pas l'énergie, on la transforme de certaines formes d'énergie en d'autres formes d'énergie.
- L'énergie ne peut pas être produite du néant. Elle est en quantité invariable dans la nature.

Second principe

- La transformation de l'énergie est irréversible.
- L'entropie d'un système isolé augmente, ou reste constante. Ce concept est associé à l'impossibilité du passage du désordre à l'ordre sans intervention extérieure. L'entropie est la grandeur qui permet d'évaluer la dégradation de l'énergie d'un système.

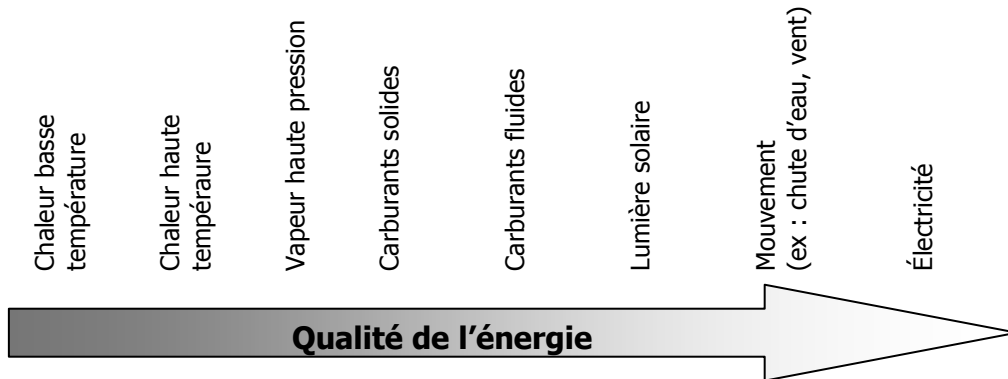
Exergie

- L'exergie est la mesure de la quantité d'énergie qui est disponible pour faire un travail utile à l'humain.
- L'exergie, contrairement à l'énergie, est détruite au fur et à mesure de la dégradation de la qualité de l'énergie utilisée (augmentation de l'entropie).

Qualité de l'énergie

La **qualité de l'énergie** se définit par la propension d'une forme d'énergie à se transformer en une autre forme. Par exemple, on peut dire que l'électricité possède, au plan énergétique, une qualité supérieure à celle de la chaleur à basse température car elle se convertit facilement en chaleur à basse température avec un rendement de 100% alors que la chaleur à basse température peut très difficilement se convertir en électricité. Lorsque cela se produit, les rendements sont très faibles, soit de quelques points de pourcentage. La figure suivante exprime de manière visuelle la qualité de différentes formes d'énergie⁷.

⁷ Adaptation des travaux de T. Ohta, *Energy Technology : Sources, Systems and Frontier Conversion*, Pergamon, Elsevier, Great Britain, 1994.



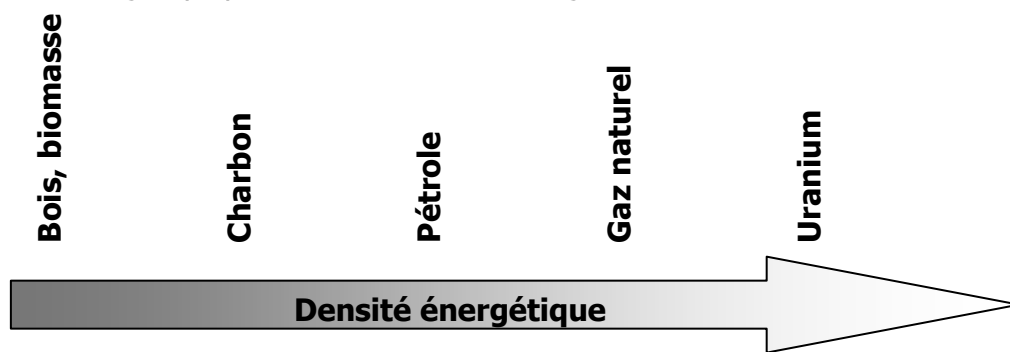
Densité énergétique

La **densité énergétique** est la quantité d'énergie que peut libérer une forme de stockage énergétique en fonction de son poids (densité gravimétrique) ou de son volume (densité volumique).

Depuis les débuts de l'humanité, les êtres humains ont surtout compté sur l'énergie endosomatique (provenant de l'intérieur du corps : humain, animaux) et, en moindre importance sur l'énergie renouvelable exosomatique (provenant de l'extérieur du corps). Mais avec l'ère industrielle, le rapport s'est inversé. De plus, le type de sources est passé de renouvelables (bois, vent, soleil) à non-renouvelables (charbon, pétrole...).

De nos jours, nous comptons presque exclusivement sur l'énergie exosomatique de sources non-renouvelables. Concernant ce type d'énergie, la progression des sources pouvant stocker de l'énergie s'est faite des sources d'énergie les moins denses énergétiquement aux plus denses⁸.

Or, depuis quelques années, on voit apparaître, dans les parts de marché de l'énergie, un retour en force des sources les moins denses (biomasse et charbon entre autre). Cela indique qu'il est fort probable que la croissance de l'extraction des sources ayant une densité énergétique supérieure ait atteint actuellement son maximum. La figure suivante exprime de manière visuelle la densité de différentes sources d'énergie qui peuvent stocker de l'énergie.



⁸ Cutler Cleveland, *Energy transitions past and future*, The Oil Drum, 8 août 2007.

Autres concepts

Bien d'autres concepts pourraient contribuer à expliquer la complexe question des systèmes énergétiques, mais ceux qui ont été précédemment définis suffisent aux objectifs poursuivis dans ce rapport. Ajoutons toutefois celui d'«Emergy» développé par H.T. Odum⁹ et D.M. Scienceman. Ce concept est principalement utilisé dans l'étude de la dynamique des systèmes et représente la mesure de l'énergie disponible qui a déjà été utilisée (dégradée durant les transformations) d'un produit transformé; produit qui peut être physique (matériau, énergie...) mais qui peut aussi être immatériel (information).

Rendement sur l'investissement énergétique et énergie nette

Selon les concepts et définitions discutés dans la section précédente, l'énergie ne peut pas être extraite sans une dépense d'énergie. Les lois physiques nous obligent à consacrer une certaine quantité d'énergie dans l'utilisation des équipements ou dans la fabrication de ceux-ci pour qu'une quantité plus grande d'énergie soit produite et serve au travail auquel on la destine. La question fondamentale est donc de connaître la quantité d'énergie nécessaire à investir dans une source potentielle pour qu'en bout de ligne on en obtienne pour les usages autres que la production d'énergie.

Nous voulons alors connaître le rendement que nous obtenons par rapport à l'investissement énergétique fourni. Ce concept est semblable à celui utilisé en finance, le ROI (return on investment ou retour sur l'investissement), mais en utilisant l'énergie plutôt que la monnaie.

⁹ H.T.Odum, Energy Values of Water Sources, 19th Southern Water Resources and Pollution Control Conference, 1970.

H.T.Odum, Embodied Energy, Foreign Trade, and Welfare of Nations, A-M. Jansson (ed.) Integration of Economy and Ecology - An Outlook for the Eighties, 1984.

H.T.Odum, Ecosystem Theory and Application, Wiley, New York, 1986.

H.T.Odum, Self-Organization, Transformity, and Information, Science, Vol. 242, pp. 1132-1139, 1988.

H.T.Odum, Self-Organization and Maximum Empower, C.A.S.Hall (ed.) Maximum Power; The Ideas and Applications of H.T.Odum, Colorado University Press, Colorado, pp. 311-330, 1995.

H.T.Odum, Emergy: Policies for a New World Order, H.Abele (ed.) Energy and Environment; A question of Survival, Verlag Stiftsdruckerei, Switzerland, 1995.

H.T.Odum, Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making, Wiley, 1996.

H.T.Odum, Letter to the Editor, Ecological Engineering, 9, 215-216, 1997.

H.T.Odum, Material circulation, energy hierarchy, and building construction,

C.J.Kibert, J.Sendzimir, and G.B.Guy (eds) Construction Ecology; Nature as the basis for green buildings, Spon Press, New York, 2002.

H.T.Odum et E.C.Odum, Energy Analysis Overview of Nations, Working Paper, WP-83-

82. Laxenburg, Austria: International Institute of Applied System Analysis. 469 pp. (CFW-83-21), 1983.

H.T.Odum et E.C.Odum, A Prosperous way Down: Principles and Policies, Colorado University Press, Colorado, 2001.

Le **rendement sur l'investissement énergétique –RIE-** (energy profit ratio ou Energy return on energy invested – EROEI - en anglais) se définit donc comme le rapport suivant¹⁰ :

$$\text{RIE} = \frac{\text{Somme de l'énergie produite par la source durant sa durée de vie}}{\text{Somme de l'énergie consommée pour extraire l'énergie de cette source}} \\ \text{(incluant la fabrication, l'installation, l'énergie intrinsèque des matériaux...)}$$

Pour faciliter la compréhension, on utilise aussi le concept d'**énergie nette** (net energy en anglais) qui est :

$$\text{Énergie nette} = \text{RIE} - 1$$

Une valeur égale à 0 équivaut à consommer autant d'énergie dans l'extraction de la source que celle-ci en fournit. Si la valeur de l'énergie nette est négative, la source consomme plus d'énergie qu'elle n'en produit. Si la valeur est positive, elle en produit plus qu'elle n'en consomme.

Un autre concept lié est le **temps de remboursement énergétique** (energy payback time en anglais) qui est le temps que prend un équipement de production d'énergie pour «rembourser» l'énergie employée à sa fabrication, son installation et son usage.

Prenons un exemple pour illustrer ces concepts.

Un panneau solaire, d'une durée de vie de 25 ans, qui produirait 250 kWh par année et qui aurait nécessité une énergie 1000 kWh pour sa fabrication et son installation.

Le temps de remboursement énergétique (TRE) de ce panneau serait de 4 ans.

$$\text{TRE} = \frac{1000 \text{ kWh}}{250 \text{ kWh}} = 4 \text{ ans}$$

¹⁰ Cutler Cleveland, Energy Return on Investment (EROI), Encyclopædia of Earth, December 2006.

Son rendement sur l'investissement énergétique (RIE) serait de 6,25 et son énergie nette (EN) serait de 5,25.

$$\text{RIE} = \frac{250 \text{ kWh} \times 25 \text{ ans}}{1000 \text{ kWh}} = 6,25$$

$$\text{EN} = \text{RIE} - 1 = 5,25$$

Ces ratios nous informent sur le potentiel d'une source à produire réellement de l'énergie pour accomplir un travail utile à l'être humain. Toutefois, il est très difficile de calculer ces valeurs, car les facteurs considérés dans l'évaluation de ces ratios peuvent varier grandement. Une approche par l'analyse des cycles de vie est celle qui apporte le plus de précision, mais nécessite le plus d'efforts. Elle considère l'ensemble de l'énergie consommée depuis le début, le «berceau», jusqu'à celle nécessaire à la destruction des installations de production, le «tombeau» (en incluant la gestion des déchets jusqu'à leur intégration dans les systèmes écologiques, industriels ou autres).

Nous verrons dans la prochaine section les valeurs calculées pour différentes sources potentielles et actuelles d'énergie.

L'énergie nette de différentes sources d'énergie

Dans cette section, nous avons résumé les valeurs d'énergie nette de différentes sources d'énergie. Nous avons indiqué sur les tableaux les valeurs minimales et maximales ainsi qu'une estimation de l'énergie nette moyenne de ces sources¹¹. Nous avons aussi indiqué les utilisations énergétiques principales de celles-ci.

Tableau 1 : Énergie nette (E.N.) des sources non-renouvelables

Provenance	E.N. Min.	E.N. Est.	E.N. Max.	Utilisations principales
Pétrole Sable bitumineux	5 <0	~17 ~1	20 2	Carburant, chaleur, électricité
Gaz naturel	2	~10	25	Chaleur, électricité, carburant
Charbon	2	~15	80	Chaleur, électricité, carburant
Nucléaire (fission)	<0	Négatif? ¹²	60	Électricité

¹¹ Cutler J. Cleveland et al., *Energy and US Economy : A Biophysical Perspective*, Science, New Series, 225, No. 4665, 1984.

Roel Hammerschlag, *Ethanol's Energy Return on Investment: A Survey of the literature 1990-Present*, Environ. Scie. Technol. 40, 1744-1750, 2006.

Luc Gagnon, *Comparaison des options de production d'électricité, rendement de l'investissement énergétique*, Hydro-Québec, avril 2000.

Luc Gagnon, *Comparaison des options de production d'électricité, rendement de l'investissement énergétique*, Hydro-Québec, mai 2005.

Erik Anselma, *Energy Payback Time and CO2 Emissions of Photovoltaic Systems*, Elsevier, 2003.

World Nuclear Association, *Energy Analysis of Power Systems*, UIC Nuclear Issues Briefing Paper #57, march 2006.

Ida Kubiszewski and al., *Energy Return on Investment (EROI) for wind energy*, Encyclopedia of Earth, January 2007.

Energoclub, *EROEI, il concetto di convenienza energetica*, november 2007.

Dana Visalli, *It Takes Energy to Get Energy*, Conserve Magazine, April 2007.

Ugo Bardi, *Il conto in banca dell'energia : il ritorno energetico sull'investimento energetico (EROEI)*, ASPO-Italia, Février 2005.

Nate Hagens, *A Net Energy Parable: Why Eroei is So Important?*, Oil Drum, August 2006.

Hugh Outhred, *Nuclear Power: Magic Lantern or Pandora's Box?*, AIE Symposium: Nuclear Power for Australia, June 2005.

Daigee Shaw, *Challenges for Renewable Energy Development Policies*, 2006.

Jeff Rubin, *Fueling Inflation*, CIBC World Market, Strategecon, October 2007.

R. Phillips and al., *Micro-Wind Turbines in Urban Environments: an assessment*, Building Research Establishment, november 2007.

Van Leeuwen, JWS, *Factsheet #4: Energy Security and Uranium Reserves*, Oxford Research Group, July 2006.

Paul Gipe, *Energy Balance of Wind Turbines*, Wind-Work, November 2006.

La Capra Associates, *Net Energy Analysis*, Connecticut Energy Advisory Board, November 2007.

World Nuclear Association, *Nuclear Electricity*, 7th Ed., 2003.

Ron Swanson, *Peak Oil, Climate Recovery and Renewable Energy*, ASES Forum, July 2006.

¹² David Fleming, *The Lean Guide To Nuclear Energy : A Life-Cycle in Trouble*, The Lean Economy Connection, November 2007.

Les valeurs minimales se caractérisent habituellement par la transformation en électricité de ces sources d'énergie tandis que les maximales par une transformation en chaleur, comme pour le chauffage de bâtiments, par exemple. Les distances de transport entre la zone d'extraction et le lieu de consommation affectent de façon importante la valeur de l'énergie nette.

La valeur de l'énergie nette moyenne du nucléaire est très difficile à établir car il est nécessaire d'intégrer l'énergie nécessaire à la gestion sécuritaire des déchets radioactifs passés, présents et à venir. Or leur durée est si longue, se chiffrant à plusieurs milliers d'années, que l'énergie cumulative nécessaire à cette gestion pourrait dépasser la production totale d'énergie de cette filière¹³. Les informations sont si contradictoires (sur la quantité d'énergie nécessaire à la disposition à long terme des déchets, par exemple) que nous n'avons pas attribué de valeur moyenne à cette filière.

Tableau 2 : Énergie nette (E.N.) des sources renouvelables

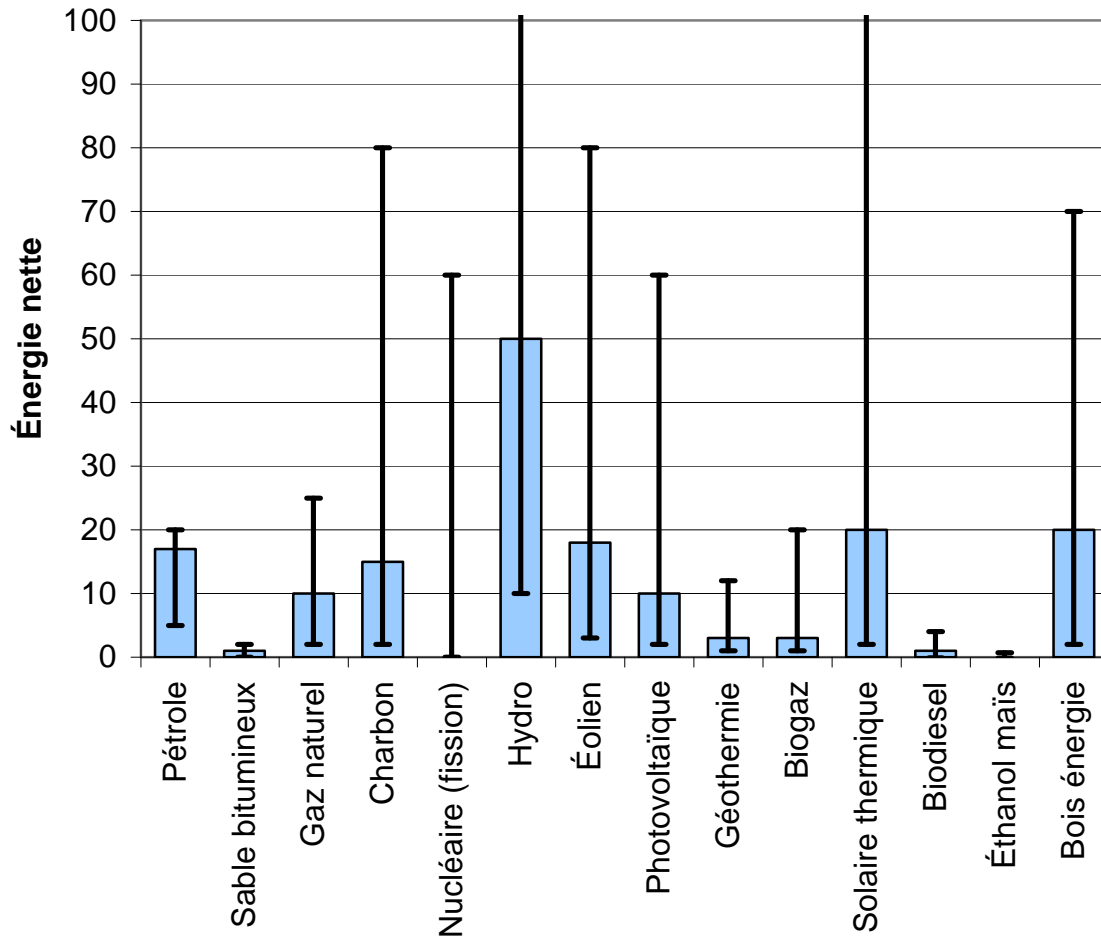
Provenance	E.N. Min.	E.N. Est.	E.N. Max.	Références
Hydroélectricité	10	50+	280	Électricité
Solaire thermique	2	20	200	Chaleur, électricité
Bois énergie	2	20	70	Chaleur, électricité, carburant
Éolien	3	18	80	Électricité
Photovoltaïque	2	10	60	Électricité
Géothermie	1	3	12	Chaleur
Biogaz	1	3	20	Chaleur, électricité, carburant
Biodiesel	-0,1	1	4	Carburant, chaleur, électricité
Éthanol maïs	-0,15	~0	0,7	Carburant, chaleur, électricité

Les valeurs minimales d'énergie nette sont, comme pour les sources non-renouvelables, souvent reliées à la production d'électricité par des sources combustibles. Les valeurs maximales correspondent habituellement à une utilisation plus judicieuse des sources. Le rapport élevé du solaire thermique correspond à l'utilisation optimale de l'énergie solaire passive. La distance entre le lieu de

¹³ Id.

production et le lieu de consommation affecte grandement la valeur de l'énergie nette.

Énergie nette de différentes sources d'énergie



On peut constater que la valeur d'énergie nette pour une même source est très variable, pour ne pas dire extrêmement variable. Cela s'explique par le très grand nombre de facteurs plus ou moins quantitatifs ainsi que des conditions d'application de la technologie étudiée. L'usage de la source est aussi très important. Une source qui produit une chaleur à une température relativement basse, comme la biomasse forestière, par exemple, aura une valeur d'énergie nette plus importante si la chaleur est utilisée directement pour le chauffage, en l'occurrence des bâtiments, que si elle est utilisée pour générer de l'électricité.

Malgré ces variations, il est quand même possible, avec les informations dont nous disposons, de dégager des grandes lignes à propos des sources d'énergie qui représentent un potentiel intéressant.

Les sources non-renouvelables d'énergie ont des valeurs d'énergie nette en décroissance constante depuis le début de leur exploitation. Dans le cas du pétrole, par exemple, cette valeur était d'environ 100 dans les années 1930. C'est sur cette base que s'est édifiée la société dans laquelle nous vivons, c'est-à-dire une société qui libère 97 à 99% de ses citoyens de la tâche de produire de l'énergie endosomatique (agriculture, chasse-cueillette).

Dans les années 1970, l'énergie nette du pétrole est passée à environ 40. Aujourd'hui, pour le pétrole dit conventionnel, on estime que la valeur d'énergie nette se situe maintenant entre 15 et 20. Quant aux sables bitumineux, considérés par certains comme une source de remplacement du pétrole conventionnel, leur valeur d'énergie nette est évaluée entre 1 et 2. Cela veut dire que 35 à 50 % de l'énergie provenant des sables bitumineux doit retourner à l'extraction de ceux-ci. Leur énergie nette est si faible qu'il est fort improbable qu'une société industrialisée comme la nôtre ait pu voir le jour si elle avait dû se baser sur cette source.

Le gaz naturel a suivi les traces du pétrole, mais il est hypothéqué par son état gazeux qui rend difficile son transport sur de grandes distances hormis via les gazoducs. Le procédé de liquéfaction/transport/regazéification consomme de 15 à 30% de l'énergie d'origine¹⁴, diminuant ainsi la valeur de l'énergie nette du gaz naturel d'un facteur important. Pour une valeur moyenne de l'énergie nette du gaz naturel au terminal d'expédition de 10, cette valeur tombe entre 6 et 8 à l'entrée du gazoduc du pays consommateur.

Le charbon a suivi une trajectoire semblable, passant de 80 dans les années 1950 à 25 dans les années 1970.

L'extraction d'uranium a débuté d'abord pour les besoins militaires. L'énergie nette du nucléaire est plus difficile à calculer car elle dépend de ce qui est considéré dans les calculs. Il y a une grande variabilité des chiffres et certains, comme mentionné précédemment, vont même jusqu'à prétendre que l'énergie nette de la filière nucléaire est négative si l'on intègre l'énergie nécessaire à la sécurisation passée, présente et à venir de la production des déchets¹⁵.

¹⁴ J. David Hughes, *Natural Gas in North America: Should We be Worried?*, Geological Survey of Canada, World Oil Conference, ASPO – USA, Boston, Massachusetts, October 26, 2006
Darley, Julian, *High noon for natural gas: the new energy crisis*, Chelsea Green, 2004.

¹⁵ David Fleming, *The Lean Guide To Nuclear Energy : A Life-Cycle in Trouble*, The Lean Economy Connection, November 2007.

Classement des filières selon l'énergie nette

Notre territoire étant très pauvre en ressources énergétiques non-renouvelables, nous n'avons considéré que les sources que nous avons la possibilité de mettre en production et qui peuvent être renouvelables. Les sources les plus intéressantes du point de vue de l'énergie nette sont donc, par ordre d'importance :

- 1- **L'hydroélectricité** : La grande hydroélectricité avec réservoir a une énergie nette semblable à celle de l'hydroélectricité au fil de l'eau. De même, la petite hydroélectricité (mini, micro, pico), quoique qu'ayant une énergie nette plus faible que la grande, est très intéressante de ce point de vue (~30¹⁶).
- 2- **La biomasse forestière** : La cogénération à partir de la biomasse forestière peut être intéressante en autant que l'utilisateur soit d'abord un consommateur de chaleur et non principalement d'électricité. Cette dernière peut toutefois être un sous-produit de la production de chaleur. L'inverse, électricité d'abord/chaleur ensuite, occasionne des rendements relativement faibles : les pertes d'énergie sont très importantes, pouvant parfois atteindre 65% et plus. La meilleure utilisation de cette filière demeure donc la production directe de chaleur pour le chauffage des bâtiments. Au Québec, une importante quantité d'électricité pourrait être déplacée vers des utilisations plus productives, comme le transport électrifié ou, à la limite, l'exportation, en utilisant la biomasse forestière comme source de chauffage des bâtiments. Pour ce faire, doivent être considérés non seulement les résidus forestiers, mais aussi les arbres inutilisés par l'industrie forestière (feuillus, bois mort, bois brûlé, bois de petites dimensions...) ainsi que la biomasse forestière provenant des forêts de proximité.
- 3- **Le solaire thermique** : Les meilleures valeurs de l'énergie nette de ce type de source s'appliquent au solaire passif. Les coûts énergétiques pour intégrer les éléments solaires dans une construction neuve ou au moment d'une rénovation sont souvent très faibles et parfois même inexistantes (le cas du SolarWall^{MD} est particulièrement intéressant dans le secteur industriel car il s'agit simplement de choisir un revêtement extérieur semblable au point de vue du contenu énergétique à un revêtement classique en métal, mais ayant des propriétés de production d'énergie solaire passive). Un autre exemple est l'orientation des rues et des constructions en fonction du solaire, qui peut diminuer la consommation d'énergie pour le chauffage de 10% à 20%, et ce, uniquement en tenant compte de l'orientation sud des grandes surfaces des constructions¹⁷. Dans une moindre mesure, du point de vue de l'énergie nette, la production d'eau chaude à partir de l'énergie solaire peut être intéressante, à des degrés variables selon les applications (résidentielle,

¹⁶ Ugo Bardi, Il conto in banca dell'energia : il ritorno energetico sull'investimento energetico (EROEI), ASPO-Italia, Février 2005.

David Elliot, A Sustainable Future, in «Before the wells run dry», FEASTA 2003.

¹⁷ Turn to Solar for Lower Heating Costs, Energy Source Builder #42, Iris Communications, December 1995.

commerciale, industrielle...). Il faut noter aussi que cette source est intermittente et ne peut constituer une source de base mais un complément pour réaliser des économies sur la source de base utilisée.

- 4- **L'éolien** : En gros, la valeur de l'énergie nette change en fonction de la dimension de l'éolienne : plus l'éolienne est petite, plus son énergie nette est faible pour un même site. Bien entendu, le fait qu'une grande éolienne soit plus haute (où la vitesse du vent est supérieure et plus constante) qu'une petite participe fortement à la rentabilité énergétique des plus grandes éoliennes. Toutefois, dans les sites où le vent est suffisant, les éoliennes de petite dimension peuvent avoir une valeur d'énergie nette suffisante pour être intéressante. Cette source est intermittente et ne peut fournir une énergie constante que si on y accouple une forme de stockage quelconque (batteries, hydrogène, réservoirs d'eau...).
- 5- **Le photovoltaïque** : L'énergie nette de ce type de production, malgré une valeur plus basse que les sources précédentes, demeure intéressante surtout dans les applications éloignées. Les installations sur des bâtiments existants ont une valeur d'énergie nette supérieure aux installations directement au sol car elles nécessitent moins de support (béton, métaux). Cette source, comme l'éolien, nécessite, en raison de son intermittence, une forme de stockage quelconque pour servir de source principale, ce qui influe sur l'évaluation de l'énergie nette lorsque cela est requis.
- 6- **Autres** : La géothermie (extraction de la chaleur du sol principalement pour le chauffage et la climatisation des bâtiments) ainsi que le biogaz (fermentation de matières putrescibles) ont des valeurs d'énergie nette assez basses en moyenne. La variabilité de la qualité des sources de géothermie ou la distance de transport des sources de matières putrescibles sont des variables qui influencent grandement la valeur de l'énergie nette de ces sources. Toutefois, selon les applications et leurs localisations, ces valeurs peuvent être suffisamment élevées pour justifier leur utilisation de façon assez importante. La géothermie est habituellement un complément à l'utilisation d'une autre source comme l'électricité ou le gaz naturel. Le biodiesel et l'éthanol semblent n'être actuellement que du «blanchiment» de pétrole, mais en tant que carburants liquides, ils pourraient malgré tout avoir certaines applications particulières (machinerie agricole ou forestière, par exemple). Cela à condition que l'énergie (incluse dans les fertilisants, pesticides et carburants) permettant la production de ces carburants ne provienne pas de sources non-renouvelables. Il est clair toutefois que la généralisation de ces carburants engendre de nombreux problèmes non-résolus (compétition pour les sols arables, augmentation des prix de la nourriture, accélération de la perte des éléments fertilisants...) ¹⁸. Il existe

¹⁸ 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.

aussi d'autres sources d'énergie (marémotrice, courants marins, gradient thermique des océans...) qui pourraient avoir des valeurs d'énergie nette intéressantes, mais les données concernant celles-ci sont actuellement insuffisantes.

Un outil de discrimination des sources d'énergie

L'importance de l'évaluation de l'énergie nette est telle qu'elle peut nous amener à changer complètement notre perception des solutions au plan des approvisionnements énergétiques et des changements climatiques. Sur ce point, des recherches plus approfondies devraient être réalisées quant à certaines «solutions» qui ne sont peut-être que des miroirs aux alouettes. Voici quelques exemples de filières qui devraient être scrupuleusement étudiées quant à leur rendement énergétique:

- 1- **Schistes bitumineux ou asphaltiques** : La valeur de l'énergie nette des schistes bitumineux ou asphaltiques, dont les réserves gigantesques sont perçues comme un remplacement au pétrole conventionnel tout comme les sables bitumineux, est fort probablement négative¹⁹.
- 2- **Gaz naturel liquéfié** : L'effet de la liquéfaction du gaz naturel sur la valeur de l'énergie nette semble à première vue diminuer cette dernière de près de 40%²⁰.
- 3- **Fission nucléaire** : La gestion à long terme des déchets passés, actuels et futurs de l'industrie nucléaire doit être incluse dans les évaluations de l'énergie nette de cette filière. Certains estiment que cette industrie est négative du point de vue énergétique lorsque l'on inclut la gestion de ces déchets. De plus, la génération d'électricité nucléaire est fortement dépendante des sources fossiles d'énergie, principalement le pétrole (extraction, transport, etc.). Une évaluation de l'énergie nette serait d'ailleurs essentielle pour prendre une décision éclairée sur la réfection ou non de la centrale nucléaire de Gentilly-2. Deux questions doivent trouver réponses.

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.

¹⁹ C.J.Campbell The Availability of Non-Conventional Oil and Gas, ASPO-Ireland, for the Office of Science and Innovation, Department of Trade and Industry, London, May 2006.

²⁰ J. David Hughes, Natural Gas in North America: Should We be Worried?, Geological Survey of Canada, World Oil Conference, ASPO – USA, Boston, Massachusetts, October 26, 2006
Hughes

- a. Considérant la dépendance au pétrole de cette industrie et l'arrivée prochaine du pic pétrolier, comment ferons-nous pour gérer les déchets de cette filière dans l'avenir?
 - b. Combien cette gestion de l'ensemble des déchets de l'industrie nucléaire va-t-elle coûter, avec les hausses conséquentes du prix de l'énergie?
- 4- **Charbon** : L'évaluation de l'énergie nette de cette filière doit tenir compte de l'installation de systèmes de séquestration de carbone dans les futures centrales thermiques au charbon. Certaines études indiquent que ces centrales «vertes» au charbon nécessiteront une hausse de la consommation de charbon de l'ordre de 21 à 91%²¹ et une diminution de l'énergie nette de 16% à 61%²². La séquestration de carbone de cette façon est-elle une solution ou va-t-elle aggraver le problème?

²¹ Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L.A. Meyer , IPCC special report on Carbon Dioxide Capture and Storage, prepared by working group III of the IPCC, Cambridge, University Press, 2005.

²² WAKU H. ; TAMURA I. ; INOUE M. ; AKAI M. Life cycle analysis of fossil power plant with CO[2] recovery and sequestering system, Energy conversion and management , 1995, vol. 36, n° 6-9 (3 ref.), pp. 877-880

Conclusion

L'énergie ne provient pas du néant. Cela semble évident à première vue mais les implications de ce principe le sont moins : produire de l'énergie implique non seulement d'avoir la disponibilité de sources potentielles d'énergie, mais aussi la disponibilité d'énergie déjà utilisable rendant possible l'extraction d'énergie de ces sources potentielles. Il est donc nécessaire, pour connaître l'énergie réellement utile qui sera extraite de ces sources, d'évaluer le rendement sur l'investissement énergétique et l'énergie nette de celles-ci.

Brièvement, voici donc les quelques points importants à retenir concernant la question de la production d'énergie nette au Québec et dans la région du Saguenay—Lac-Saint-Jean :

- 1- **Les évaluations de la production d'énergie nette d'une même source d'énergie peuvent varier grandement.** La précision des résultats dépend grandement du contexte d'utilisation de cette source.
- 2- **L'utilisation des seuls facteurs économiques pour évaluer une filière énergétique peut mener à un cul-de-sac énergétique,** comme dans le cas des schistes bitumineux.
- 3- L'utilisation **d'une méthode comptabilisant l'énergie nécessaire à l'extraction d'énergie est fondamentale et devrait être obligatoirement utilisée lors d'une planification énergétique à long terme.** Sans cela, nous risquons de mettre des efforts importants dans des sources ayant un potentiel énergétique très limité ou même inexistant. Le cas de l'éthanol à base de maïs en est un exemple patent, mais il en existe sans doute d'autres comme la séquestration du carbone provenant des centrales thermiques au charbon ou la génération d'électricité nucléaire.
- 4- La devise de « **la bonne énergie à la bonne place** » s'avère aussi juste dans le cas de la recherche de la plus grande valeur d'énergie nette à l'échelle d'un territoire donné. **Les choix de consommation d'énergie, et non seulement la façon de produire celle-ci, influence grandement la production d'énergie nette.** Dans un tel contexte, les sources de chaleur à basse température, comme le bois ou le solaire thermique, doivent servir en priorité à l'utilisation directe de chaleur comme le chauffage des bâtiments, plutôt qu'à la production d'électricité. La cogénération est intéressante, selon le point de vue de l'énergie nette, uniquement lorsque l'usage principal est la chaleur et que l'électricité en est un « sous-produit ». En contrepartie, l'électricité devrait d'abord servir aux équipements nécessitant absolument cette forme d'énergie plutôt qu'à la production de chaleur à basse température. Par exemple, la ressource forestière en tant que source d'énergie dédiée au chauffage des bâtiments, et tel que cela se

fait abondamment en Europe²³, pourrait permettre d'opérer un déplacement de l'électricité vers l'électrification du transport afin de réduire notre dépendance au pétrole et au gaz naturel ce qui, du même coup, améliorerait notre balance commerciale et notre bilan d'émission de gaz à effet de serre.

- 5- En général, **plus l'énergie nette produite d'une même source est importante, moins celle-ci génère de gaz à effet de serre en proportion de l'énergie produite.**

- 6- Du point de vue de l'énergie nette produite, **les sources d'énergie les plus intéressantes pour le Québec sont, par ordre d'importance : l'hydroélectricité, la biomasse forestière, le solaire thermique (passif principalement), l'éolien, le solaire photovoltaïque, la géothermie et le biogaz.** Les autres sources potentielles sont soit négatives du point de vue de l'énergie nette, soit très limitées dans leurs applications; ou l'on ne dispose pas des informations nécessaires pour en juger. Cependant, certaines d'entre elles pourraient néanmoins s'avérer intéressantes pour certaines applications bien précises.

²³ Il existe actuellement de nombreuses technologies de transformations thermiques du bois (combustion, gaséification, pyrolyse...) émettant très peu de polluants. Ces transformations ne contribuent pas aux changements climatiques si la ressource est bien gérée, l'arbre captant autant de CO₂ durant sa vie qu'il en réémet lors de ces transformations.

ANNEXE 4

Rapport #4 sur l'énergétique régionale :

État et perspectives énergétiques mondiale et québécoise



État et perspectives énergétiques mondiale et québécoise

Réalisé par

Patrick Déry, B.Sc, M.Sc.
Physicien, spécialiste en énergétique,
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



Secrétariat
à la jeunesse

Québec 

Sommaire

Sommaire	2
Liste des tableaux et figures	3
Liste des graphiques	4
Note	5
Remerciements	5
Avertissement	5
Présentation des organisations	6
Introduction	7
Les sources primaires d'énergie au Québec	8
Les sources non-renouvelables	12
Pétrole.....	12
Gaz naturel	18
Charbon	20
Uranium	22
Les sources renouvelables	24
Hydroélectricité	24
Biomasse	28
Autres filières.....	36
Solaire	36
Éolien	38
Géothermie	41
Marémotrice.....	42
Apports de sources décentralisées	42
Les perspectives de l'énergétique au Québec	44
Les scénarios de demande en énergie	45
Les scénarios de production	48
Scénario Référence.....	49
Scénario Minimum	51
Scénario Maximum	53
Scénario Indépendance au pétrole 2030	55
Variante du scénario Indépendance pétrolière 2030.....	57
Les économies effectives d'énergie des scénarios	59
Les émissions de gaz à effet de serre des scénarios	60
Discussion	66
Le groupe «continuité»	66
Le groupe « Kyoto »	67
Vers une planification énergétique complète	69
Conclusion	70
Annexe : quelques pistes pour une planification énergétique	75
Concernant la consommation d'énergie.....	75
Concernant la production d'énergie	76

Liste des tableaux et figures

Tableau 1 : provenance des importations de pétrole du Québec (2005)	17
Tableau 2 : potentiel énergétique de la biomasse au Québec	34
Tableau 3 : perspectives futures des filières, scénario « Référence »	49
Tableau 4 : perspectives futures des filières, scénario « Minimum »	51
Tableau 5 : perspectives futures des filières, scénario « Maximum »	54
Tableau 6 : perspectives futures des filières, scénario « Indépendance pétrolière 2030 »	56
Tableau 7 : perspectives futures des filières, scénario « Variante IP 2030 »	57
Tableau 8 : émissions de GES par filière	61
Tableau 9 : caractéristiques des trois scénarios	68
Figure 1 : consommation d'énergie primaire au Québec par source (2005)	8
Figure 2 : potentiel moyen de production d'électricité solaire photovoltaïque (1983-1992)	37
Figure 3 : carte des gisements éoliens québécois	40
Figure 4 : carte des potentiels mondiaux de la géothermie électrique	41

Liste des graphiques

Graphique 1 : prix de l'énergie par source (Québec)	9
Graphique 2 : balance commerciale du secteur énergétique du Québec	10
Graphique 3 : Medium-Term Supply/Demand Growth.....	13
Graphique 4 : production pétrolière (tous liquides) disponible pour le Québec selon divers modèles	17
Graphique 5 : production de gaz naturel disponible pour le Québec...20	
Graphique 6 : production de charbon disponible pour le Québec.....	22
Graphique 7 : production de la centrale nucléaire Gentilly-2	24
Graphique 8 : hydroélectricité disponible pour le Québec	27
Graphique 9 : production de la biomasse forestière disponible pour le Québec	33
Graphique 10 : autres productions disponibles au Québec.....	44
Graphique 11 : projection du potentiel de réduction de l'intensité énergétique.....	46
Graphique 12 : perspectives de la consommation totale d'énergie du Québec	47
Graphique 13 : perspective énergétique « Référence »	50
Graphique 14 : perspective énergétique « Minimum ».....	52
Graphique 15 : perspective énergétique « Maximum ».....	54
Graphique 16 : perspective énergétique « Indépendance pétrolière 2030 »	56
Graphique 17 : perspective énergétique « Variante IP 2030 »	58
Graphique 18 : économie d'énergie effective par rapport à l'année 2005	59
Graphique 19 : émissions totales de GES provenant de la consommation énergétique québécoise.....	62
Graphique 20 : variations des émissions de GES québécoises par rapport à 1990 provenant de la consommation d'énergie	63
Graphique 21 : émissions de GES per capita par rapport la consommation énergétique québécoise.....	64

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 :

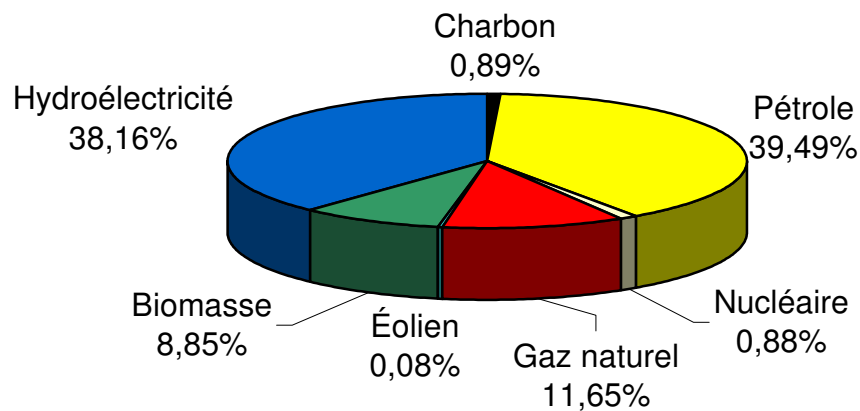
- 1- assurer un approvisionnement énergétique fiable et sécuritaire aux québécois;
- 2- réduire, d'ici 2030, les émissions de gaz à effet de serre en deçà des seuils per capita des puits de carbone mondiaux;
- 3- être réaliste quant aux possibilités de mise en œuvre tant au plan technique que financier.

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.

Figure 1

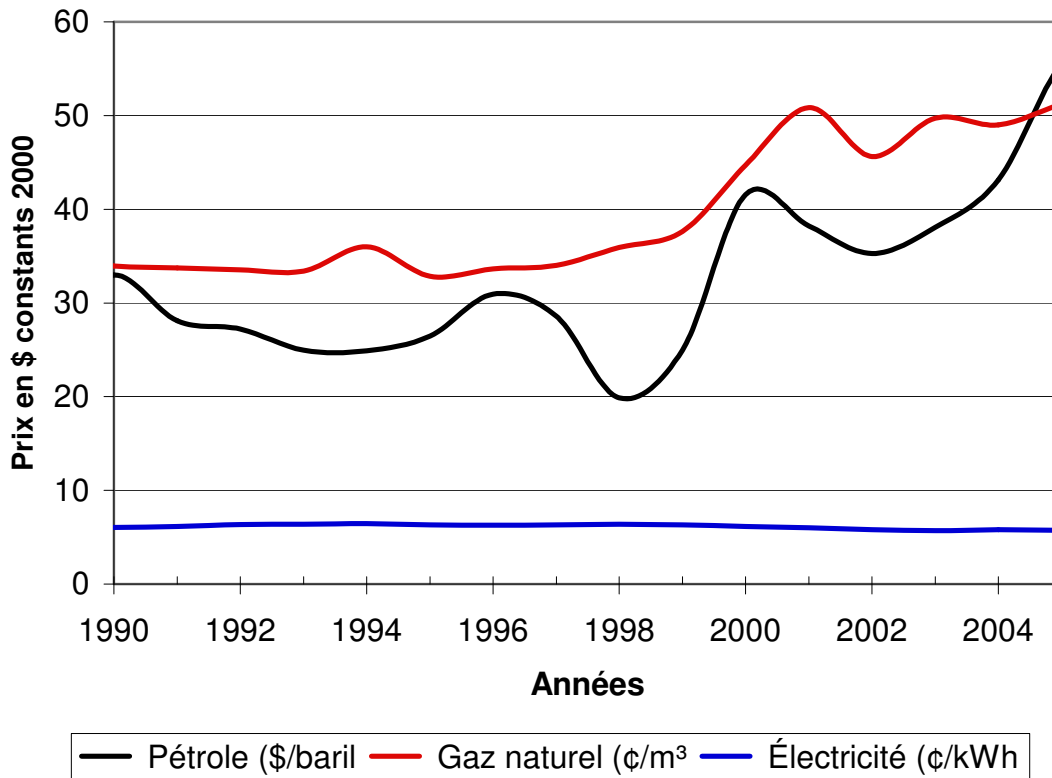
Consommation d'énergie primaire au Québec par source (2005)



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...)

Graphique 1

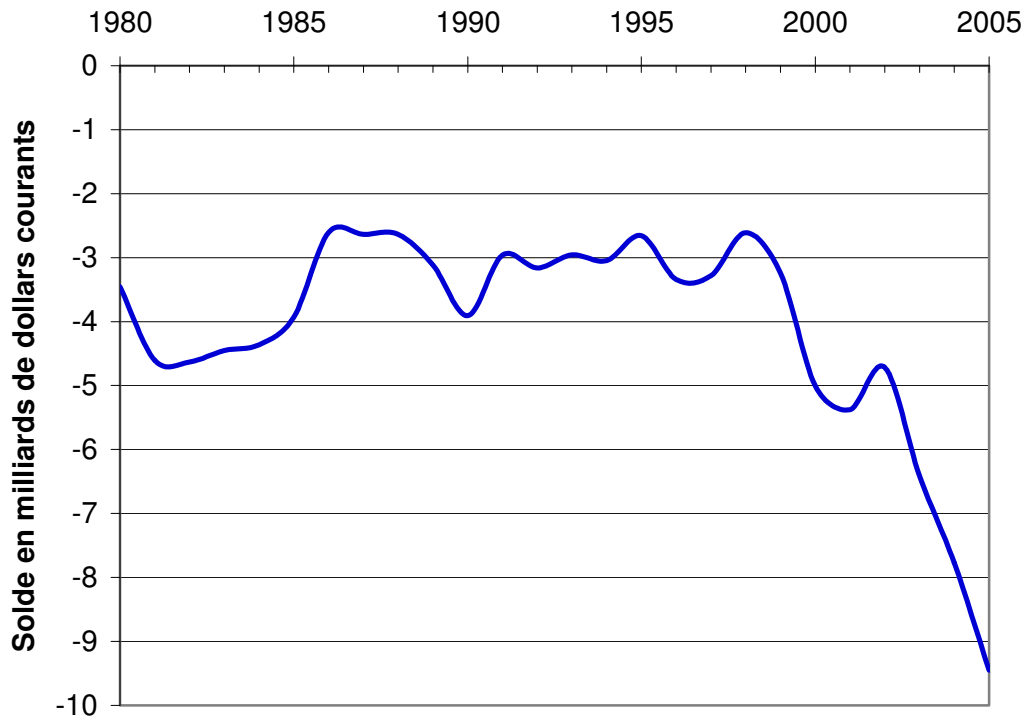
Prix de l'énergie par source (Québec)



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.

Graphique 2

**Balance commerciale
du secteur énergétique du Québec**



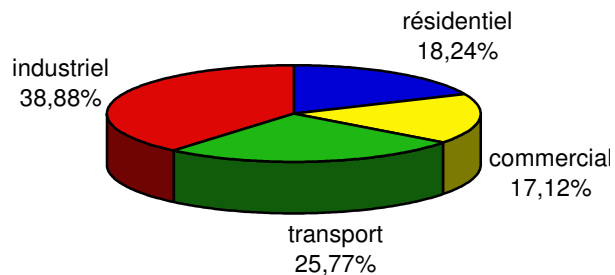
La hausse d'un dollar au prix moyen annuel du pétrole brut engendre une perte annuelle supplémentaire d'environ 160 millions de dollars à la balance commerciale du secteur énergétique québécois. Les hausses successives des prix du pétrole brut depuis 2005 ajouteront donc près de 8 milliards de pertes 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.

Figure 2

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.

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



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.

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 elles seules plus du tiers de la population mondiale, la demande en énergie, ainsi qu'en pétrole, a crû de façon très importante. Si bien

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

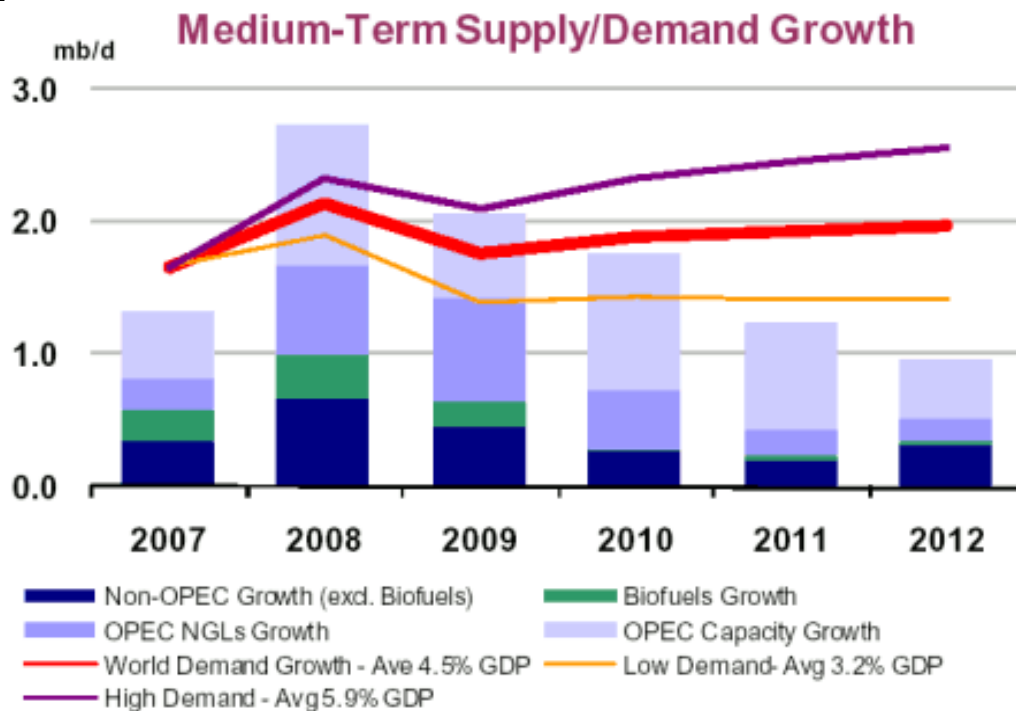
³ Colin Campbell, The Rimini Protocol : an Oil Depletion Protocol, presentation for Pio Manzu Conference, 2003.

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

qu'aujourd'hui l'écart entre la demande et les capacités de production s'est 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 3 ci-dessous; Agence internationale de l'énergie).

Graphique 3



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 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

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. 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.

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 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

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.

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 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.

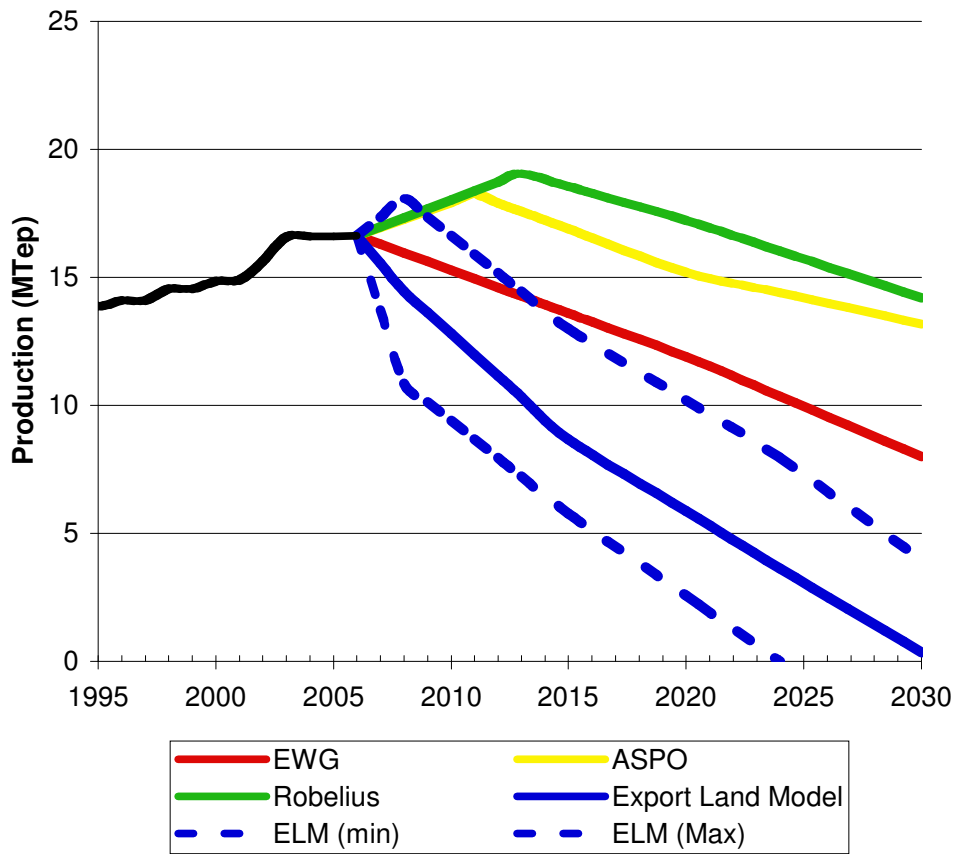
Dans le tableau 1 suivant, nous avons consigné la provenance du pétrole consommé au Québec. Il est à noter que tous les pays fournisseurs du Québec en 2005 ont une production de pétrole conventionnel en déclin. Les seuls pouvant compenser en partie ce déclin sont le Canada et le Vénézuéla avec leurs 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.

Tableau 1 : 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		

Graphique 4

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

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.

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 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.

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.

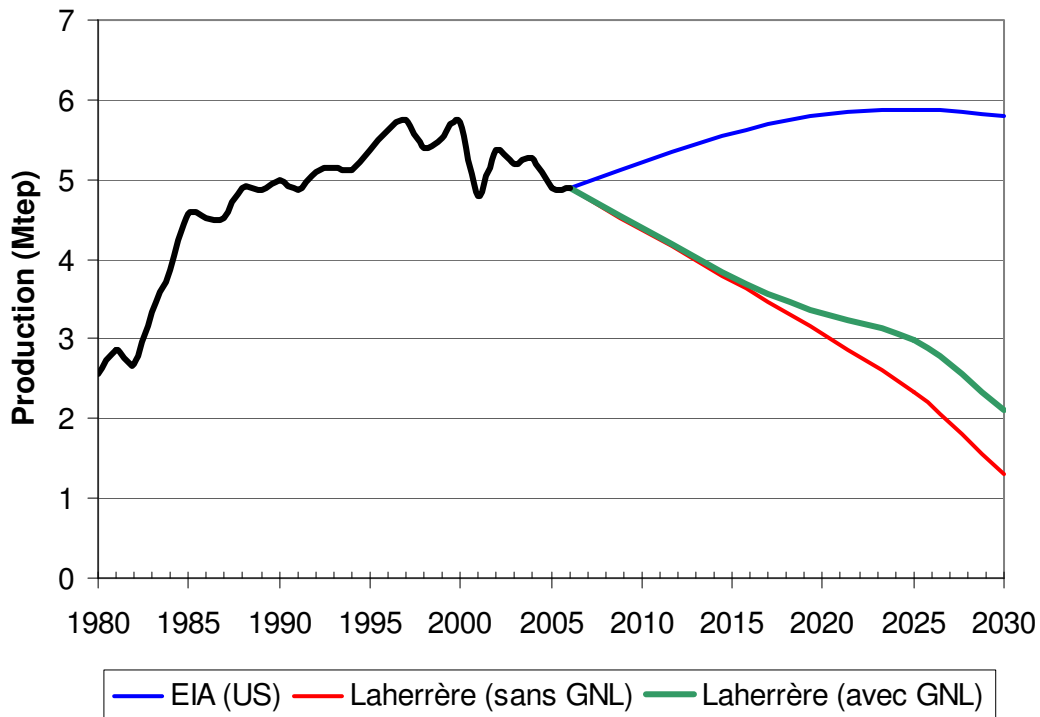
¹⁹ Géologue de Total à la retraite

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.

Graphique 5

**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.

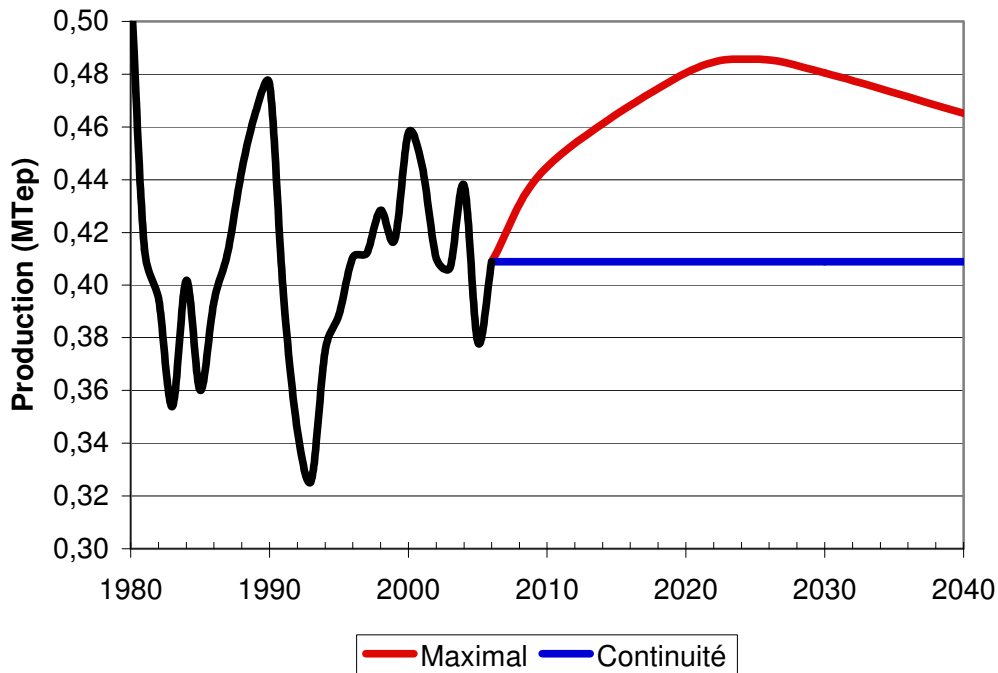
²¹ B. Kavalov, S.D. Peteves, The Future of Coal, DG JRC, Institute for Energy (European Commission, February 2007.

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.

Graphique 6

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.

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.

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

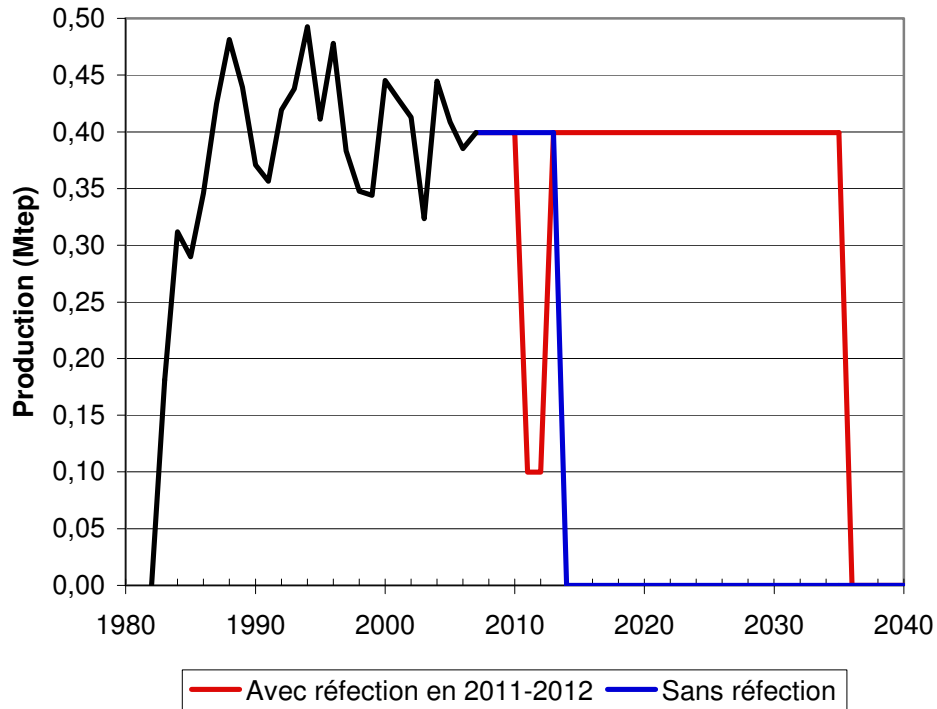
²⁷ Le Monde, Canada : les projets d'exploitation minière et de construction de centrales se multiplient, 25 mars 2008.

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.

Graphique 7 : production de la centrale nucléaire Gentilly-2

Production de la centrale nucléaire Gentilly-2



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'hydrolienne. 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.

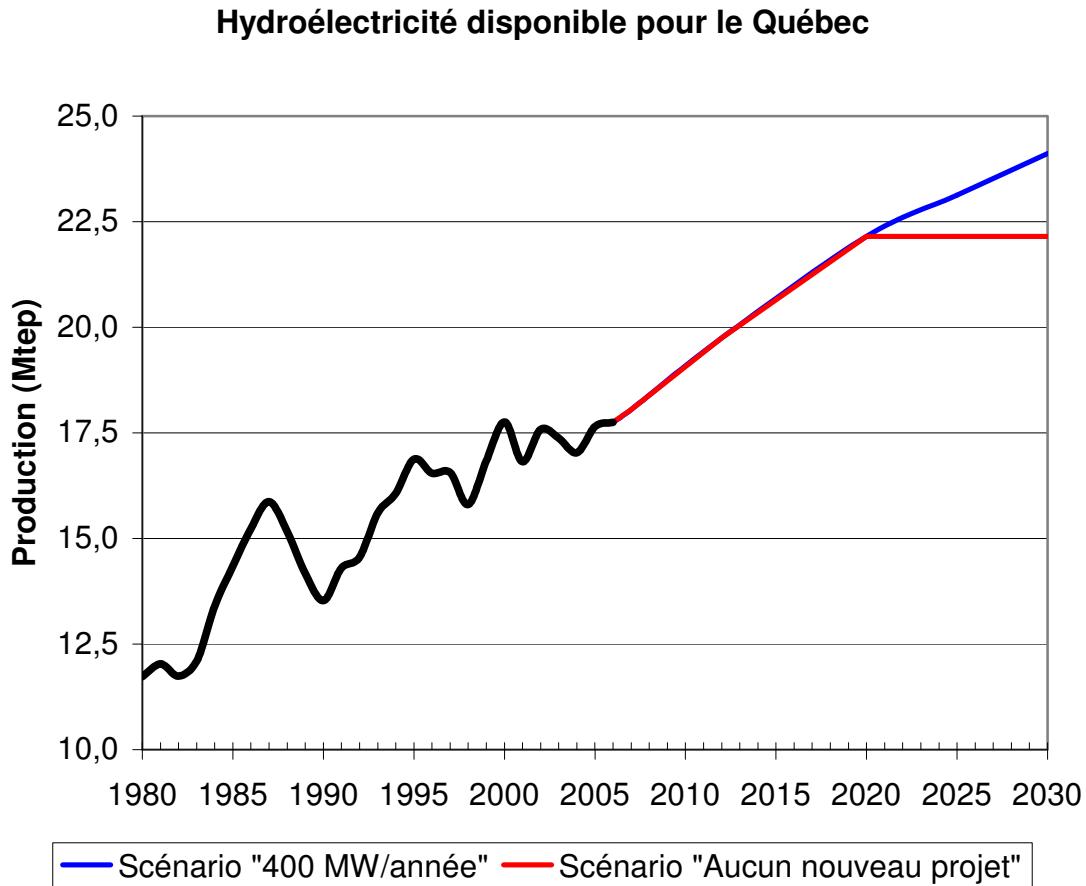
Pour les perspectives jusqu'en 2030 de la production hydroélectrique au Québec, nous avons considéré deux scénarios. Le premier étant le scénario de la continuité de l'installation de projets jusqu'en 2030 au rythme actuel d'environ 400 MW annuellement, donc 4000 MW de plus que les projets actuels ou 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.

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.

Graphique 8 : 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 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.

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.

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

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 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

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 : 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 brisées 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, carburant 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 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

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

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 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.

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.

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, 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

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

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

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.

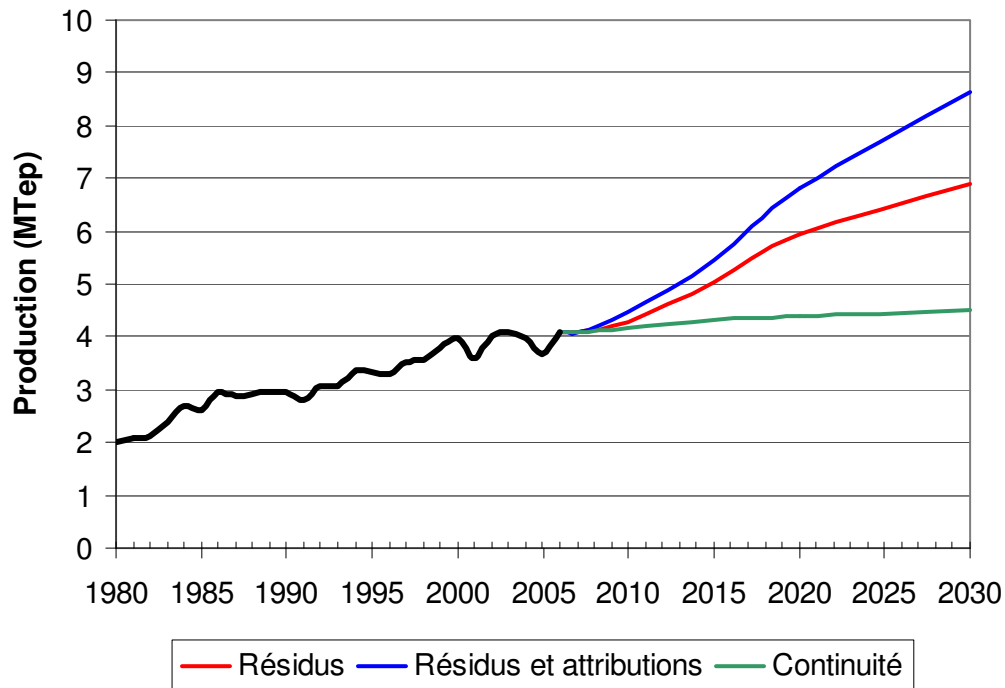
une étude comme celle-ci, être plutôt considérées comme des transformations industrielles et non comme des sources réelles d'énergie. Comptabiliser ce genre de transformation, sans considérer la question de l'énergie nette, revient souvent à compter deux fois la même énergie, soit l'énergie investie 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.

Graphique 9

**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 2 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.

Tableau 2 : potentiel énergétique de la biomasse au Québec

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 puisse 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.

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.

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

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.

Les forêts de proximité servant, quant à elles, principalement au chauffage des bâtiments et, de façon secondaire, à la production d'électricité⁴⁵.

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

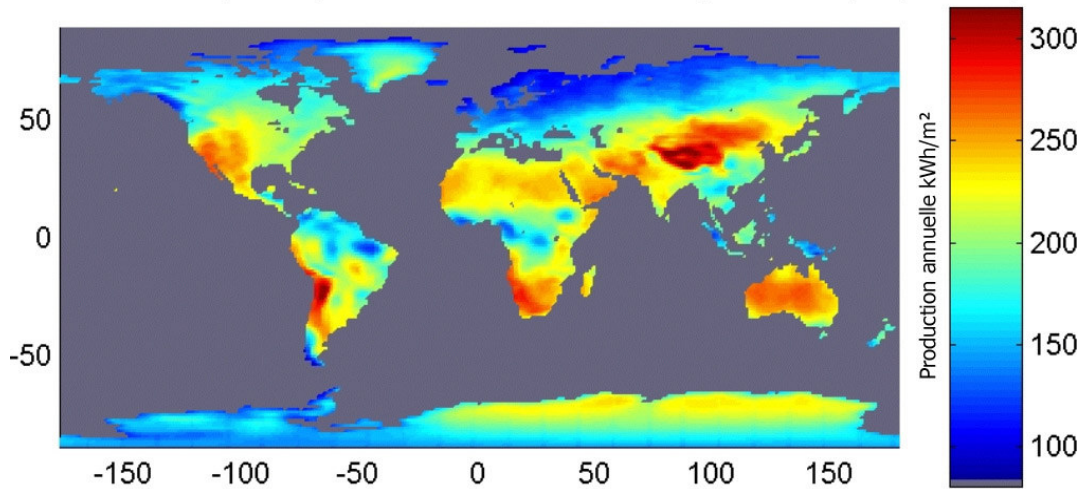
Le potentiel de l'énergie solaire au Québec est, contrairement à la croyance populaire, très important. En fait, il est plus important que dans la plupart des pays en avance en ce domaine, comme l'Allemagne, par exemple. La carte suivante (figure 2) nous donne le potentiel de la production solaire photovoltaïque (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.

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.

⁴⁶ Angle par rapport au sol

Figure 2

Potentiel moyen de production d'électricité solaire photovoltaïque (1983-92)



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

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.

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 celles qu'offre Hydro-Québec pour les installations d'équipements de géothermie.

Le scénario solaire envisagé (courbe sur le graphique 10 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 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

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.

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 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.

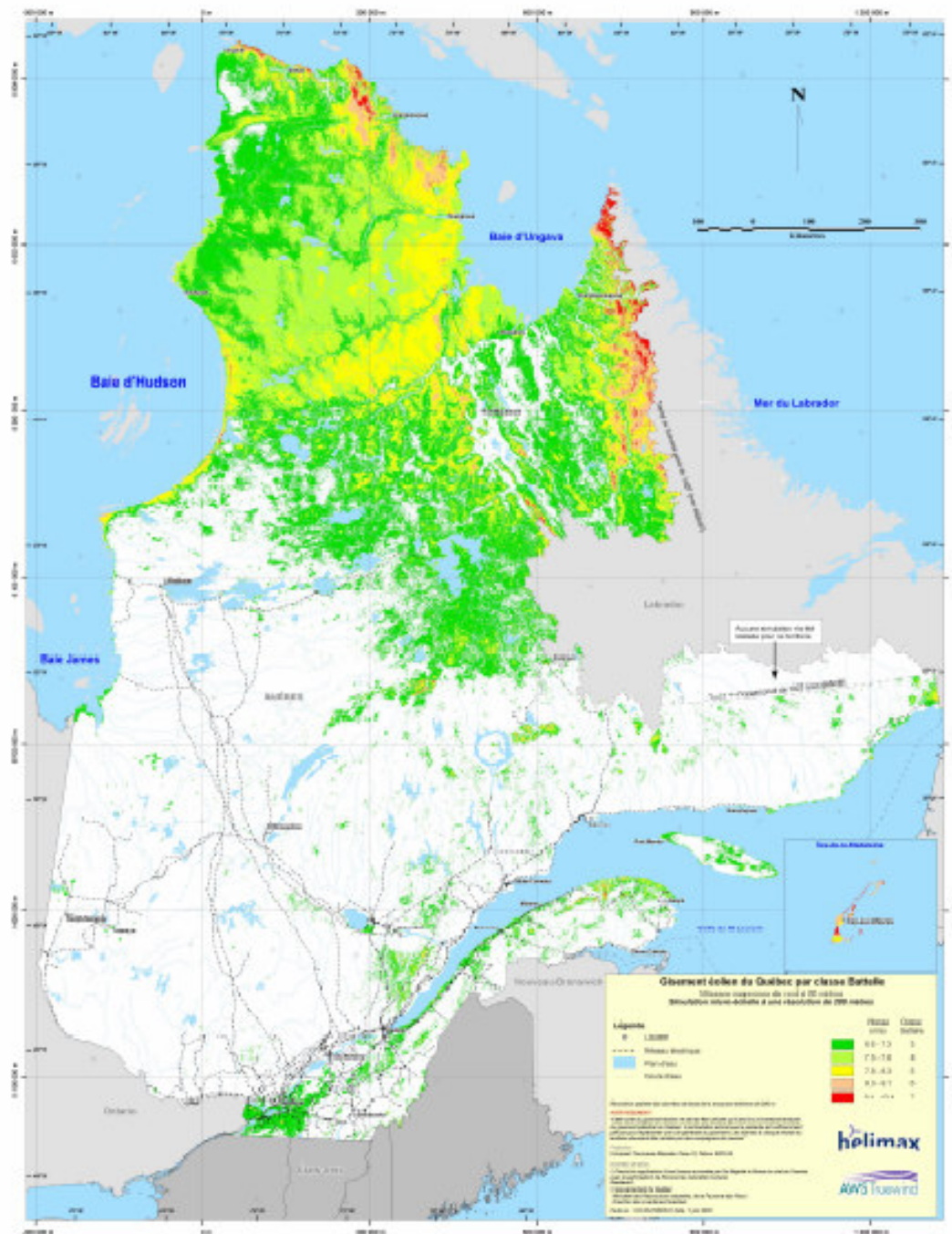
⁵⁴ Id.

⁵⁵ Hydro-Québec, site Internet

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

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

Figure 3 : carte des gisements éoliens québécois⁵⁷



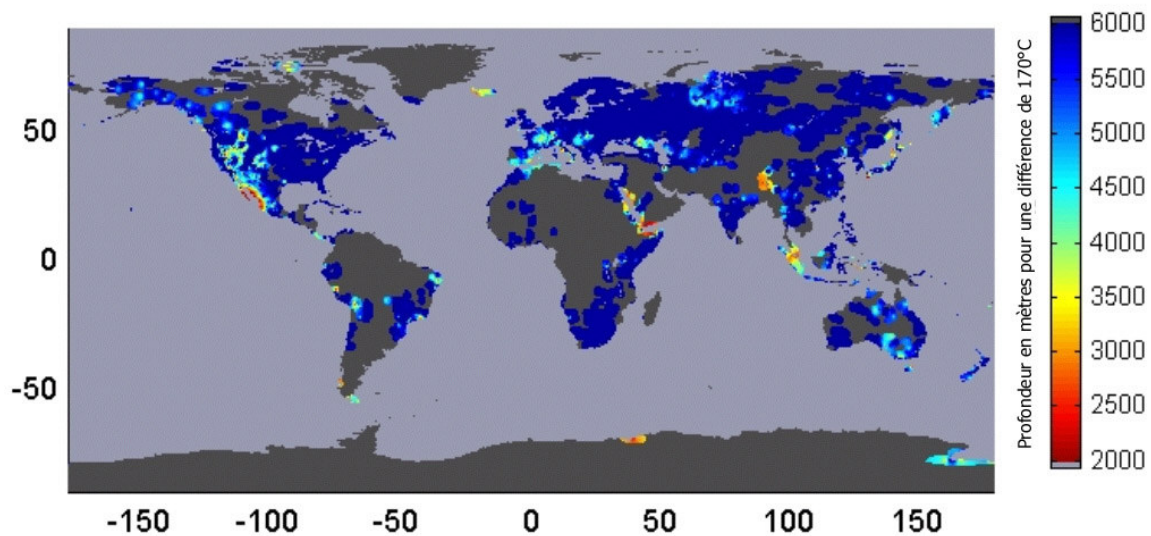
⁵⁷ www.mrnf.gouv.qc.ca

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 (figure 4).

Figure 4

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 inclus 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 Allemagne⁵⁸ ont d'ailleurs permis de

⁵⁸ Background Paper: The Combined Power Plant, et Technical summary of the Combined Power Plant, Renewable Energy Campaign Germany, www.kombikraftwerk.de

vérifier la possibilité de produire de l'électricité dite de base (baseload), à partir 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.

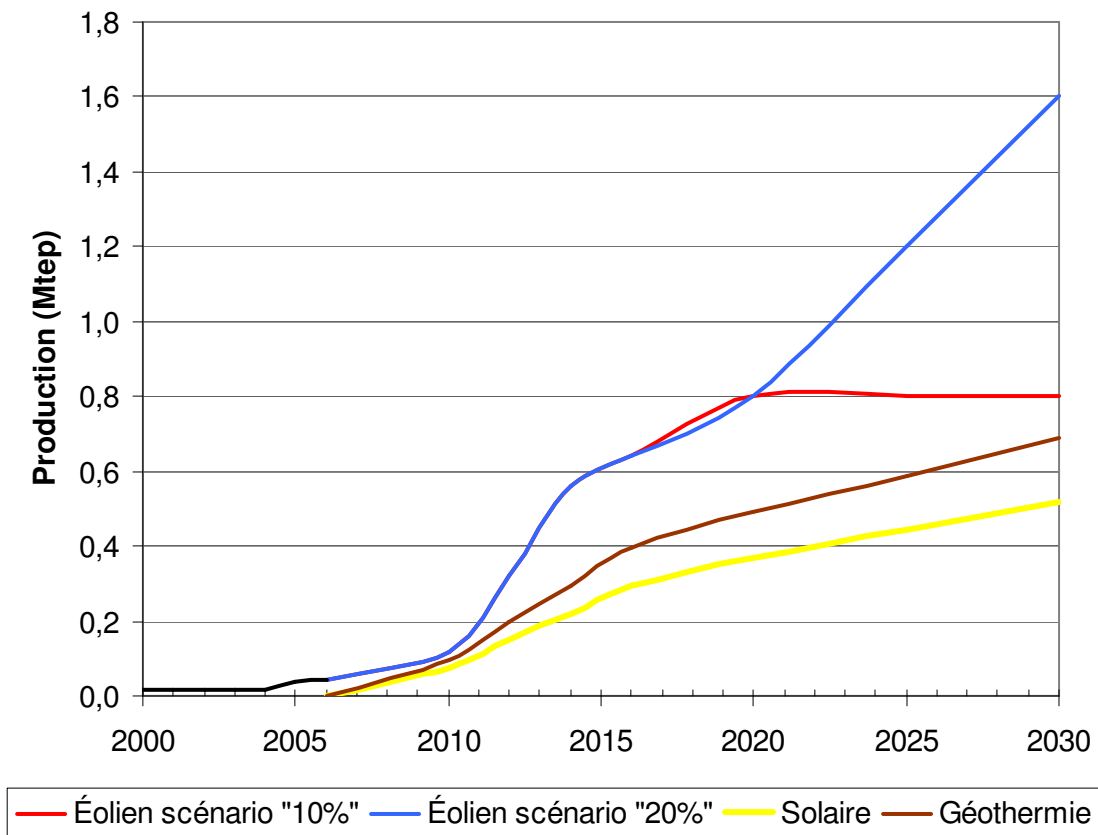
Les réseaux décentralisés, appelés micro-réseaux, ayant une certaine autonomie dans la gestion locale de la production et de la consommation, et souvent interconnectés aux grands réseaux électriques, à l'image d'Internet, sont aussi à l'étude et sous expérimentation en Europe et un peu partout sur la 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.

Graphique 10

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 fonctionnement⁵⁹, entraînant une croissance de la consommation d'énergie.

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'énergie⁶⁰.

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%

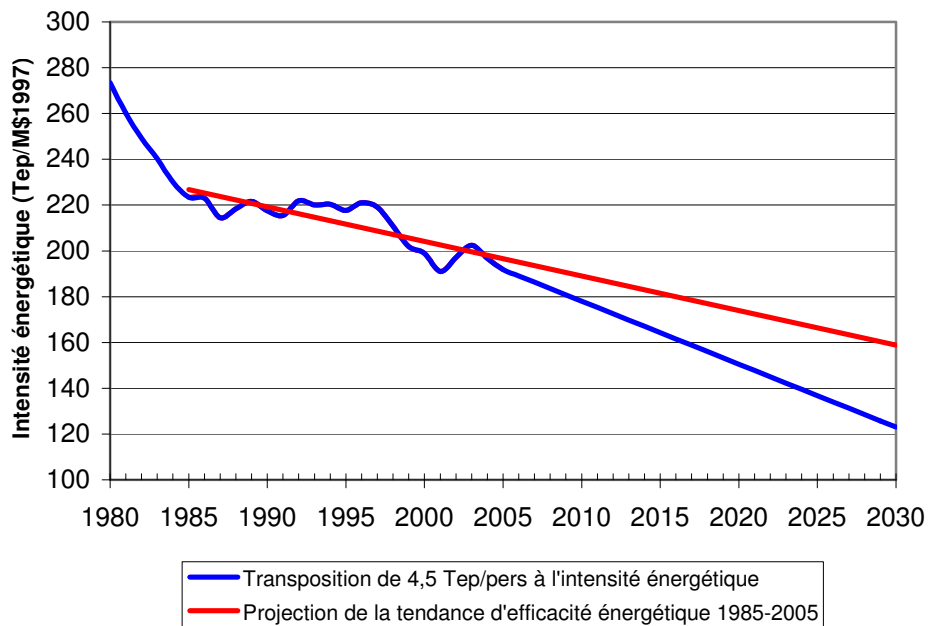
⁵⁹ Patrick Déry, *L'économie d'énergie dans un libre-marché est-elle illusoire?*, second volet du rapport sur l'énergétique régionale du Saguenay-Lac-St-Jean, Conseil régional de l'environnement et du développement durable et Groupe de recherches écologiques de La Baie, novembre 2007.
Jeff Rubin, *The Efficiency Paradox*, CIBC, november 2007.

⁶⁰ Idem

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 11 suivant.

Graphique 11

Projection du potentiel de réduction de l'intensité énergétique



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

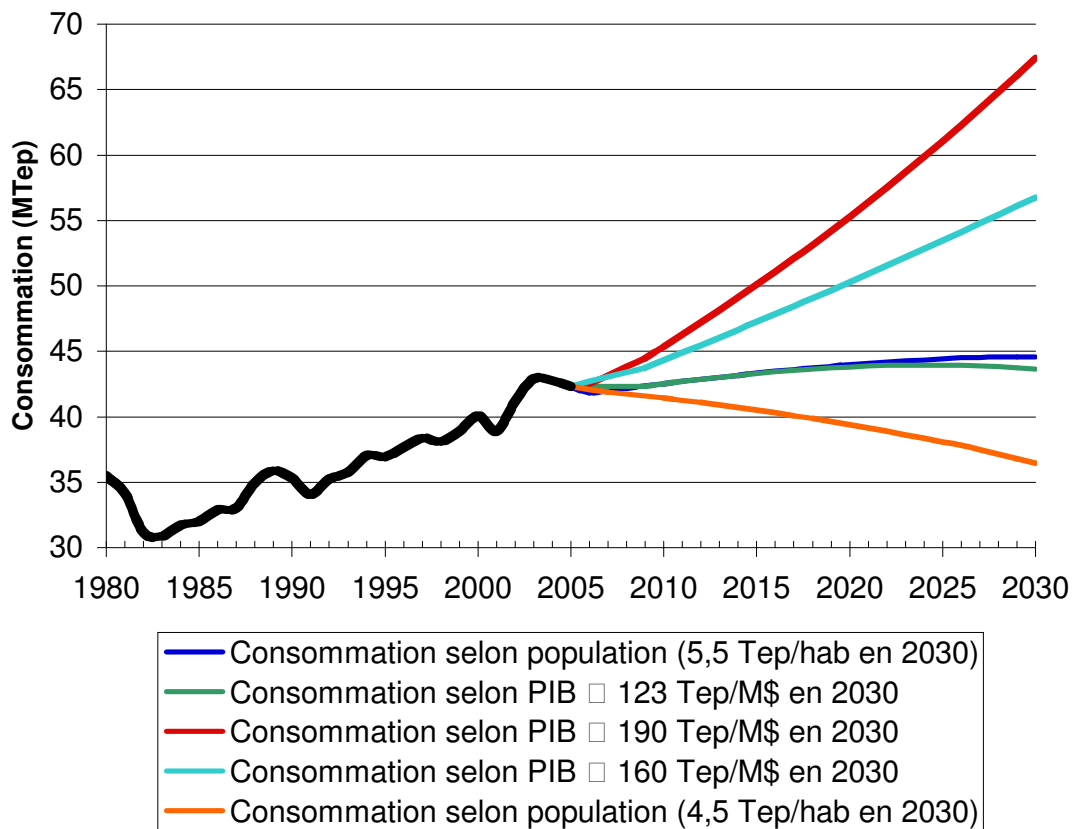
objectif de 160 Tep/M\$1997 paraît vraisemblable, surtout que ce taux est à peine supérieur à celui de plusieurs pays européens.

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).

Graphique 12

Perspectives de la consommation totale d'énergie au Québec



Sur le graphique 12 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 donnent 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 (graphiques 13, 14, 15, 16 et 17) 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 2011⁶¹. 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.

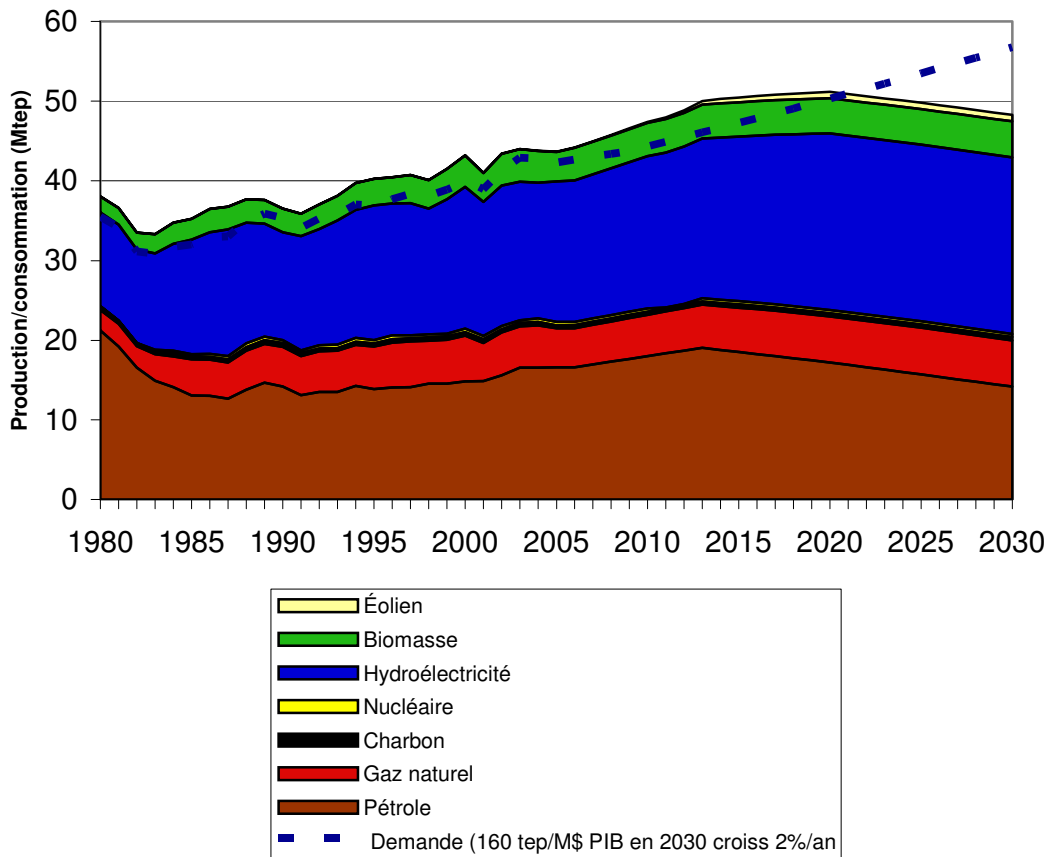
Tableau 3 : perspectives futures des filières, scénario « Référence »

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

⁶¹ Agence internationale de l'énergie, Medium Term Oil Market Report, July 2007.

Graphique 13

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

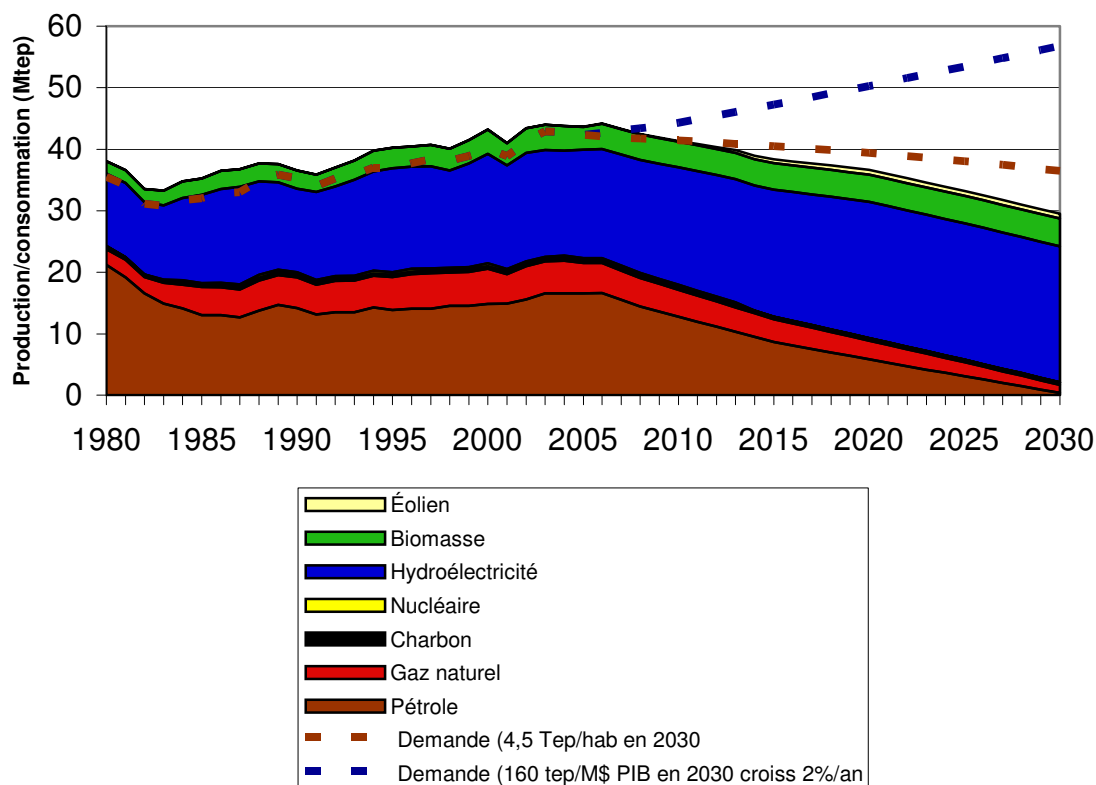
Ce scénario est une variante du scénario Référence. Les différences se situent sur des prédictions plus pessimistes de la production pétrolière et gazière ainsi que sur le choix de ne pas réaliser la réfection de la centrale de Gentilly-2 pour diverses raisons (environnementales, politiques, sanitaires...).

Tableau 4 : perspectives futures des filières, scénario « Minimum »

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

Graphique 14

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 sévère⁶². 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,

⁶² 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 Sud⁶³. 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 technologie⁶⁴. 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 records⁶⁵ 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 de 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.

⁶³ 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**.

⁶⁴ Edward Tapamor, Peak oil is here : enjoy!, Resource Invertor, March 28, 2008.

⁶⁵ 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.

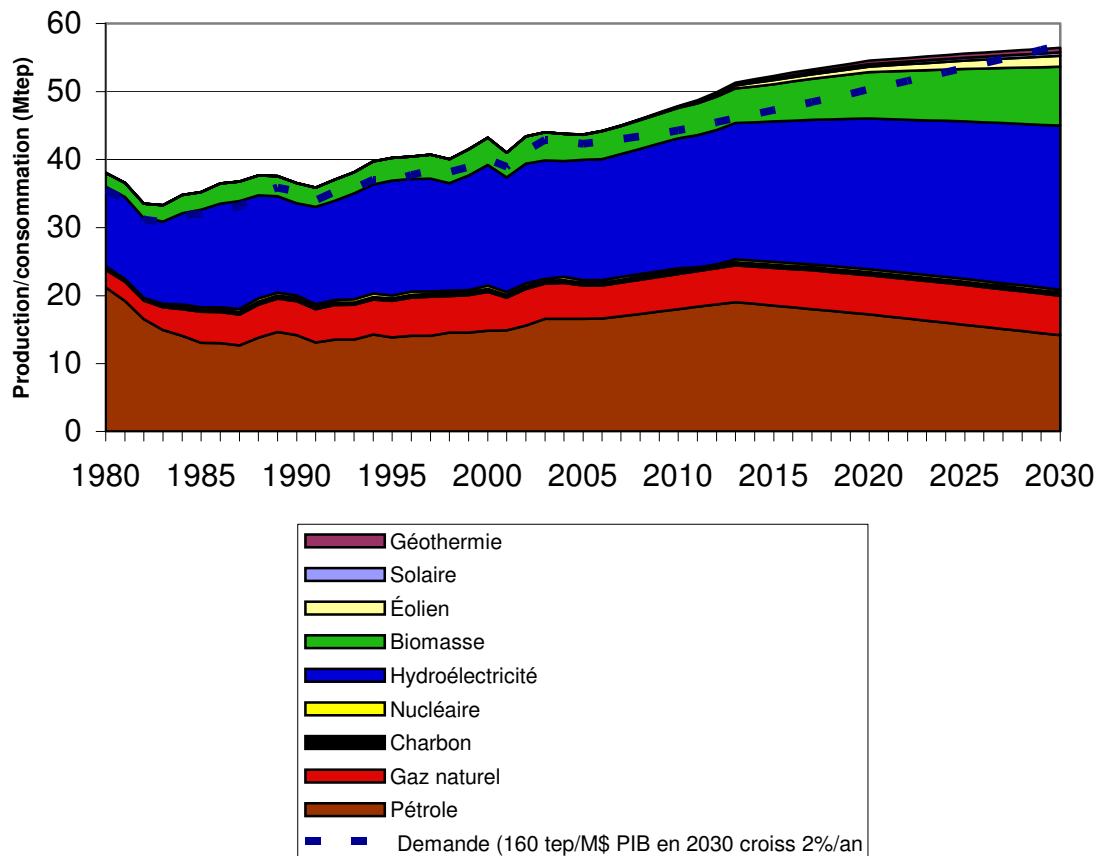
Kenneth Stier, Oil firm in "liquidation" says Peak Oil advocate, CNBC.com, 25 mars 2008.

Tableau 5 : perspectives futures des filières, scénario « Maximum »

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

Graphique 15

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 radioactifs⁶⁶.

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 de 2,1 Mtep. Elle serait 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.

⁶⁶ 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.

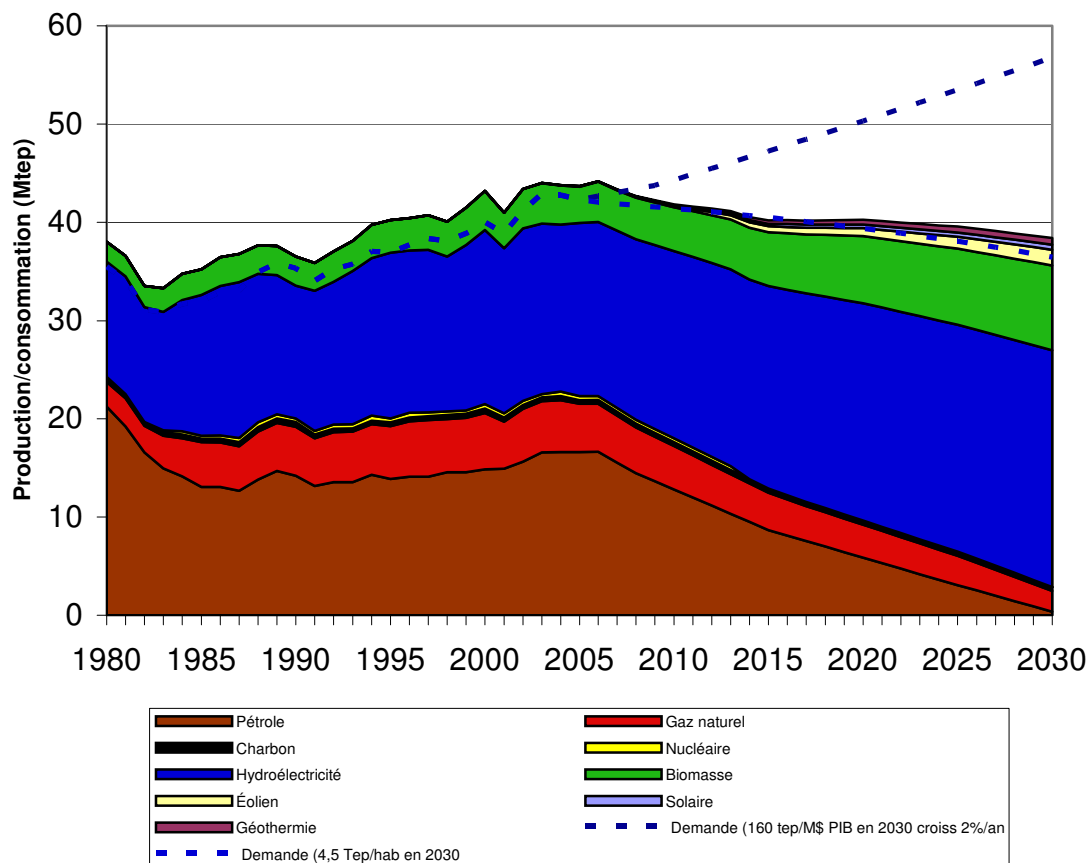
John Busby, Why nuclear power is not a sustainable source of low carbon energy, March 2008.

Tableau 6 : perspectives futures des filières, scénario « Indépendance pétrolière 2030 »

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

Graphique 16

**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

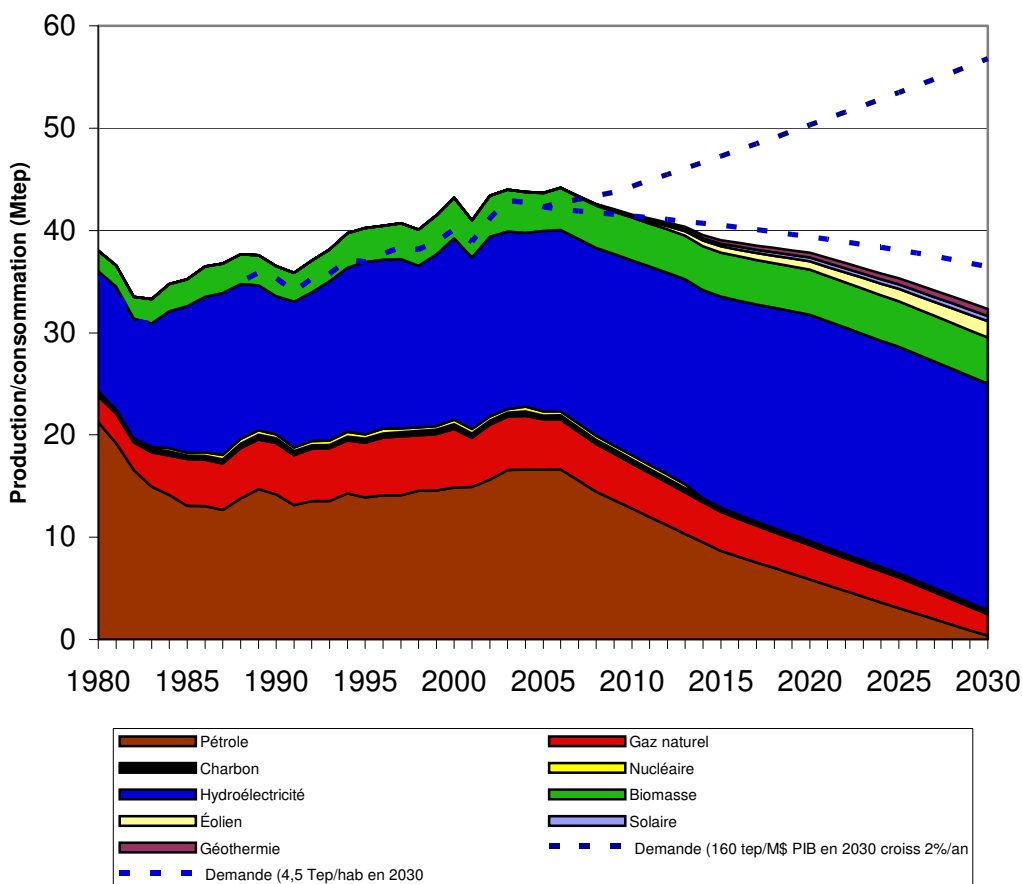
Cette variante du scénario précédent est celui d'un développement des sources perçues aujourd'hui comme étant plus écologiques (éolien, solaire, géothermie) et l'arrêt du développement de celles actuellement perçues au Québec comme néfastes à l'environnement (hydroélectricité et biomasse). La centrale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

Tableau 7 : perspectives futures des filières, scénario « Variante IP 2030 »

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

Graphique 17

**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.

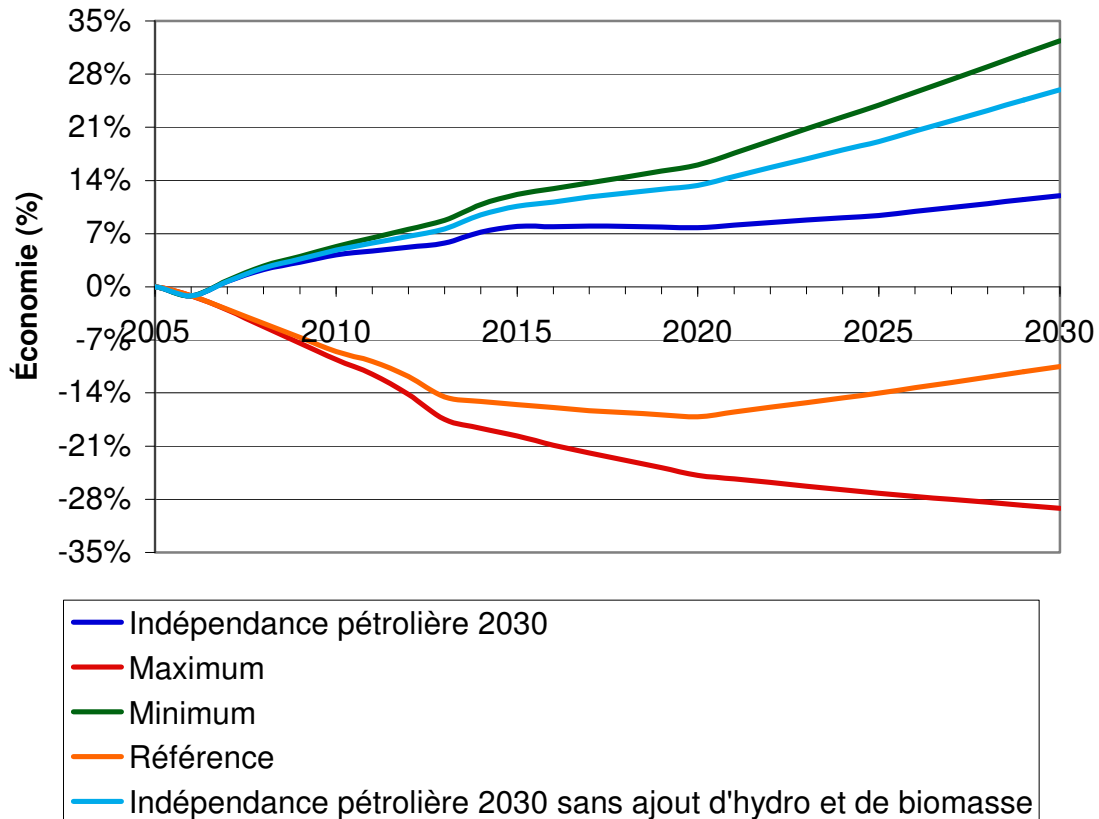
L'ajout de production supplémentaire à celle des scénarios modélisés provenant des sources nouvelles (géothermie, solaire, éolien) ne nous semble pas techniquement réaliste car l'histoire de ces filières et les informations dont nous disposons ne nous permettent pas de penser qu'elles pourraient se développer 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 délaissier 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 18 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, divisée par la production totale d'énergie en 2005.

Graphique 18

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 Québec⁶⁷.

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 pétrole⁶⁸.

⁶⁷ 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.

⁶⁸ 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.

Tableau 8 : émissions de GES par filière

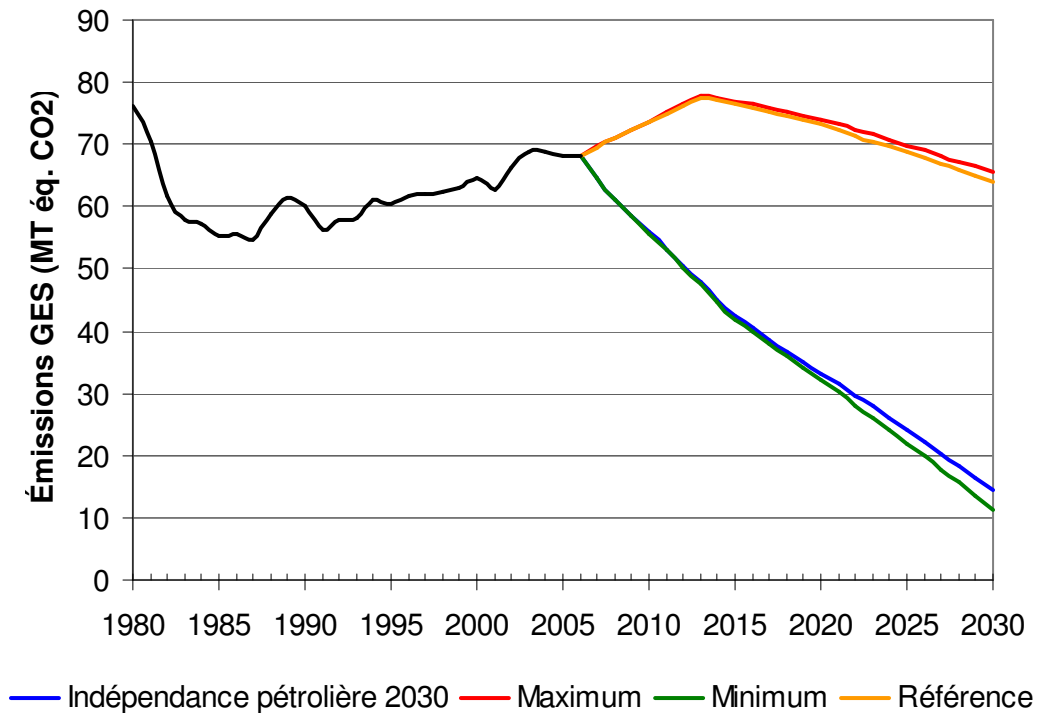
Filières	Émissions GES (MT éq.CO2/Mtep)
Hydroélectricité	0,2326
Éolienne	0,17445
Photovoltaïque	0,5815
Nucléaire	0,13956
Géothermie	0,1163
Biomasse forestière	0,12144
Pétrole	3,09883
Charbon	4,11642
Gaz naturel	2,12312
Solaire thermique	0,25126

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 19, 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.

Graphique 19

**Émissions totales de GES provenant
de la consommation énergétique québécoise**

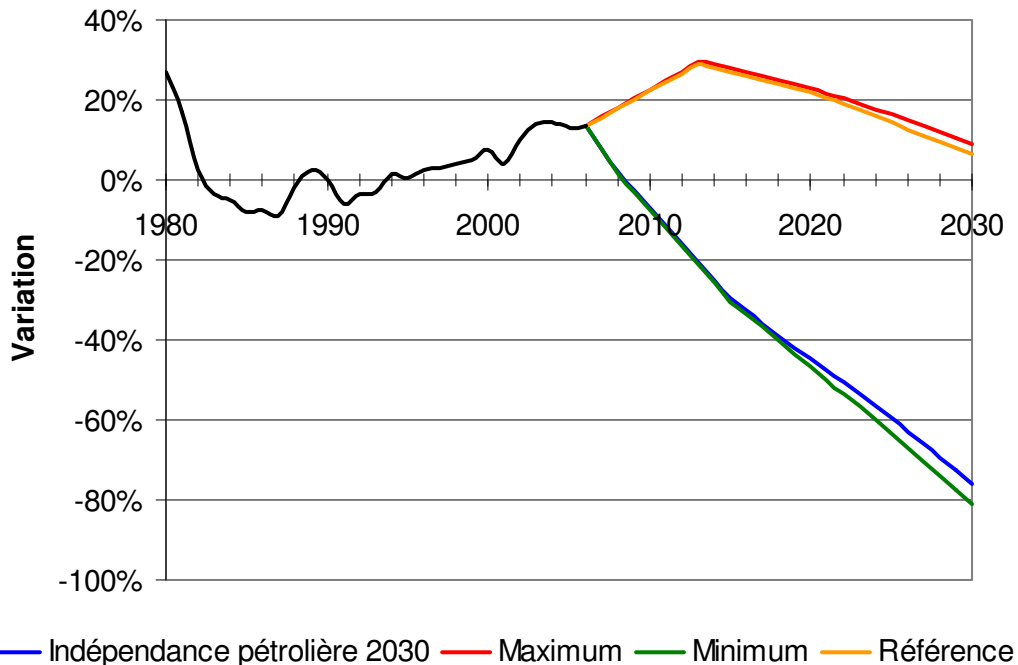


Les résultats que nous avons obtenus bifurquent en deux groupes distincts très semblables du point de vue des émissions de GES. Le premier groupe, celui que l'on nommera « continuité », et qui regroupe les scénarios Maximum et Référence, maintient des émissions de GES provenant de la consommation énergétique 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 éq. 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 20 suivant.

Graphique 20

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



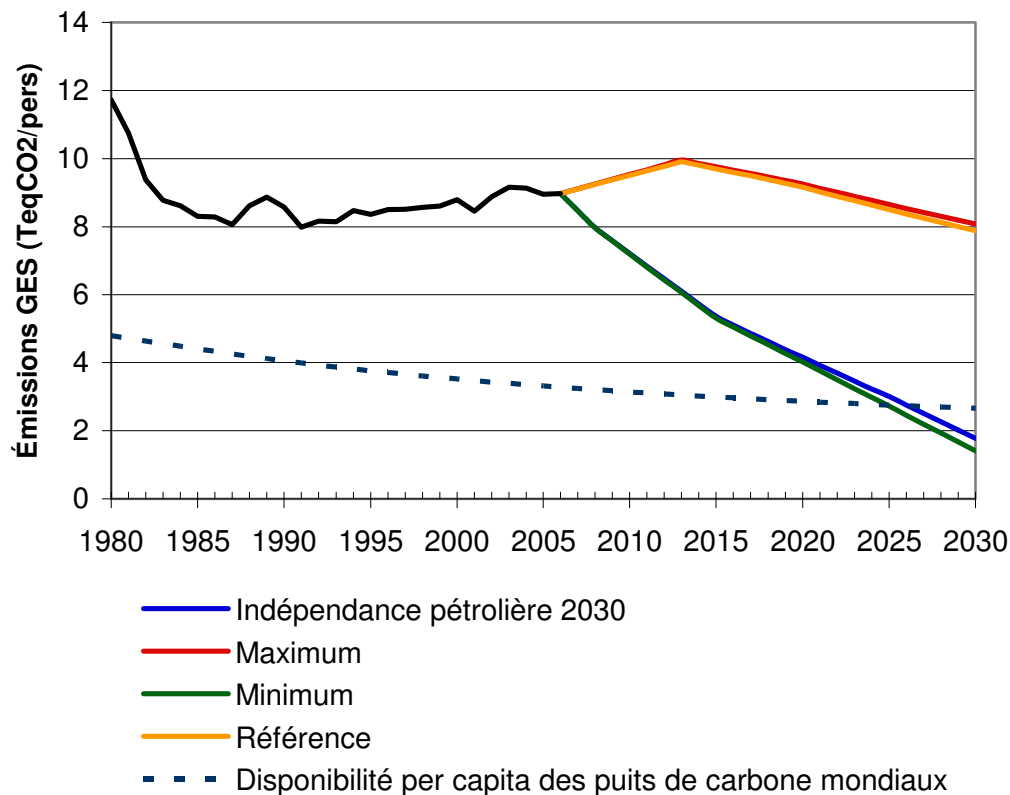
Comme on peut le constater sur le graphique 20 précédent, nos émissions de GES liées à la consommation d'énergie ont augmenté de 13,6 % entre 1990 et 2005. Bien entendu, cela n'inclut pas les autres sources de GES. L'énergie représentait 75 % des émissions de GES en 2005. Rappelons que le Protocole de 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 éq. CO₂) au Canada (moyenne de 23,1 T éq. 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 21 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 Québec⁶⁹. 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 2030⁷⁰. Cela donne la courbe en pointillés du graphique 21 suivant.

Graphique 21

Émissions de GES per capita provenant de la consommation énergétique québécoise



⁶⁹ Normand Thibault, Esther Létourneau, Chantal Girard, *Perspectives démographiques, Québec et régions, 2001-2051*, Institut de la statistique du Québec, 2003.

⁷⁰ 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 piliers⁷¹. 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 énergétique⁷² dont nous n'avons aucune assurance qu'ils seront en mesure de s'acquitter.

⁷¹ 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.

⁷² 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 majeure⁷³.

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.

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, 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.

Tableau 9 : caractéristiques des trois scénarios

	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 quotas⁷⁴. Un objectif plus bas est plus facile à faire admettre aux consommateurs d'énergie qu'un objectif plus élevé.

⁷⁴ 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.

D'un autre côté, le développement accéléré de la production d'énergie de sources renouvelables afin de réaliser une substitution énergétique effective, particulièrement du pétrole, permet d'amoindrir 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»⁷⁵ avait suscité une controverse plus ou moins scientifique⁷⁶ quant à sa validité⁷⁷. 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 croissance⁷⁸.

Ces débats qui ont eu cours publiquement pendant les années 1970 entre les adeptes de la corne d'abondance, la plupart du temps des économistes⁷⁹, 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-renouvelables⁸⁰.

⁷⁵ 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.

⁷⁶ Magne Myrtveit, The World Model Controversy, The System Dynamics Group, Department of Geography, University of Bergen, Norway, 2005.

⁷⁷ 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.

⁷⁸ Julian Simon, The Ultimate Resource, Princeton University Press, 1981.

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

⁷⁹ 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.

⁸⁰ 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 coûteuse⁸¹ 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,**

⁸¹ 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.

- 12% d'économie par rapport à 2005**, soit l'équivalent d'environ 60 TWh;
- **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 transport efficaces et électrifiés**, à la fois collectifs et individuels, en **insistant toutefois sur le transport collectif**⁸²;
 - **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 2030⁸³? 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

⁸² 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.

⁸³ 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.

socio-économiques est à prendre en compte dans la réflexion à venir. Une telle planification entraînera une amélioration très marquée de la balance commerciale 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 savoir-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...»⁸⁴.

⁸⁴ Fatih Birol, We can't cling to crude we should leave oil before it leaves us, The Independent, Sunday, March 2, 2008.

Annexe : quelques pistes pour une planification énergétique

Concernant la 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 exemple⁸⁵).
- Revoir entièrement le modèle agricole québécois au regard de l'énergie et des ressources non-renouvelables dont il est fortement dépendant⁸⁶.

⁸⁵ 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.

⁸⁶ 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.

Concernant la 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.