

LA SÉCURITÉ ET L'AVENIR ÉNERGÉTIQUES DU QUÉBEC

MÉMOIRE

présenté au ministre des ressources naturelles,
de la faune et des parcs

THÉORIE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

par

ETIENNE BERNIER, ing. jr, M. Sc.

à titre personnel

Québec

Janvier 2005

Résumé

Ce mémoire rappelle les lois de la thermodynamique, qui ont préséance sur les lois du gouvernement du Québec, et présente à titre indicatif quelques concepts clés de cette science maîtresse de l'énergie : l'exergie, l'irréversibilité, et leurs liens avec les émissions de gaz à effet de serre. Il explique pourquoi le chauffage électrique et le chauffage au gaz sont incompatibles avec la notion d'efficacité énergétique, alors que les centrales thermiques à cycle combiné, le chauffage géothermique et les véhicules électriques sont compatibles avec cette notion. Il démontre sous quelles conditions une centrale thermique évite plus de gaz à effet de serre qu'elle n'en émet.

Graduellement, Hydro-Québec est passé d'un état isolé à un état solidement interconnecté, ce qui est tout à fait souhaitable d'un point de vue d'efficacité énergétique continentale et de gestion globale des émissions de gaz à effet de serre. Toutefois, ce changement rend l'essentiel de la consommation électrique québécoise *de facto* contre-productive et émettrice de gaz à effet de serre, ce qui oblige un changement de mentalité et un changement de tarification. Le mémoire répond aux questions soulevées par le document *Le secteur énergétique au Québec* en s'attardant particulièrement à la notion du juste prix de l'exergie. Parce qu'il est jugé plus difficile de réaliser des économies d'énergie sans hausse de prix que de faire une juste redistribution des richesses après hausse de prix, le prix devrait être le coût de la filière éolienne ou le prix des marchés d'exportation, le plus élevé des deux. Ce prix est estimé à 6.5¢/kWh avant distribution.

Finalement, le mémoire présente quelques recommandations :

- Obliger les propriétaires de logement à fournir un chauffage de base adéquat, et les locataires à fournir le chauffage de pointe.
- Ne pas intervenir dans le choix des filières de production d'électricité.
- Obliger la facturation inversée à Hydro-Québec Distribution (HQD).
- Fixer un « prix de l'exergie » qui augmentera graduellement dans le temps et qui sera le tarif du bloc patrimonial, le tarif de la facturation inversée, le minimum des tarifs de vente d'électricité, et le prix minimum des importations de pétrole et de gaz naturel.
- Redistribuer la majeure partie des profits d'Hydro-Québec sous forme de ristourne à ses clients, indépendamment de leur consommation d'électricité.

L'auteur a réalisé ses travaux de maîtrise à l'Institut de recherche sur l'hydrogène à Trois-Rivières avec des nouvelles technologies de production et de stockage d'énergie électrique. À l'automne 2004, il a enseigné la thermodynamique comme auxiliaire à l'enseignement à l'École Polytechnique de Montréal. Il prévoit entamer des études doctorales sur un sujet apparenté aux deux premières sections de ce mémoire. Il considère ces deux sections comme un outil de vulgarisation scientifique, alors que le reste du mémoire présente son opinion de citoyen.

Introduction

D'après Einstein ($E=mc^2$), la matière et l'énergie sont abondants et inconsommables. Toutefois, l'activité humaine les dégrade. La dégradation de la matière est compensée par l'extraction et le recyclage, qui dégradent eux-mêmes de l'énergie. La dégradation de l'énergie, irréversible, doit être compensée par un apport égal d'énergie de haut grade, qui se nomme exergie. L'exergie ne peut être produite : le barrage hydroélectrique et l'éolienne détournent l'exergie qui serait normalement consommée par des remous dans l'air ou au pied d'une chute naturelle, alors que l'exploitation des hydrocarbures épuise les réserves d'exergie dont la Terre dispose. L'énergie lavée de son exergie aboutit toujours dans l'environnement sous forme de chaleur; elle se dilue dans la ressource géothermique, une énergie très abondante mais de grade nul. Ainsi, le terme « exergie » représente le sens commun du terme « énergie ». Il faut reconnaître que, sans le savoir, cette commission parlementaire ne s'intéresse pas à l'énergie, mais bien à l'exergie.

L'exergie et la main-d'œuvre sont les deux grandes consommables de notre économie. Le progrès permet d'augmenter le confort matériel avec plus ou moins de main-d'œuvre et plus ou moins d'exergie. Le gouvernement a toutefois la possibilité d'utiliser divers mécanismes économiques à sa disposition afin de déterminer si le progrès doit surtout permettre d'augmenter le confort matériel, de diminuer la main-d'œuvre (la semaine de 4 jours!) ou de diminuer la consommation d'exergie (l'efficacité énergétique). Nous croyons que, si l'humanité veut diminuer ses émissions de gaz à effet de serre (GES), il est nécessaire que les progrès du 21^e siècle soient quelque peu orientés vers l'efficacité énergétique. Il faut toutefois être conscient que cela ne peut se faire qu'au détriment du confort matériel et/ou des conditions de travail. Par exemple, le progrès de l'industrie automobile peut servir à construire (1) de plus gros véhicules qui consomment la même quantité d'essence, (2) des véhicules de même taille qui consomment moins d'essence, (3) des véhicules plus petits qui consomment encore moins d'essence. Bien que le deuxième choix représente un compromis raisonnable, on ne peut nier qu'il sacrifie le confort par rapport au premier choix, et sacrifie l'environnement par rapport au troisième choix.

Le gouvernement tire ses revenus de diverses sources qui reviennent en bout de ligne à taxer les deux grandes consommables : la main-d'œuvre et l'exergie. La répartition des sources de revenu du gouvernement entre la main-d'œuvre et l'exergie (à revenu total égal) constitue, à notre avis, le mécanisme de réglage le plus fondamental de l'efficacité énergétique, un mécanisme au même niveau que les taux d'intérêt de la banque centrale. Taxer surtout la main-d'œuvre freine l'emploi et permet de grandes dépenses d'exergie. Taxer surtout l'exergie abaisse le coût de la main-d'œuvre et freine la dépense d'exergie. Par exemple, si on double le prix du carburant que paie l'industrie du camionnage, et qu'on diminue d'autant ses coûts en main-d'œuvre, on ne lui cause aucun préjudice. Toutefois, un des effets sera un incitatif à réduire la vitesse des camions, causant une économie de carburant et un accroissement de la durée des trajets. L'économie de carburant cause à son tour un gain de productivité, alors que la durée accrue des trajets crée de l'emploi. Le choix de taxer moins la main-d'œuvre et plus l'exergie n'est ni une injustice, ni la violation d'un pacte social. C'est seulement le choix d'une société qui réalise qu'elle ne peut plus se permettre de consommer de grandes quantités d'exergie pour éliminer une petite quantité de main-d'œuvre ou pour produire une petite quantité de confort matériel.

Première section : ce qu'est l'efficacité énergétique

La première loi de la thermodynamique indique qu'on ne peut ni fabriquer ni détruire l'énergie, mais qu'elle se transforme sous ses différentes formes contenant plus ou moins d'exergie. L'exergie d'une forme d'énergie est sa fraction pouvant fournir un travail, comme soulever un poids. La deuxième loi indique que l'exergie n'est jamais produite et toujours consommée. La plupart des formes d'énergie contiennent beaucoup d'exergie. Par exemple, l'électricité est de l'exergie pure, alors que le « pouvoir calorifique inférieur » est une bonne estimation de l'exergie des hydrocarbures. La grande exception est la chaleur, qui à une température T °C a une teneur en exergie de $\left(1 - \frac{280}{273+T}\right)$ seulement¹. Lorsqu'on consomme l'exergie, il y a habituellement production de chaleur, la chaleur étant un bon moyen d'évacuer l'énergie dégradée.

Pour bien comprendre le concept d'exergie, on peut faire une analogie. L'énergie se compare au poids d'un aliment, alors que l'exergie se compare à sa valeur nutritive. Dans cette analogie, la chaleur qu'évacue une centrale thermique est tout comme un excrément, qui à la sortie du système digestif permet d'évacuer une bonne partie du poids des aliments, tout en contenant très peu de leur valeur nutritive. Imaginons le gaz naturel comme un aliment naturel et l'électricité comme un aliment transformé. Une centrale comme le Suroît transforme le gaz naturel en 60 % d'électricité et en 40 % de déchets, ses rejets thermiques. Elle détruit 40 % de la valeur nutritive du gaz naturel. Il est donc correct de dire que son rendement est de 60 %. Comparativement, imaginons une fournaise à gaz qui transforme le gaz naturel en 85 % de chaleur destinée au chauffage et 15 % de chaleur destinée à la cheminée. Au sens conventionnel, son rendement est de 85 %. Par contre, la formule précédente indique que la chaleur destinée au chauffage a une teneur en exergie inférieure à 6 %. Son « rendement nutritif »² est donc 85 % de 6 %, soit 5 %. Finalement, une plinthe électrique transforme directement l'électricité en chauffage. Son rendement est également inférieur à 6 %. Détruire 94 % de la valeur nutritive d'un aliment est un plus grand gaspillage que d'en jeter 40 % à la poubelle, même si cela est moins spectaculaire. On ne peut pas décider de la valeur d'un aliment uniquement par son poids. Il en est de même de l'énergie. Même si depuis des millénaires l'être humain se chauffe avec des méthodes efficaces à moins de 6 %, cela ne justifie pas la perception que la chaleur ait une grande valeur. La chaleur est un déchet. Seule la production d'électricité est une utilisation efficace du gaz naturel.

Si un besoin de chauffage est un besoin de déchets, alors un système de chauffage efficace fonctionne nécessairement à partir de déchets. Ces déchets sont certes disponibles dans les rejets des centrales thermiques, mais ils sont beaucoup plus accessibles via la géothermie. Une thermopompe géothermique de qualité fournira un chauffage provenant à 25 % d'électricité et à 75 % de chaleur gratuite, ce qui est quatre fois plus efficace que la plinthe électrique. Cette thermopompe, alimentée par une centrale thermique comme le Suroît, permettrait de convertir le gaz naturel en chauffage avec un rendement dépassant 200 % au sens conventionnel, ce qui confirme la médiocre efficacité du chauffage au gaz.

¹ 280 K est une estimation de la température de la ressource géothermique. La deuxième loi se formule traditionnellement en termes d'accroissement d'entropie : la génération de 1 kWh/K d'entropie consomme 280 kWh d'exergie.

² Habituellement nommé rendement exergetique, rendement rationnel, ou rendement de deuxième loi.

Les **irréversibilités** consomment l'exergie. Une transformation d'énergie qui conserve l'exergie sera dite réversible, sinon irréversible. On dénote les principales irréversibilités suivantes :

- Le frottement,
- L'effet Joule, qui cause le réchauffement des fils et des plinthes électriques,
- La turbulence,
- Le mélange, une irréversibilité qui croît avec l'écart de température, de pression ou de potentiel chimique des substances mélangées,
- Le transfert de chaleur, une irréversibilité qui croît avec l'écart de température,
- La combustion, qui oblige mélange, turbulence et transfert de chaleur.

Nous avons la ferme conviction que toute pollution et tout besoin d'exergie naissent d'une irréversibilité, et que la quantité d'irréversibilité absolument nécessaire au maintien de notre confort matériel est minimale³. Dans ce contexte, l'efficacité énergétique ne peut se définir qu'en termes de réversibilité. Elle cherchera donc à obtenir un confort matériel donné avec le moins d'exergie possible, par l'entremise de technologies autant réversibles que possible.

Analysons par exemple le déplacement d'une personne. Déplacer horizontalement une personne ne correspond à aucun travail mécanique, et peut donc se faire sans exergie. Si une automobile consomme du pétrole et pollue, c'est que c'est une formidable machine à irréversibilités : combustion, transfert de chaleur vers le circuit de refroidissement, frottement des pistons, frottement des pneus, frottement des freins, turbulence. Toute mesure d'efficacité énergétique doit viser spécifiquement ces irréversibilités, sinon elle ne fera que déplacer ou retarder la consommation d'hydrocarbures. Par exemple, une approche qui tenterait désespérément d'obtenir une force motrice de la chaleur du circuit de refroidissement serait vouée à l'échec : ce déchet n'est pas la cause, mais bien la conséquence de l'inefficacité de l'automobile. Comparativement, un style de conduite prédictif peut mener à moins freiner, ce qui réduit l'irréversibilité du frottement des freins. Même si c'est l'accélérateur qui « commande » la consommation de carburant, c'est la pédale de frein qui constitue un levier d'économie de carburant. Voilà un bel exemple du côté parfois contre-intuitif de la thermodynamique!

La co-génération, qui consiste à soutirer de la vapeur d'une centrale thermique pour combler un quelconque besoin de chauffage chez un client voisin, est perçue comme améliorant le rendement énergétique de la centrale thermique. Cela est faux, car cela n'y élimine aucune irréversibilité. Par contre, cela améliore le rendement du système de chauffage chez le client. La nuance est importante, car elle indique qu'il n'y a pas d'avantages à remplacer un projet de centrale efficace comme celle du Suroît par un projet de co-génération. Il est toutefois nettement avantageux de remplacer un projet de construction de bouilloire, de four ou d'autres systèmes irréversibles chez le client par un projet de co-génération, mais seulement à condition que le besoin de chauffage du client ne puisse pas être comblé par un système basé sur des thermopompes. En d'autres termes, il est futile de chercher une utilité aux rejets de chaleur d'une centrale thermique *seulement* pour en améliorer le bilan environnemental. Les rejets ne sont qu'un ajout de chaleur à ce qui est déjà un immense réservoir de chaleur, la Terre; cela ne correspond à aucun gaspillage.

³ Ces hypothèses constitueront d'ailleurs le point de départ de notre projet d'études doctorales.

En bref, générer de l'efficacité énergétique, c'est-à-dire éliminer des irréversibilités, revient à encourager le remplacement de systèmes irréversibles par des systèmes plus réversibles. Par exemple, le véhicule électrique a un principe de fonctionnement relativement réversible : il produit de l'électricité lorsqu'on descend une pente. Le véhicule à essence ne produit pas d'essence lorsqu'on descend une pente; il faut s'en débarrasser. De même, la plinthe électrique est irréversible et inefficace : il n'existe aucun moyen de lui faire produire de l'électricité en la chauffant. Nous lui préférons le système de chauffage géothermique, dont le principe de fonctionnement est réversible : son inverse est le cycle vapeur des centrales thermiques.

L'efficacité énergétique s'obtient en combinant divers appareils les plus réversibles possibles qui font en sorte que la valeur nutritive de l'énergie est conservée le plus longtemps possible dans son parcours du système digestif qu'est le système énergétique mondial. Il n'y a absolument rien de contradictoire à poursuivre, d'un côté, le développement des véhicules électriques et des systèmes de chauffage géothermiques, et de l'autre côté, le développement des centrales thermiques à cycle combiné, car cela correspond, d'une part, à rechercher l'approvisionnement le plus réversible possible du transport et du chauffage, et d'autre part, l'utilisation la plus réversible possible du gaz naturel. Ainsi, il n'est pas surprenant d'apprendre que le système de chauffage au gaz naturel le plus efficace est celui qui dédierait la centrale du Suroît à faire fonctionner des thermopompes géothermiques (un gain d'efficacité d'un facteur dépassant 2, comme déjà mentionné). Il n'est pas non plus étonnant d'apprendre que le système de transport au gaz naturel le plus efficace est celui qui dédierait la centrale du Suroît à faire fonctionner des véhicules électriques, notamment ferroviaires. À titre d'exemple, nous estimons que le Suroît pourrait alimenter 24 millions de vélos électriques, qui se substitueraient à autant d'automobiles en train de faire un trajet se faisant très bien à vélo. Voilà un gain d'efficacité énergétique d'un facteur 40, puisque le Suroît ne consomme pas plus d'hydrocarbures que 600 000 automobiles.

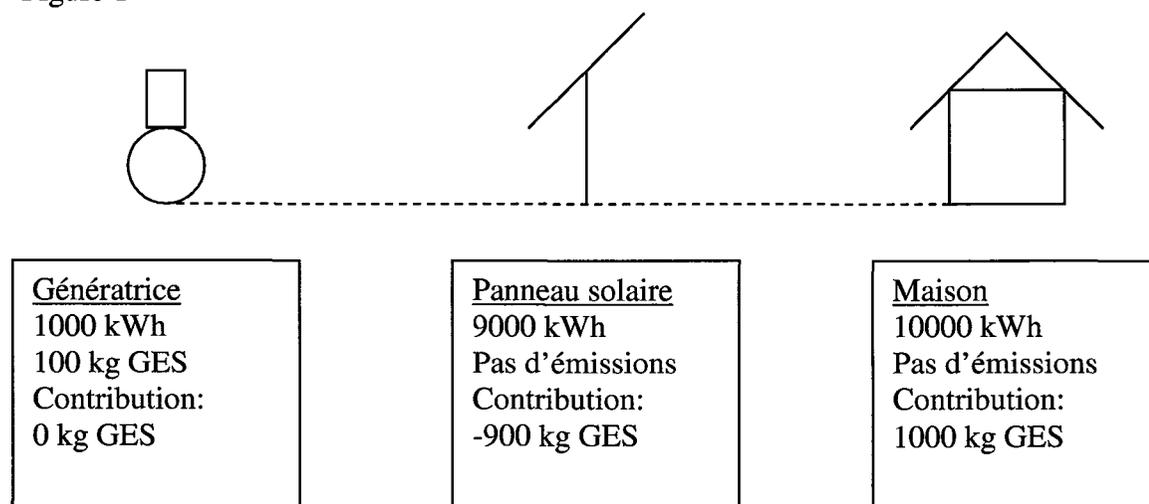
Est-ce qu'il est souhaitable pour l'environnement d'accroître la part du gaz naturel dans le bilan énergétique québécois? De nombreuses personnes diront oui, si c'est pour diminuer la part du pétrole et du charbon, et diront non, si c'est pour diminuer la part des ressources renouvelables. La prochaine section de ce mémoire présentera notre façon de trancher la question. Toutefois, ce qui est clair à propos de l'efficacité énergétique de l'utilisation du gaz naturel, c'est qu'il faut questionner en premier son utilisation irréversible dans des systèmes de chauffage. La production d'électricité et la co-génération sont les façons les plus réversibles, les plus responsables et les plus durables d'utiliser le gaz naturel au Québec comme ailleurs; c'est un fait thermodynamique. Bien sûr, le chauffage électrique est à reconsidérer avant tout. Il y a suffisamment de chaleur sur cette Terre pour que personne n'ait à se chauffer ni avec du gaz, ni avec de l'électricité.

Deuxième section : électricité et émissions de GES

Le fait qu'il faille produire l'électricité qui se consomme est une notion qui semble échapper à une partie de l'opinion publique. Pourtant, tous ont intérêt à se demander qui est en plus grande partie responsable des émissions de GES, les producteurs ou les consommateurs d'électricité?

Simplifions le problème en analysant d'abord un réseau électrique situé sur une petite île et composé d'une maison, d'un panneau solaire et d'une génératrice à essence (voir fig. 1). Supposons, en toute simplicité, que la génératrice émet 1 kg de GES pour chaque 10 kWh qu'elle produit, et que le panneau solaire fournit 90% des 10 000 kWh que la maison consomme. La génératrice produit les 10% manquants, 1 000 kWh, en émettant 100 kg de GES.

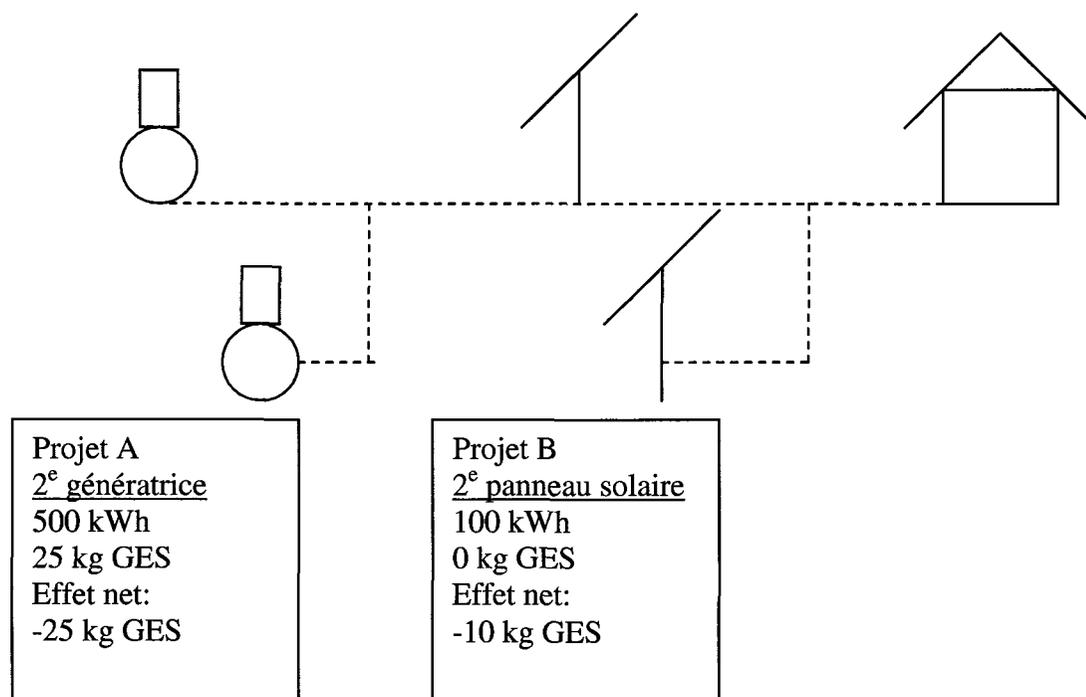
Figure 1



Maintenant, si l'on élimine le panneau solaire, cela ne fait pas consommer moins la maison. Les 9 000 kWh manquants doivent être produits par la génératrice, ce qui engendre des émissions de 900 kg de GES supplémentaires. Au contraire, si l'on ajoute une deuxième maison, la demande en électricité augmentera. Nul besoin de préciser que le soleil ne brillera pas d'avantage pour fournir l'électricité requise pour cette deuxième maison. Les 10 000 kWh supplémentaires doivent être produits par la génératrice, ce qui engendre des émissions de 1000 kg pour la deuxième maison. Finalement, si l'on ajoute plutôt une deuxième génératrice, deux génératrices se partageront le travail d'une seule; qu'elles fonctionnent en même temps à mi-régime ou en alternance, elles n'émettront chacune que 50 kg de GES, pour un total inchangé. La seule conclusion possible est que la maison contribue 1000 kg de GES; le panneau solaire, -900 kg; et la génératrice, zéro, pour un total de 100 kg qui correspond aux émissions réelles. Sur cette île, une diminution des émissions de GES ne peut pas se faire en s'opposant à l'ajout d'une deuxième génératrice. La lutte aux émissions de GES doit se faire par des gains d'efficacité énergétique dans la maison ou dans la génératrice, ou par l'ajout de panneaux solaires.

Imaginons maintenant qu'à investissement énergétique égal, on puisse soit ajouter une génératrice de nouvelle technologie qui produit 500 kWh en émettant 25 kg de GES (efficacité double : 1 kg de GES pour 20 kWh), soit ajouter un panneau solaire qui produit 100 kWh (voir fig. 2).

Figure 2



L'ajout de la génératrice performante du projet A permet de réduire de moitié le fonctionnement de la première génératrice, pour une économie nette de 25 kg de GES (50 kg de moins produits par la première génératrice, 25 kg de plus par la nouvelle). Comparativement, le panneau solaire du projet B ne permet de réduire le fonctionnement de la première génératrice que de 10 %, pour une économie de 10 kg de GES seulement. Dans ce cas-ci, un investissement dans les hydrocarbures (la fabrication d'une génératrice) apporte un bénéfice environnemental supérieur à un investissement égal dans les sources renouvelables (la fabrication d'un panneau solaire).

Le réseau électrique de l'île « Amérique du Nord » est semblable à ce réseau simplifié, la génératrice représentant les centrales thermiques, le panneau solaire représentant l'ensemble de la production des sources renouvelables, et la maison représentant l'ensemble de la consommation. Les centrales thermiques doivent produire ce qui est consommé et qui n'est pas produit par les sources renouvelables. La consommation d'électricité apporte une contribution positive aux émissions de GES, les sources renouvelables apportent une contribution négative, et les centrales thermiques apportent une contribution nulle. Lorsqu'on allume un téléviseur, il ne vente pas soudainement plus sur les éoliennes et il ne pleut pas soudainement plus à la baie James. En allumant un téléviseur, on fait un emprunt dans un réservoir hydroélectrique qui devra un jour être comblé par une centrale thermique, soit au Québec, soit par importation, soit par exportation en moins.

On peut lier ces constats aux notions de thermodynamique en remarquant que la production électrique des barrages hydroélectriques et des éoliennes correspond à la quantité d'irréversibilité naturelle qu'ils éliminent (la turbulence du vent et des chutes), et que la consommation électrique correspond à la quantité d'irréversibilité se trouvant chez les consommateurs d'électricité, plus l'exergie se trouvant dans certains produits dérivés comme l'aluminium. Ainsi, l'élimination d'une même quantité d'irréversibilité, qu'elle soit naturelle, chez les consommateurs ou à l'intérieur du parc des centrales thermiques, causera une même réduction des émissions de GES⁴. Dans notre exemple simplifié, il n'est pas choquant que le projet A élimine plus d'émissions de GES que le projet B, puisqu'il faut simplement admettre que la fabrication énergivore de panneaux solaires ne permet pas d'éliminer beaucoup d'irréversibilité, alors que l'investissement dans une génératrice performante élimine suffisamment d'irréversibilité pour apporter un bénéfice environnemental malgré les émissions de GES de la génératrice.

Que la centrale du Suroît soit construite ou non, il est logique que ce soit le prix des marchés d'exportation qui motive les futures constructions éoliennes et hydroélectriques, puisque ce serait un non-sens de les construire et de les exploiter à perte pour nos voisins. Tout porte à croire que le Suroît se substituerait à une centrale thermique moins efficace qu'elle, et non aux sources renouvelables. Ainsi, elle éviterait assurément plus d'émissions de GES qu'elle n'en produirait. Toutefois, il faudrait nous assurer que si les interconnexions venaient à manquer de capacité à exporter, l'on procéderait à l'arrêt de cette centrale, plutôt qu'au ralentissement de futurs chantiers hydroélectriques ou éoliens. En l'absence de cette assurance, mieux vaut s'abstenir.

La déréglementation fait en sorte de découpler la consommation et la production d'électricité au Québec, au grand bénéfice de l'efficacité énergétique à l'échelle continentale⁵. Elle vient consacrer le fait que le Québec n'est plus une île, étant solidement interconnecté avec ses voisins depuis un certain temps. Ce changement de configuration doit nécessairement mener à un chambardement des mentalités. En particulier, bien que chauffer à l'électricité et exporter de l'aluminium aient déjà été ce qu'il y avait de mieux à faire des surplus d'Hydro-Québec, ce n'est plus le cas. De plus grandes quantités de GES sont évitées et de plus grands revenus sont générés lorsque notre électricité est exportée. Pour la même raison, il faut aussi préférablement revoir la politique des bas tarifs, le sujet principal de la prochaine section.

En conclusion, la réduction des émissions de GES ne peut se faire que là où l'irréversibilité se trouve, soit principalement chez le consommateur. En effet, celui-ci déclenche volontairement l'irréversibilité qui est à la base de toute la demande d'électricité, autant par sa consommation directe d'électricité que par sa consommation de produits dérivés. Chaque interrupteur de chaque appareil électrique irréversible joue le rôle d'une pédale de frein : bien qu'il ne « commande » aucune émission de GES, il constitue un levier de réduction des émissions de GES.

⁴ Ce que nous croyons généralisable à l'extérieur du réseau électrique, mais qui reste à démontrer.

⁵ Nous pensons, par exemple, aux échanges à court terme avec le réseau voisin, qui remplacent une partie de la production des centrales thermiques de pointe par une production des centrales thermiques de base plus efficaces.

Troisième section : réponse aux questions soulevées par le document *Le secteur énergétique au Québec*

Nous tenons d'abord à souligner la grande qualité du document, qui démontre que la vision du gouvernement est plus rassurante de par sa cohérence que celle de l'opinion publique, tout en démontrant un certain souci environnemental que nous partageons. Le document présente 19 questions regroupées selon cinq grands enjeux. Nous répondons d'abord aux trois premiers enjeux, qui concernent le choix des filières, ensuite aux deux autres.

Diversifier les sources d'énergie du Québec

Accroître la fiabilité des sources d'approvisionnement en énergie du Québec

Assurer à tout le moins l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité

Nous souhaitons le choix des filières qui génère la plus grande efficacité énergétique continentale, parce que nous croyons que c'est ce qui, somme toute, émet le moins de GES. Lorsque le prix de chaque forme d'énergie reflète adéquatement son grade en exergie, la solution qui génère la plus grande efficacité énergétique est à peu près celle qui génère la plus grande efficacité économique. Puisque le libre marché sélectionne la filière la plus rentable, il sélectionne à peu près celle qui émet le moins de GES globalement. Ainsi, le critère strictement économique, bien qu'il comporte plusieurs biais, demeure celui qui s'approche le plus d'un critère d'efficacité énergétique continentale. À titre d'image, si la filière photovoltaïque n'arrive pas à être la plus rentable, alors elle est peut-être inefficace. D'une part, elle demande un investissement énergétique appréciable, principalement pour le raffinage de silicium pur. D'autre part, elle demande beaucoup de main-d'œuvre qualifiée, à qui elle donne indirectement la capacité de consommer encore plus d'exergie. Finalement, elle se fait complice de la pollution des filières qui doivent assurer son équilibrage. Y a-t-il vraiment réduction des émissions de GES?

Le rôle du gouvernement ne devrait pas être de désigner les gagnants et les perdants, et ainsi introduire des distorsions nuisant à l'objectif d'efficacité. Au contraire, il devrait lutter contre les distorsions du marché et ainsi arbitrer correctement le jeu. Le rôle du gouvernement est aussi de subventionner la recherche scientifique, et il est important qu'il le fasse, mais en cela il discrimine déjà passablement les filières. Pour notre part, nous préférons voir le choix des filières fait selon des critères économiques par la direction d'Hydro-Québec, sous l'influence d'ingénieurs compétents, plutôt que par le pouvoir politique qui est parfois sous l'emprise de l'opinion publique et de ses modes irrationnelles.

Viser le juste prix de l'énergie

Comme nous l'avons expliqué en détail dans la deuxième section, le choix du consommateur de dépenser ou non une quantité d'électricité n'influence ni la pluie qui tombe en amont des barrages ni le vent qui souffle sur les éoliennes. Il influence toutefois le facteur d'utilisation des centrales thermiques, que le Québec en dispose ou non. Cela indique qu'à l'échelle continentale, où que l'on soit, et probablement pour encore au moins cent ans, l'électricité sera un dérivé des hydrocarbures. Le crédit environnemental, et parfois économique, de produire l'électricité autrement appartient exclusivement au producteur et non au consommateur.

Le libre marché ne peut favoriser l'efficacité énergétique que si l'exergie électrique se vend au même prix que l'exergie des hydrocarbures. Un prix peu élevé pour l'électricité fait qu'il paraît efficace de remplacer une consommation d'hydrocarbures par une consommation d'électricité, alors que cela occasionne une consommation nette d'hydrocarbures accrue via les centrales thermiques. **Le juste prix de l'électricité ne peut pas être inférieur au prix auquel on peut la produire à partir des hydrocarbures; il est donc supérieur au prix des marchés d'exportation.** Un prix inférieur est injuste envers tous ceux qui font une consommation responsable de l'électricité, et qui savent que celle que gaspille leur voisin leur rapporterait plus si elle était exportée. Nous reviendrons sur le juste prix de l'électricité et des hydrocarbures après discussion du développement durable.

Nous avons confiance aux mesures qui corrigent les distorsions du marché, plutôt que d'en introduire. Nous désapprouvons l'investissement direct dans des programmes d'efficacité énergétique, particulièrement sans hausse préalable des tarifs. C'est un coup d'épée dans l'eau, le mirage d'une centrale sans entretien produisant mystérieusement des « négawattheures » grâce à cette consommation responsable qu'on aimerait voir son voisin adopter mais pour laquelle on n'est jamais prêt à se sacrifier. Prenons l'exemple de l'achat subventionné d'un véhicule hybride. Cela diminue la facture d'essence du consommateur, ce qui lui indique que :

- Il peut s'acheter un gros véhicule hybride plutôt qu'un petit;
- Il peut rouler à 120 km/h avec son véhicule hybride plutôt qu'à 100 km/h;
- Il peut utiliser son véhicule hybride plutôt que le transport en commun;
- Il peut habiter dans la troisième couronne de banlieue plutôt qu'en ville;
- Donc, il peut entièrement détourner sa subvention vers son confort matériel.

Comparativement, nous prédisons que taxer davantage l'essence orienterait les choix du consommateur vers des économies d'énergie à long terme, qu'elles passent ou non par l'achat d'un véhicule hybride. Taxer davantage l'essence permet de diminuer les impôts, ce qui dégage automatiquement les revenus nets nécessaires à l'achat d'un petit véhicule hybride par le consommateur. L'effet net est un accroissement ralenti du confort matériel dans le secteur automobile, une plus grande efficacité énergétique à long terme et, assurément, une plus grande compétitivité économique, surtout que le Québec produit peu dans le secteur automobile.

En ingénierie, plusieurs calculs d'optimisation font intervenir le prix de l'électricité. Par exemple, à la maison, il existe une épaisseur d'isolant dans les murs qui est optimale, c'est-à-dire pour laquelle l'ajout d'isolant additionnel coûte plus que ce que rapportent les économies d'électricité additionnelles obtenues. Que la rénovation soit subventionnée ou non, le calcul de cette épaisseur optimale sera défavorable à l'efficacité énergétique si le prix de l'électricité est bas, comparativement au coût de l'exergie et de la main-d'œuvre qui aura servi à la fabrication, au transport et à l'installation de l'isolant. De tels calculs se font tous les jours dans l'industrie.

Augmenter le prix de l'électricité, c'est augmenter ce qu'on offre à tous et chacun pour économiser l'énergie. Dans l'industrie, un prix élevé rend la co-génération intéressante, et favorise le remplacement de l'équipement désuet et énergivore. Il rend intéressant la nuit de diminuer l'éclairage, d'immobiliser les escaliers roulants et de mettre le parc informatique en veille. Toutes ces actions sont impossibles à rentabiliser dans un contexte de quasi-gratuité de

l'électricité, car la main-d'œuvre nécessaire à ces actions n'est pas gratuite. Lorsqu'on commence à trouver que l'électricité coûte cher à la maison, on installe une thermopompe géothermique (efficacité quadruple), on remplace les vieux électroménagers, on remplace les ampoules à incandescence par des ampoules fluorescentes compactes (efficacité quintuple), on prend une douche moins longtemps et à débit réduit, on lave le linge à l'eau froide, on le sèche sur la corde, et on apprend aux enfants à éteindre l'éclairage de leur chambre lorsqu'ils s'absentent. Permettre aux Québécois de réaliser leur potentiel d'économie d'énergie, ce n'est pas leur nuire, c'est leur offrir la chance de diminuer leur facture totale, électricité plus impôts, d'une façon favorable à la compétitivité de notre économie et à l'environnement.

Concilier le recours à l'énergie et le développement durable

L'internalisation des coûts environnementaux et sociaux des différentes filières énergétiques est, à notre avis, un des principaux défis du développement durable, en réponse à une distorsion « durable » du libre marché. Dans le cas spécifique des GES, le gouvernement devrait s'intéresser au prix de l'énergie, car il y a une relation de proportionnalité entre la consommation d'énergie, les émissions de GES et l'irréversibilité qui est leur cause première.

Dans un contexte de développement durable, il est injustifiable que l'exergie des hydrocarbures se vende à son coût d'extraction, puisqu'il est bien évident qu'on ne pourra pas l'extraire à ce coût de façon durable. Il existe un écart entre ce qu'elle coûte et ce qu'elle vaut. Elle vaut peut-être le coût marginal des sources renouvelables, puisque ces sources seront normalement appelées à graduellement remplacer les hydrocarbures. Si ce coût est celui de la filière éolienne, soit 6.5¢/kWh selon le document *Le secteur énergétique au Québec*, alors le GJ de gaz naturel devrait se vendre 18 \$ et le baril de pétrole devrait se vendre 103 \$ (canadiens); ou un peu moins en considérant qu'une certaine irréversibilité est inhérente à l'utilisation des hydrocarbures. Sans proposer de prix aussi élevés, nous suggérons qu'une hausse graduelle du prix de l'énergie soit le mécanisme privilégié pour atteindre un objectif de réduction d'émissions de GES. En tout temps, l'exergie des hydrocarbures et l'électricité devraient se vendre au même prix, l'électricité étant un dérivé des hydrocarbures.

En bout de ligne, que l'objectif soit de diminuer les émissions de GES, d'augmenter l'efficacité énergétique, de freiner les importations d'hydrocarbures ou d'internaliser les coûts des changements climatiques, une même solution apparaît : taxer plus l'exergie et moins la main-d'œuvre. Nous croyons à la justesse de cette solution car elle traite de façon équitable toutes les irréversibilités dont nous souhaitons la réduction, ce qui est loin d'être évident avec d'autres solutions. Nous sommes particulièrement méfiants envers toute approche qui désigne gagnants (les industries existantes) et perdants (les industries plus efficaces qui voudraient s'implanter). De plus, nous ne voyons pas pourquoi, d'une façon générale, percevoir des taxes sur l'exergie nuirait davantage à la compétitivité que de percevoir les mêmes taxes sur la main-d'œuvre.

Recommandations

- **Obliger les propriétaires de logement à fournir un chauffage de base adéquat, et les locataires à fournir le chauffage de pointe.**

Cette recommandation vise à corriger une distorsion, du fait que certains coûts de chauffage sont la responsabilité du propriétaire, notamment ceux liés à une piètre isolation et au choix d'une technologie inefficace; alors que d'autres sont la responsabilité du locataire, comme ceux liés à l'oubli d'une fenêtre ouverte. Pourtant, la facture est rarement partagée par propriétaires et locataires. L'idée est particulièrement intéressante du fait que les systèmes de chauffage les plus efficaces, comme le géothermique ou le solaire passif, ne sont pas rentables pour fournir un chauffage de pointe et sont inaccessibles aux locataires. Le chauffage de base pourrait être défini comme ce qu'il faut pour maintenir l'immeuble à une température confortable lorsqu'il fait -10°C à l'extérieur, toutes fenêtres fermées et sans activité à l'intérieur. Cette recommandation pourrait s'appliquer aux constructions neuves et aux rénovations majeures.

- **Ne pas intervenir dans le choix des filières de production d'électricité.**

- **Obliger la facturation inversée à Hydro-Québec Distribution (HQD).**

Lorsqu'on achète un ou mille ventilateurs, on n'a pas besoin de la permission d'HQD pour les brancher au réseau, ni pour les faire fonctionner de façon intermittente. Nous y voyons un parallèle avec la filière éolienne, dont la facturation inversée pourrait assurer l'essor. Il est bien évident que si HQD lance un appel d'offres, c'est qu'elle a besoin d'une quantité d'électricité précise à un moment précis, et non d'électricité intermittente. La facturation inversée permet un compromis raisonnable : d'une part, elle donne une place aux sources intermittentes, et d'autre part, elle reconnaît que leur électricité vaut moins du fait qu'elle est intermittente.

- **Fixer un « prix de l'exergie » qui augmentera graduellement dans le temps et qui sera le tarif du bloc patrimonial, le tarif de la facturation inversée, le minimum des tarifs de vente d'électricité, et le prix minimum des importations de pétrole et de gaz naturel.**

Cette recommandation vise à coordonner une réduction des émissions de GES d'une façon qui maximise l'efficacité énergétique et économique en tout temps, tout en permettant de conserver les structures réglementaires existantes et la prévisibilité des tarifs. Le prix devrait rapidement atteindre le coût de l'éolien, en réponse logique à l'opinion favorable du public face à cette filière et assurant ainsi sa rentabilité. La partie imprévisible des revenus générés pourrait rembourser la dette publique. Toute grille tarifaire devrait assurer à HQD un budget équilibré.

- **Redistribuer la majeure partie des profits d'Hydro-Québec sous forme de ristourne à ses clients, indépendamment de leur consommation d'électricité.**

C'est une façon parmi d'autres de rendre une hausse de tarifs socialement acceptable. La ristourne pourrait être proportionnelle au nombre d'occupants pour un client résidentiel, et proportionnelle au nombre de salariés pour un client institutionnel, sans autre discrimination.