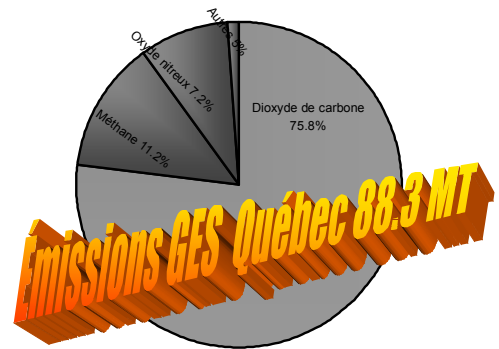
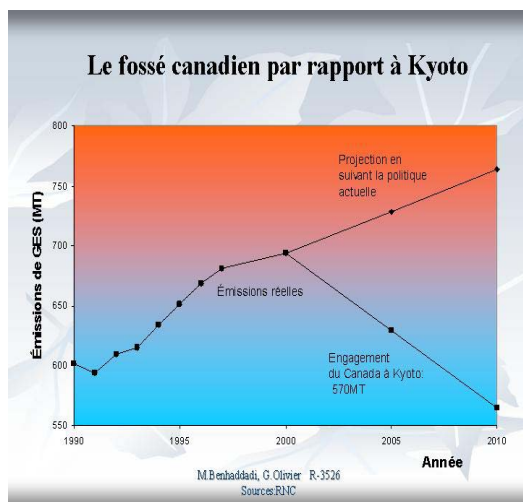


ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE

Dr M.BENHADDADI, Ph.D, Chargé de cours
Prof. G.OLIVIER, Ing., Professeur titulaire

AVIS SUR LA SÉCURITÉ ÉNERGÉTIQUE DES QUÉBÉCOIS À L'ÉGARD DES
APPROVISIONNEMENTS ÉLECTRIQUES ET LA CONTRIBUTION DU
PROJET DE SUROÏT - DOSSIER R-3526-2004



KYOTO, CANADA, QUÉBEC ET...SUROÏT



Pavillon **vert** de l'École Polytechnique de Montréal à certifier LEED

SOMMAIRE	2
I. BILAN ÉNERGÉTIQUE	3
II. GAZ NATUREL ET ÉLECTRICITÉ	4
II.1. Gaz dans le monde et au Canada	4
II.2. Prix du gaz naturel	6
II.3. Gaz et électricité thermique	6
III. ÉNERGIE ÉOLIENNE	8
IV. KYOTO, CANADA, QUÉBEC ET...SUROÎT	11
IV.1. Kyoto et les mécanismes de flexibilité	11
IV.2. Le fossé canadien	12
IV.3. Portrait du Québec	15
a) Portrait à l'échelle canadienne.....	15
b) Le Québec et Kyoto.....	15
c) Production d'électricité et émissions de GES.....	
d) Suroît et les émissions de GES.....	16
IV.4. Conclusion.....	19
V. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	18
BIBLIOGRAPHIE	19
ANNEXE	

SOMMAIRE

Depuis deux décennies, nous observons la scène énergétique mondiale, canadienne et québécoise. De par le passé, nous n'avons pas eu à prendre de position publique sur bien des questions qui nous tenaient à cœur. Cette fois-ci, dans le cadre du projet du Suroît, nous nous sentons interpellés. Nous pensons être en mesure de faire une contribution utile et désintéressée à ce dossier. Si la Régie juge utile de nous convoquer, ce que nous souhaitons, nous nous engageons à ce que l'un d'entre nous y serait présent.

Il est important de commencer par mettre en évidence que nous n'avons aucun à priori dans ce projet. Nous n'avons aucun intérêt particulier à défendre ou de produit à promouvoir. Par la même occasion, on veut aussi le dépassionner et le dépolitiser. Nous avons à cœur de faire émerger les avantages et inconvénients de ce projet pour qu'une décision probe puisse être prise par les décideurs à ce sujet.

À quelques détails près, nous avons évité de débattre de questions sur le bilan énergétique autour desquelles il y a un certain consensus, en particulier le scénario mi-fort qui est la conséquence de l'augmentation des ventes d'électricité en 2002-2003.

Néanmoins, nous avons relevé quelques incohérences dont, en particulier, le prix anormalement bas du gaz que HQD a appliqué dans ses calculs. Nous avons fait des simulations du prix de revient du kWh thermique en tenant compte du prix réel de ce gaz, celui du marché. Ainsi, par la même occasion, on a pu mettre en évidence l'incidence majeure du prix réel du gaz sur le prix de revient du kWh de l'électricité thermique. De plus, il a été mis en évidence que le ratio canadien réserves/production de gaz commence à devenir assez bas, ce qui est inquiétant eu égard au fait que les risques rattachés au gaz (volatilité, réserves) sont assumés par HQP.

Nous avons analysé la situation présente et à venir de la filière éolienne qui, incontestablement, recèle une partie des solutions futures. De plus, les détracteurs de cette filière qui lui reprochent sa non fiabilité en pointe se doivent de repenser leurs arguments car HQD reconnaît qu'elle a des problèmes d'énergie et non de puissance.

Le protocole de Kyoto et son application au Canada et au Québec a fait l'objet d'une attention particulière. Ayant dépeint le portrait québécois dans le... fossé canadien, nous avons mis en exergue que le calcul des émissions de CO₂ doit être considéré sur une base canadienne, surtout que le gouvernement fédéral procédera par approche sectorielle. Sur la base de la partie connue du fonctionnement du mécanisme d'allocation des permis dans le secteur de la production d'électricité auquel il serait demandé de réduire de 15 % ses émissions à l'horizon 2010, nous avons élaboré différents scénarios pour le projet de Suroît. La pire solution s'avère être le recours aux importations qui... augmentera les émissions de CO₂. Chiffres à l'appui, Il appert que toute part de marché gagnée par le gaz naturel sur les autres combustibles fossiles est favorable à la protection du point de vue environnemental. Nous sommes d'avis que le projet de Suroît ne saurait être rejeté pour des considérations reliées à l'application du Protocole de Kyoto.

Quelle que soit la décision que la Régie aurait à prendre pour le projet de Suroît, elle ferait des heureux : les étudiants du département de Génie électrique de l'École Polytechnique qui bénéficieront des retombées de la préparation du présent mémoire. Ce mémoire est le résultat de plusieurs centaines d'heures de réflexions, d'analyses et de discussions entre deux collègues; il n'engage pas la responsabilité de leur employeur.

I. BILAN ÉNERGÉTIQUE

Nous prenons en considération la probité des informations portées à notre connaissance par les trois composantes d'Hydro-Québec, à savoir :

- dans le plan d'approvisionnement d'Hydro-Québec Distribution soumis pour approbation, la Régie de l'Énergie reconnaissait que le scénario moyen de la prévision soumise était raisonnable,
- la croissance des ventes a été exceptionnelle pour le secteur Industriel grandes entreprises (2003) et domestique-agricole (2002-2003); de même que cette croissance a été forte dans le secteur Général, Institutionnel et Industriel PMI,
- Hydro-Québec Distribution a effectué la dernière prévision de la demande en électricité à long terme en août 2003 et elle la considère toujours valide,
- Les ventes normalisées pour les mois de janvier et février 2004 affichent un écart de 85 GWh avec les ventes prévues à la révision d'août 2003,
- l'année 2003 s'est traduite par un écart négatif de 24 TWh d'apport en eau et des livraisons plus fortes que prévues de 7 TWh pour Hydro-Québec Distribution,
- l'électricité patrimoniale de 165 TWh a été entièrement souscrite deux ans avant la date initialement prévue dans le plan d'approvisionnement,
- l'écart type de l'impact de l'aléa climatique sur les besoins en énergie de 8 TWh sur 4 ans à conditions climatiques normales,
- Hydro-Québec a donné des repères sur le bas niveau actuel de ses réserves en eau.

Néanmoins, nous constatons ce qui suit.

Conformément aux données fournies par Hydro-Québec Distribution [4], les ventes normalisées pour les mois de janvier et février 2004 affichent un écart de 85 GWh avec les ventes prévues à la révision d'août 2003.

Par ailleurs, HQD estime à 1.9 TWh / an [4] l'écart type de l'impact de l'aléa climatique sur les besoins en énergie, aléa pouvant atteindre même aux conditions climatiques extrêmes 4 TWh / an [4].

Or, l'hiver 2003-2004 a été particulièrement rigoureux et l'impact de l'écart qu'il aurait dû induire devait être nettement supérieur à l'écart type. En parallèle, sur la base de l'historique mensuel des ventes régulières d'électricité au Québec pour ces cinq dernières années fourni par HQD (document annexé), nous constatons que les mois de janvier et février représentent, bon an mal an, 20 % de la part de l'électricité patrimoniale consommée. Sans données climatologiques exactes et sur la base d'un écart de 2.5 TWh / an, on peut déduire approximativement que les ventes normalisées pour les mois de janvier et février 2004 auraient dû afficher un écart supplémentaire de 500 GWh par rapport aux ventes prévues à la révision d'août 2003. Nous considérons de ce fait l'écart de 85 GWh constaté par Hydro-Québec Distribution [1] assez restreint par rapport à ce qu'il aurait dû être.

Par ailleurs, l'écart entre la prévision et les ventes finales enregistré pour la fin de l'année 2003 dans le secteur résidentiel et agricole est de 0.9 TWh dont seule 0.2 TWh est explicable par les mises en chantier beaucoup plus importantes que prévues. Le reste 0.7 TWh demeure, selon l'aveu de Hydro-Québec Distribution, encore inexplicable.

De plus, quand on regarde le bilan des augmentations exceptionnellement élevées de consommation d'énergie, constatées les années 2002 et 2003, même si Hydro-Québec Distribution admet ne pas avoir fait une analyse détaillée sur l'origine exacte de l'ensemble de ces augmentations, le moins que l'on puisse dire est que certaines sont conjoncturelles et non structurelles. Ainsi, ceci est particulièrement vérifié dans le cas de l'explosion du nombre de mises en chantier qui a fait plus que doubler mais que le marché ne saurait supporter sur le long terme. Or, d'après HQD [4], 10 000 mises en chantier de logement se traduisent par un accroissement des ventes d'environ 200 GWh par année. Il y a, dans ce secteur, un potentiel réel de baisse naturelle de consommation que l'on peut évaluer à 0.6 TWh.

À la lumière de ce qui précède, on peut légitimement se poser la question s'il demeure encore réaliste de considérer le scénario actuel mi-fort comme le plus approprié ou ne faudrait-il pas le réorienter vers le scénario moyen.

II. GAZ NATUREL ET ÉLECTRICITÉ

II.1. Gaz dans le monde et au Canada

Beaucoup moins polluant que le charbon et le pétrole, l'utilisation du gaz naturel est en plein essor. Le marché mondial du gaz se développe rapidement et sa croissance devrait se poursuivre au moins dans les deux prochaines décennies, entraînée essentiellement par la "ruée sur le gaz" pour la production d'électricité : ainsi, il est attendu une croissance de 2.2 % par an de la consommation mondiale de gaz entre 2001 et 2025 [16]. Il faut dire que parmi tous les combustibles fossiles, le gaz naturel présente un triple avantage : c'est celui qui présente les plus faibles émissions de CO₂ par unité thermique; absence d'émissions de produits soufrés; absence de production de particules.

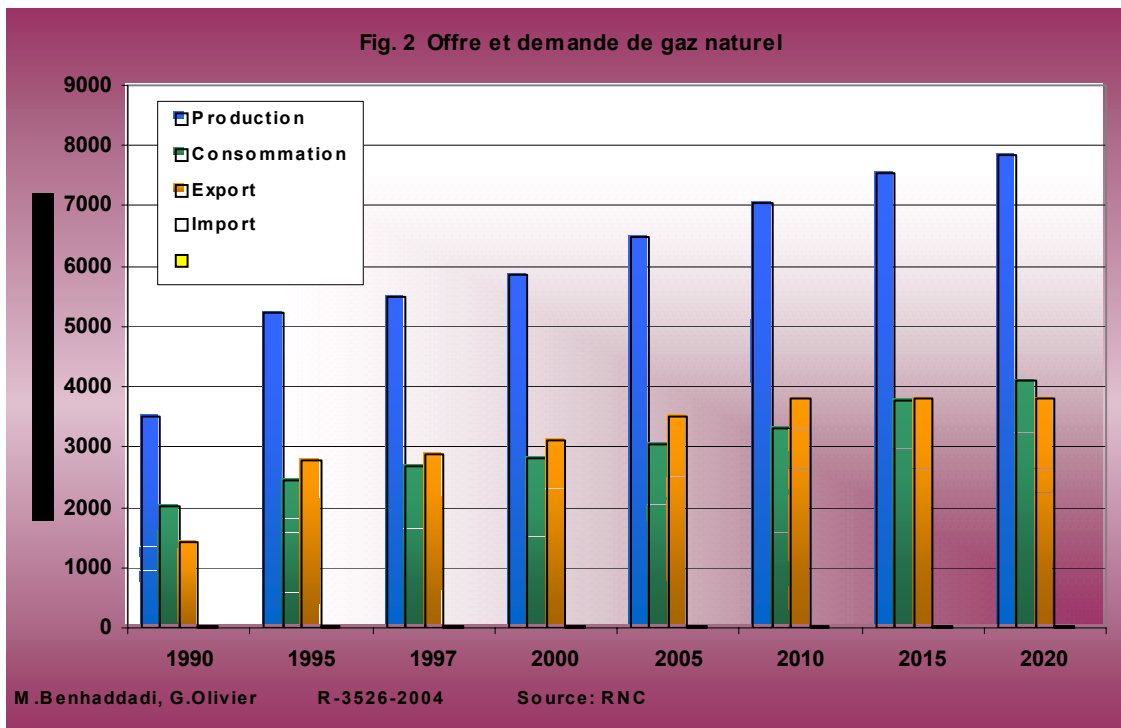
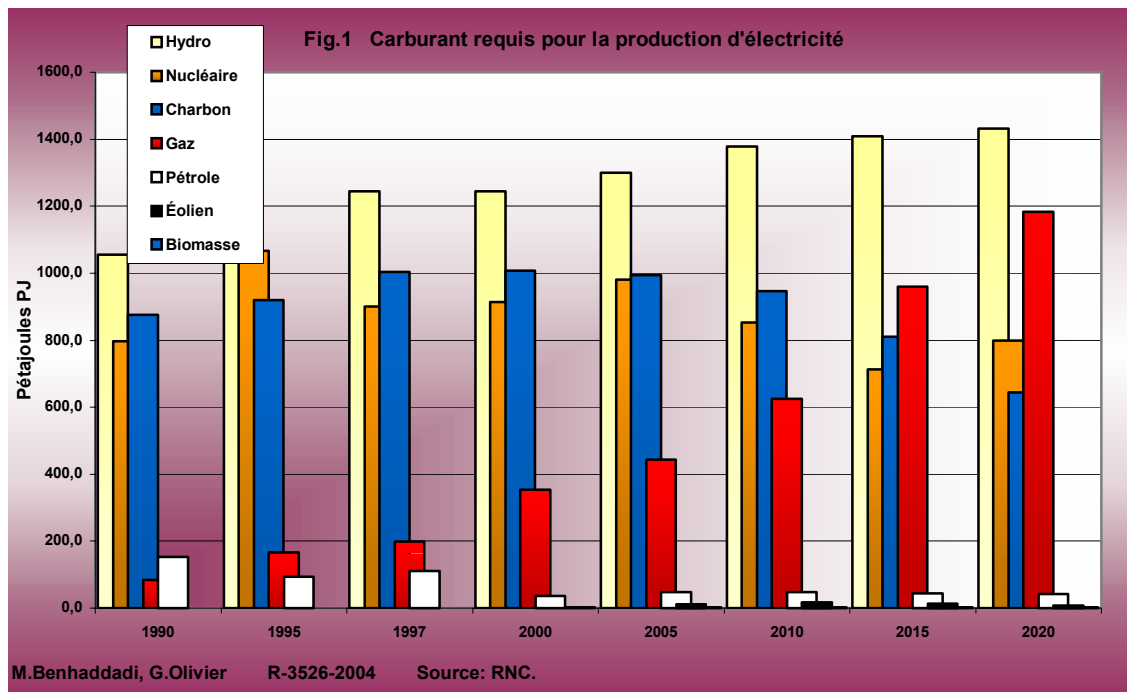
Depuis trois décennies, les réserves mondiales ont régulièrement augmenté et le ratio réserves/production est de 60 ans. La demande de gaz naturel devrait augmenter dans toutes les régions du monde, certaines régions aux réserves limitées ou en baisse deviendront des importateurs, ce qui modifiera sensiblement les schémas des échanges mondiaux de gaz.

Avec, en 2002, une production de 183.5 milliards de m³, équivalent à 165 millions de tep, le Canada est le 3^e producteur mondial de gaz naturel derrière les États-Unis et la Russie; il est le 2^e exportateur après la Russie. En moins de 2 décennies, les exportations canadiennes de gaz vers les États-Unis ont quadruplé, principalement en raison de la déréglementation du marché de l'énergie.

La "ruée sur le gaz" pour la production d'électricité, observée dans le monde, est aussi observée au Canada. Ressources Naturelles Canada RNC [25] prévoit que la part du gaz dans la production totale d'électricité représentera plus de 20 % à l'horizon 2020, ce que nous avons illustré sur la figure 1. Il est, par ailleurs, attendu aussi une croissance au Canada de 2.2 % par an de la consommation de gaz entre 2001 et 2025 [16, 25] alors qu'entre-temps, les dernières statistiques montrent que la production croîtra à un rythme beaucoup moins soutenu, de l'ordre de 0.5 % [16] par an. La croissance de l'offre et la demande de gaz naturel, telle que prévue par RNC est illustrée sur la figure 2.

Il faut dire qu'au Canada, ces dernières années, les découvertes de gaz sont de moins en moins prolifiques de sorte que le ratio réserves/production est de 10 ans, d'une part, et

que la province de l'Alberta est appelée à réduire sa production de 2 % par an entre 2003 et 2012 [16] pour pouvoir augmenter celle du pétrole lourd, d'autre part.



II.2. Prix du gaz naturel

Poussé par la ruée vers le gaz, le commerce du gaz naturel n'a pas cessé de se développer avec dynamisme. En Amérique du Nord, le gaz est vendu-acheté dans des carrefours d'échanges (principalement Henry en Louisiane et AECO-C en Alberta) où sont établis les prix, en fonction des contrats. En général, les producteurs d'électricité achètent à des prix relativement plus bas (moins de 40 % du prix payé par un usager résidentiel).

Par ailleurs, les marchés gaziers canadien et étatsunien sont fortement intégrés, de sorte que la loi de l'offre et la demande est ressentie dans l'ensemble du marché. Les principaux facteurs qui influent sur la demande dans les marchés gaziers sont : la croissance économique, le climat, le prix des combustibles concurrents et le niveau des stocks. Il est établi que les prix du gaz et du pétrole sont corrélés et le prix du gaz suit celui du pétrole, ce dernier fluctuant avec les événements mondiaux. Ainsi, le prix du gaz, avec un léger décalage, se trouve être indexé sur celui du pétrole.

II.3. Gaz et électricité thermique

Dans le document [4] page 26, Hydro-Québec Distribution table pour 2008 sur un prix livré de gaz naturel de 4.94 Can\$/mpi³. Sur la base

- d'une consommation de Suroît de 1.13 Gm³/an [1],
- d'une conversion pour le gaz naturel 1 pi³ = 0.0283278 m³
- d'un taux de conversion 1 \$ Can = 0.75 \$ US

Nous trouvons que la facture annuelle de Hydro-Québec pour son gaz serait de l'ordre de 197 M\$ par an, ce qui donnerait, en omettant toutes les autres charges, un prix de revient de

$$\boxed{3 \text{ ¢ / kWh}}$$

Il nous semble que le prix du gaz naturel de 4.94 Can\$/mpi³ en 2008 ne correspond ni au prix actuel, ni à celui à venir. Comme l'illustrent les données compilées sur la figure 3, donnée sur la page suivante, Il est vrai que le prix du gaz est particulièrement volatil ces dernières années. Mais, il est vrai aussi que ce prix est particulièrement ferme nettement au-dessus de 5 US\$/mpi³. Il a même atteint un sommet historique de 18.85 US\$/mpi³ l'année passée. Ces données se vérifient aussi bien chez EIA (Energy Information Administration), Henry Hub que NYMEX (New York Mercantile Exchange) ou la Banque Mondiale. La différence de prix entre Henry Hub et EIA provient du fait que cette dernière fait une évaluation de prix à la tête des puits, ce qui donne en moyenne une sous-évaluation de l'ordre de 10 % [23]. D'ailleurs, paradoxalement, dans son mémoire, Hydro-Québec Distribution [3] a fait état d'une augmentation moyenne de 55 % du prix du gaz entre 1998 et 2003.

Comme l'illustre la figure 3, le scénario de référence pour EIA table sur un prix en 2008 de l'ordre de 5.6 US\$/mpi³. Mentionnons que ce prix n'a rien d'exceptionnel puisque c'est le prix en cours tout au long de cette année. Sur la base de ce prix, nous évaluons la

facture annuelle de Hydro-Québec pour son gaz à 298 M\$ par an, ce qui donnerait, en omettant toutes les autres charges, un prix de revient de

$$\boxed{4.6 \text{ ¢ / kWh}}$$

Ces deux calculs montrent à quel point le prix de revient du kWh est tributaire du prix du gaz. Il se trouve que d'après les projections de EIA, le prix du pétrole va augmenter assez substantiellement à l'horizon 2025 [17]. Or, comme nous l'avons déjà constaté, le prix du gaz est indexé sur celui du pétrole et une augmentation de 25 % est un scénario que l'on peut considérer comme probable à l'horizon 2008. Faisons quelques simulations supplémentaires pour déduire le prix du kWh qui correspondrait à des augmentations de prix du gaz de 5%, 10%, 15 %, 20%, 25% et 35%.

Prix du gaz naturel US\$/mpc	5.6	5.88	6.16	6.44	6.72	7	7.56
Variation (en %) du prix du gaz naturel	Référence	5	10	15	20	25	35
Prix de production (Can\$/KWh)	406	4.8	5.04	5.27	5.5	5.73	6.2

Il y a lieu de souligner qu'un prix du gaz naturel de 7 US\$/mpc n'a rien de sensationnel, ni de fortuit. Du point de vue thermique, nous l'évaluons comme correspondant au prix de 40 \$ le baril de pétrole, prix approché sur la plupart des marchés pétroliers cet hiver. Comme le prix du gaz est quelque peu indexé sur celui du pétrole, le prix normal du kWh d'électricité que Suroît aurait pu permettre (à l'exclusion de toutes les autres charges) cet hiver aurait été de :

$$\boxed{5.7 \text{ ¢ / kWh}}$$

Nous considérons ces simulations fort utiles, surtout que pour cette question du prix du gaz, Hydro-Québec a été plus qu'évasif dans ses réponses aux partenaires de ce dossier. En particulier,

- On ne sait pas si le Producteur prévoit acheter l'électricité de la centrale selon une formule de prix indexée au prix du gaz ou est-ce qu'il s'approvisionnera directement sur les marchés de gaz naturel. Or, le marché du gaz, fébrile et instable, doit tenir compte de la notable réduction des réserves, ce qui pourrait se faire sentir de façon plus aigue lors de la décennie à venir. En particulier, le ratio canadien réserves/production de gaz commence à devenir anormalement bas, surtout par rapport à celui des pays exportateurs de gaz. Et, n'oublions pas que les risques rattachés au gaz (volatilité, réserves) sont entièrement assumés par Hydro-Québec Production.

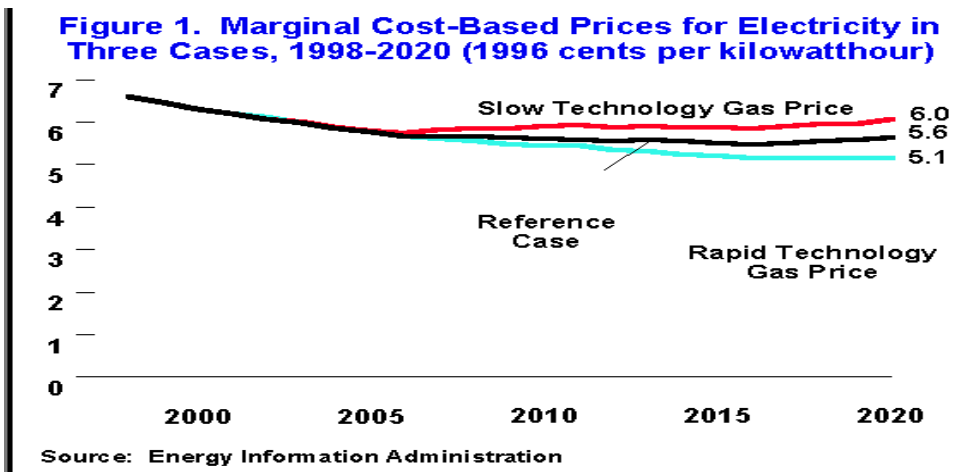
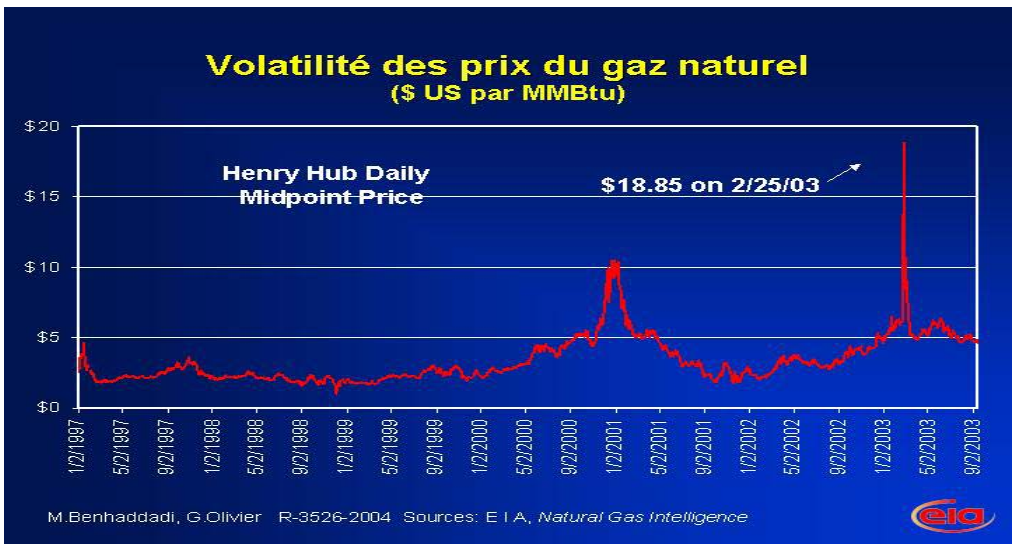
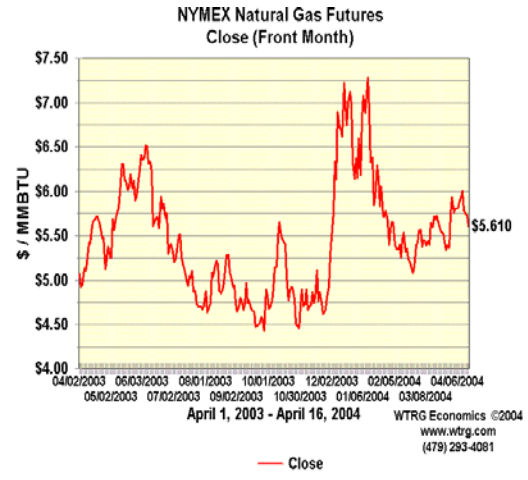
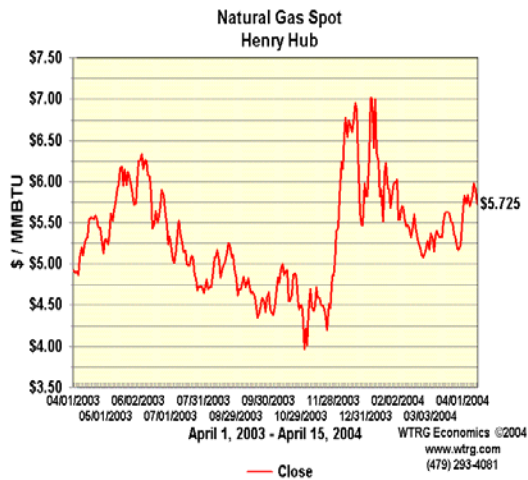


Fig. 3 Prix du gaz naturel

- Par ailleurs, à notre question de savoir si l'évolution du prix du gaz [7] est donnée en dollars constants ou courants, HQD a répondu que c'est en dollars courants. Nous sommes d'avis que la réponse donnée éloigne encore davantage les résultats produits de la réalité. Nous avons joint en annexe le document en question.

III. ÉNERGIE ÉOLIENNE

Dans le domaine de l'éolien, l'adage de mise est: "qui sème le vent récolte l'énergie". En effet, les éoliennes convertissent la force et la vitesse du vent en électricité grâce à des ensembles hélices turbines / machine auxquels on ajoute de plus en plus souvent un variateur électronique de vitesse pour rendre le système plus performant. Les turbines sont placées à des hauteurs, variant de quelques mètres à plus de 75 m et, en général, on considère qu'une éolienne sur un bon site terrestre avec une vitesse moyenne annuelle du vent de 7,5 m/sec fonctionne 30 % du temps sur l'année. Puisqu'une éolienne fournit une puissance variable selon la vitesse du vent, le caractère aléatoire du vent entraîne une production localement variable, mais qui est de nos jours de plus en plus prévisible grâce aux progrès de la météorologie.

La puissance éolienne récupérable à l'échelle planétaire est estimée à plus de 50 000 TWh/an!!!, soit plus du double de la demande mondiale d'électricité prévue pour 2025!!!. Qui plus est, quand des évaluations plus précises sont effectuées, elles tendent à mettre en évidence un potentiel éolien encore plus élevé que ne le suggèrent les études préliminaires. C'est ainsi le cas de l'Allemagne qui se retrouve avec un potentiel cinq fois supérieur à ce qui était indiqué dans une étude datant de...10 années. Cela pourrait très bien être aussi le cas du Québec dont le potentiel éolien n'a jamais été encore évalué à sa juste valeur. Il est d'ors et déjà avéré qu'en Europe, le potentiel est amplement suffisant pour satisfaire au moins 20% de la demande d'électricité d'ici 2020, en particulier avec la prise en compte du nouveau marché offshore.

Depuis deux décennies, l'énergie éolienne est la source d'énergie qui connaît le plus fort taux de croissance dans le monde, de l'ordre de 25 à 30%!!! par année. Rien qu'en 2001, près de 6 000 MW de capacité éolienne supplémentaire a été ajoutée au réseau électrique (figure 4). Cette figure 4, gracieuseté de Ressources Naturelles Canada à notre site de cours [8], illustre aussi l'expansion exponentielle de cette filière. Cette tendance se maintient encore aujourd'hui puisque la puissance éolienne installée de par le monde est passée de 24 000 MW en 2001 à 31 000 MW en 2002, dont près de 12 000 MW en Allemagne, 4 000 MW en Espagne, 2 900 MW au Danemark.

En plus des chefs de file (Allemagne, Danemark, Espagne), dans d'autres pays européens (Italie, Pays-Bas, Royaume-Uni...), d'ambitieux programmes de développement de la filière éolienne ont été lancés car le marché émergent des « certificats verts » permet à ces pays de bénéficier pleinement de la réglementation européenne relative aux aides aux énergies renouvelables. À la traîne, avec une puissance éolienne installée relativement dérisoire (de l'ordre de 150 MW), la France a initié un ambitieux programme de récupération qui porterait sa puissance installée à moyen terme à 6000 MW. Bien que l'Europe représente 70% de la puissance éolienne mondiale, d'autres régions commencent

à émerger en tant que grands marchés : l'Inde, la Chine et les États-Unis qui ont une puissance installée 20 fois celle du Canada.

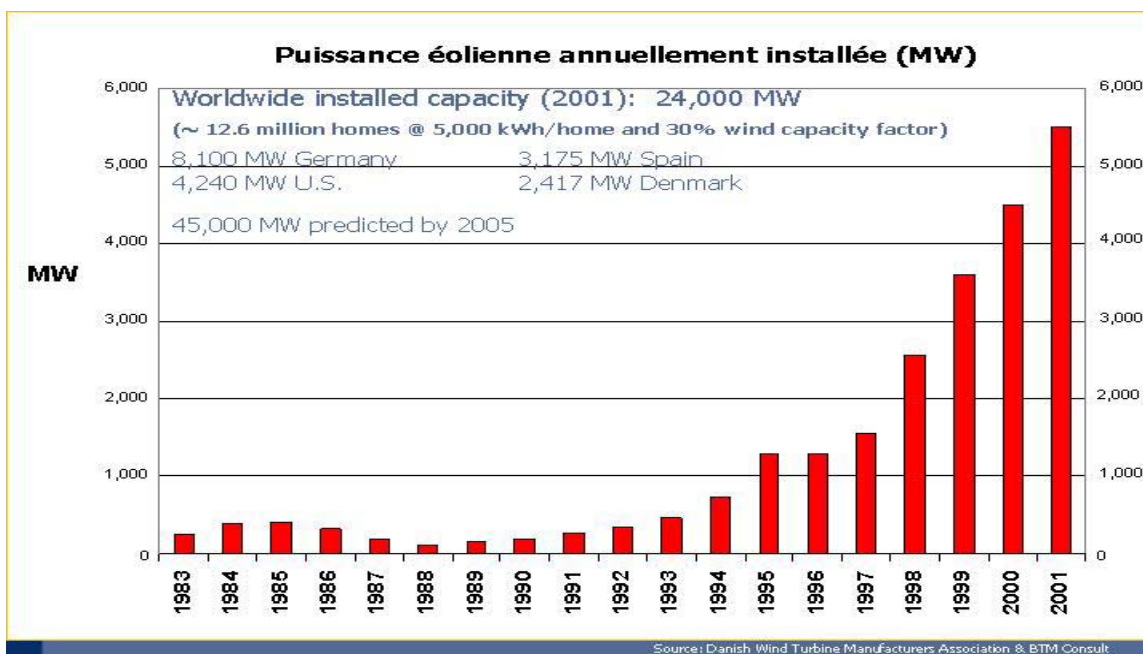


Fig. 4 Puissance éolienne annuellement installée dans le monde

Toutes les prévisions à court et moyen terme indiquent que l'énergie éolienne est en mesure de maintenir une farouche croissance de 20-25 % qui lui permettrait, dès 2012, de tabler sur une puissance installée de 350 GW.

La future demande d'électricité est estimée régulièrement par l'Agence internationale de l'énergie (AIE). Le World Energy Outlook 2004 de l'AIE [16] indique que d'ici 2020, dans un scénario où les pratiques actuelles restent inchangées, la demande mondiale va atteindre près de 21 000 TWh. Pour que l'énergie éolienne représente près de 15% de la consommation mondiale, il faudra donc qu'elle génère une production de l'ordre de 3 000 TWh par an d'ici 2020. L'European Wind Energy Association a dévoilé un rapport qui indique que d'ici 2020 l'énergie éolienne pourrait produire plus de 3000 TWh, soit 12 à 15 % de la demande d'électricité mondiale, et cela en supposant un doublement de la demande d'ici 2020 [28].

En tablant sur une croissance de 15 % entre 2012 et 2020 et un taux plus réduit de 10 % au-delà, Cela signifie qu'à l'horizon 2030-2040, la puissance éolienne pourrait atteindre environ 3 000 GW, soit 20% de la consommation mondiale projetée.

Ce scénario d'une croissance soutenue de l'énergie éolienne est basée sur ce qui suit.

1. Au début des années 1980, la croissance annuelle a été de 40 %; elle est de 30 % cours de ces six dernières années et il n'y a aucun signe d'essoufflement à court et moyen terme.
2. L'augmentation de la puissance unitaire des éoliennes qui devrait passer de 750 kW à 1.5 MW. Déjà de nos jours, des éoliennes de 3,5 MW sont expérimentées en

- Allemagne. De plus, Il n'y a plus d'obstacle technique à l'intégration de plus grandes quantités d'énergie éolienne au réseau électrique.
3. Le coût de l'énergie éolienne a connu une baisse drastique : le coût de production d'un kWh est aujourd'hui juste le 1/5 de ce qu'il était les années 80. Il est déjà compétitif par rapport aux nouvelles centrales au charbon. En Europe, de nos jours, les éoliennes nécessitent près de 800 \$/kWh installé et la production coûte 4 ¢/kWh. À l'horizon 2010 et 2020, on prévoit que le coût d'un kWh éolien tombera à 3 ¢/kWh puis 2,5 ¢/kWh; le coût d'installation baissera à 650 \$/kWh puis à 530 \$/kWh. Ainsi, du point de vue strictement économique, le coût de l'énergie éolienne sera de plus en plus attractif par rapport aux autres technologies énergétiques.
 4. L'ouverture du marché de l'énergie éolienne offshore. Un nouveau secteur de marché est en train d'émerger offshore, avec plus de 20 000 MW de parc éolien en projet dans les mers d'Europe du Nord.
 5. La croissance faramineuse actuelle de l'éolien a déjà été observée par le passé pour le nucléaire, au cours des années 1970-1990.
 6. L'argument principal qui permettrait le maintien d'une expansion toujours accrue de l'énergie éolienne provient de la nécessité de plus en plus urgente de lutter contre les changements climatiques. La réduction des émissions de CO₂, gaz responsable de l'aggravation de l'effet de serre qui a pour conséquence la perturbation du climat planétaire, est certainement l'avantage écologique le plus important de la génération d'énergie éolienne. Partant du principe que l'énergie éolienne peut éviter, à l'échelle planétaire, le dégagement de plus de 600 tonnes de CO₂ par GWh généré, on pourrait économiser près de 2 milliards de tonnes de CO₂ par an dès 2020 et 5 milliards en 2040 !!!.
 7. Grâce au Protocole de Kyoto, des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) ont été fixés à la plupart des pays développés. Pour parvenir à leurs objectifs respectifs, ces pays ont adopté divers mécanismes de soutien des marchés, qui se fondent entre autre sur l'obligation pour les fournisseurs d'énergie de tirer un pourcentage croissant de leur production de sources renouvelables, ce qui se traduit systématiquement par l'augmentation de l'énergie éolienne. De plus les pays dits à économie émergente, à l'image de la Chine et de l'Inde sont en train de contribuer de façon importante à l'augmentation de l'énergie éolienne.
 8. Le monde est en train de limiter les GES et de les estimer au moyen d'outils économiques comme les systèmes commerciaux d'émissions. Si demain l'on attribuait une valeur monétaire aux dommages écologiques causés par les combustibles fossiles utilisés pour générer de l'électricité, alors le prix de l'énergie éolienne baisserait encore sensiblement, ou alors celui de l'énergie thermique augmenterait de façon importante.

Le Canada a initié un programme d'encouragement à la production d'énergie éolienne (EPÉÉ) par lequel le gouvernement fédéral offre un incitatif financier de l'ordre de 1¢ par kWh pour la production éolienne. Ce programme s'applique aux 1 000 premiers MW installés au pays sur la base du premier à produire, premier servi. L'engouement pour ce programme a été tel que dès son lancement, 67 projets totalisant 2 500 MW ont été enregistrés, dont le tiers au Québec!!!

En parallèle, le Québec a lancé un ambitieux programme de développement de 100 MW annuel pendant 10 ans. Ce programme dont les soumissions doivent être traitées au courant de cette année était effectivement ambitieux par rapport à l'année où il a été lancé. Mais, on doit tenir compte du fait que :

- d'une part, comme on l'a mis en exergue ci-dessus, la filière éolienne se développe à un rythme particulièrement élevé avec des coûts de plus en plus bas qui, à terme, vont s'avérer compétitifs,
- d'autre part, le potentiel éolien québécois dernièrement mis en évidence se révèle particulièrement important.

Par ailleurs, les détracteurs du développement de la filière éolienne au Québec lui font le reproche d'être peu efficace au moment opportun, c'est-à-dire en pointe. Nous pensons que cet argument ne peut plus être avancé dans le futur.

- d'une part, les éoliennes sont désormais munies de variateurs électroniques à base de convertisseurs de l'électronique de puissance et deviennent de plus en plus performantes, y compris dans les conditions extrêmes de fonctionnement,
- d'autre part, de l'aveu d'Hydro-Québec Distribution [6], la situation actuelle est serrée au niveau de l'énergie et non en puissance et jusqu'en 2009-2010, dans un scénario moyen de demande, HQD ne prévoit pas de besoins en puissance à la pointe [6]. Cela se passe de tout commentaire.

De l'analyse ci-dessus produite, et eu égard à ses immenses perspectives, nous suggérons d'encourager vivement le lancement d'un nouvel appel d'offre pour un quote-part éolien de l'ordre minimal de l'ancien (1000 MW). Il est indéniable que la promotion de l'énergie éolienne est une avenue de la promotion de l'efficacité énergétique.

IV. KYOTO, CANADA, QUÉBEC ET...SUROÏT

IV.1. Kyoto et les mécanismes de flexibilité

Les changements climatiques constituent un des principaux enjeux du 21^e siècle et, le Protocole de Kyoto est une entente internationale qui propose, pour 2008-2010, une réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES, exprimés en équivalent CO₂) des pays industrialisés de 5.2 % sous le niveau de 1990.

Pour devenir effectif, le Protocole de Kyoto doit avoir été ratifié par au moins 55 pays, dont les émissions combinées représentent au moins 55 % du total de leurs émissions de 1990. Près de 120 pays ont déjà ratifié ce Protocole; mais ils ne représentent que 44 % des émissions. Avec le désengagement des USA, seule la ratification attendue de la Russie (avec 17 % des émissions) permettrait son entrée en vigueur prochainement, au courant de l'année 2004.

Il est important de souligner qu'en plus de toutes les actions locales qu'ils peuvent entreprendre, le Protocole de Kyoto laisse aux pays signataires une certaine marge de manœuvre en ce qui concerne les moyens d'atteindre leurs objectifs respectifs. À cet effet, certains mécanismes de flexibilité ont été prévus :

- LE MÉCANISME DE DÉVELOPPEMENT PROPRE : les pays industrialisés pourront obtenir des crédits d'émissions s'ils financent des projets de réduction d'émissions dans les pays en développement. Par exemple, une aluminerie québécoise devant réduire de 20 000 tonnes ses rejets de carbone d'ici la période

- de conformité pourra payer une vieille aluminerie chinoise (ou russe) pour effectuer la même réduction à un coût qui pourrait s'avérer beaucoup moins élevé. Lors de la conférence de La Haye, le Canada a proposé sans succès que l'énergie nucléaire soit incluse dans ce mécanisme, car l'électricité produite à partir du nucléaire est une source d'énergie qui produit peu de GES.
- LA MISE EN ŒUVRE CONJOINTE : consiste à réaliser un projet de réduction d'émissions de GES entre deux pays de l'Annexe B (pays industrialisés signataires). Le projet de réduction d'émissions fait l'objet d'un contrat entre les deux Parties dans lequel sont réparties les réductions chiffrées entre les deux pays. Les réductions découlant du projet sont directement applicables sur les engagements chiffrés de chaque pays.
 - L'ÉCHANGE INTERNATIONAL DE DROITS D'ÉMISSIONS : consiste à vendre ou à acheter des droits d'émissions entre les pays de l'Annexe B. Les échanges seront contrôlés afin qu'un pays de l'Annexe B ne vende pas plus de droits d'émissions qu'il n'en détient. Une certaine quantité de droits ne pourront être vendus (réserve) afin que chaque pays soit en mesure de respecter les engagements chiffrés de réduction d'émissions qu'il a accepté dans le cadre du Protocole de Kyoto. Les pays ayant développé une technologie permettant de réduire les émissions pourront vendre un permis, équivalent à cette réduction, aux pays intéressés à se procurer des droits d'émissions supplémentaires. Il est intéressant de noter que cette idée de « permis négociables » a été proposée par les États-Unis en échange de leur adhésion au protocole.

IV.2. Le fossé canadien

En ratifiant le Protocole de Kyoto, le Canada s'est engagé à réduire de 6% ses émissions de gaz à effet de serre (GES, mesurés en tonnes équivalent CO₂) par rapport à leur niveau de 1990, et ce, d'ici 2008-2012. Si rien n'est fait, certaines estimations voient le niveau d'émissions dépasser de 240 MT celui de 1990 d'ici 2012.

Ce qui caractérise en 1^{er} lieu le Canada au sein des pays développés, c'est que plus de 60% de son électricité est d'origine hydraulique. Néanmoins, malgré cet atout indéniable, le Canada est au sein de l'OCDE le pays où le taux d'émissions par habitant est parmi les plus élevés. Qui plus est, en 10 ans, ces émissions ont augmenté de 19.6 %, passant de 607 MT en 1990 à 726 MT équivalent CO₂ en l'an 2000. Pour la 1^{ère} fois en 10 ans, ces émissions ont baissé à 720 MT en 2001.

Ainsi, sur des émissions globales de 720 millions de tonnes de GES en 2001 (figure 5), l'industrie est responsable de près de la moitié. Les secteurs les plus en cause sont la production d'électricité (111 Mt), la production et la distribution du pétrole et du gaz (98 Mt) et les industries à forte consommation d'énergie (les pâtes et papier, la sidérurgie, la fonderie, la métallurgie, la chimie...)

Actuellement, le fossé entre les émissions de GES au Canada et l'engagement pris à Kyoto pour réduire les émissions de gaz à effet de serre de 6 % en dessous des taux de 1990 se situe à environ 130 millions de tonnes; si rien n'est fait, on anticipe que ce fossé devrait être d'au moins 200 MT d'ici l'an 2010 (figure 5).

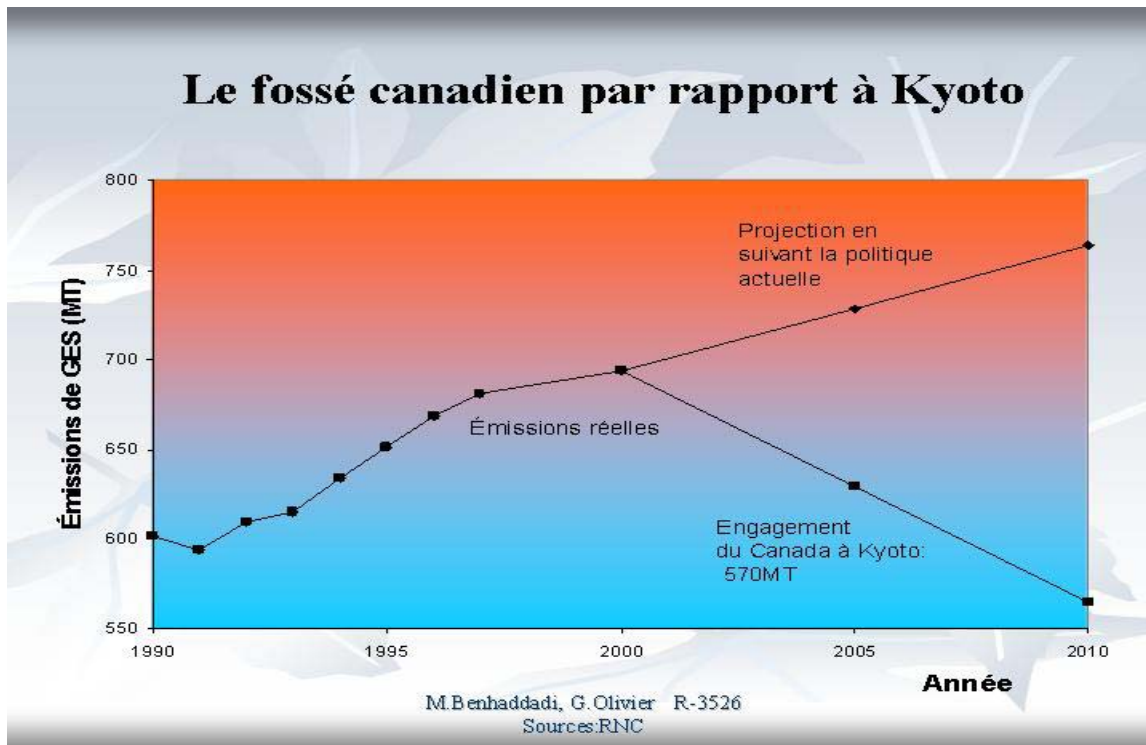


Fig. 5 Fossé canadien par rapport à Kyoto

Entre 1990 et 1997, les émissions de gaz à effet de serre provenant de l'industrie ont augmenté de 14 %. En réalité, plusieurs secteurs ont vu leurs émissions rester stables ou même baisser au cours de cette période, alors que d'autres ont connu des hausses considérables. Il est néanmoins prévu que les émissions de gaz à effet de serre dans la plupart des secteurs industriels importants soient au-delà des taux de 1990 d'ici 2010. Dans leur ensemble, les émissions de GES de l'industrie canadienne devraient en 2010 être 30 % plus élevées que les taux de 1990.

L'industrie canadienne peut protéger le climat en améliorant le rendement énergétique, en utilisant des combustibles dégageant moins de gaz carbonique, en favorisant l'utilisation d'énergies renouvelables et en adoptant des technologies mixtes. Certains secteurs ont également des occasions rentables de réduction des émissions fugitives et de transformation industrielle.

Le rapport officiel déposé aux Nations-Unies estime que pour la première fois depuis la récession de 1992, en 2001 Le Canada a émis 720 millions de tonnes de CO₂ contre 730 en 2000 tandis que le PIB a cru de 1.4%. Ces données confirment que l'intensité carbonique de l'économie, mesurée en tonnes de GES par dollar de production économique a diminué aussi et ce de 2.6% entre 2000 et 2001. En moyenne, l'intensité diminue de 1 % par an depuis 1990, gain insuffisant pour compenser l'effet de la croissance économique. Cependant, le défi du protocole de Kyoto demeure bien présent : d'ici la période conformité 2008-2012, le pays devra réduire ses émissions annuelles à 570 Mt, soit une réduction de 20 % par rapport à 2001 [figure 5].

IV.3. Portrait du Québec

a) portrait à l'échelle canadienne

Le portrait québécois en matière d'émissions de gaz à effet de serre (GES) est bien différent des autres provinces canadiennes. En 2000, les émissions québécoises de GES ne représentaient que 12.5 % des émissions canadiennes. Ainsi, chaque québécois émet 12 tonnes de GES, le plus faible ratio au Canada dont la moyenne se situe à 23.6 tonnes par habitant. Qui plus est, de 1990 à 2000, les émissions totales de GES du Québec ont augmenté de 2.3 % contre 19.6 % pour le Canada [24].

Cette relativement bonne performance est expliquée par ce qui suit :

- Au Québec la capacité de production d'électricité est à près de 97 % d'origine hydraulique;
- Au Québec, plus que dans n'importe quelle autre province, on a un plus grand recours à l'électricité comme source d'énergie (41.7 % en 2000);
- Le Québec affiche au sein du Canada la plus faible consommation d'énergie par habitant, soit 4.89 tep versus 5.58 tep pour la moyenne canadienne[24].

Les secteurs qui émettent le plus de GES au Québec sont ceux de l'industrie (32.5 %) et surtout des transports (38 %), ce dernier secteur a connu une hausse de 14.5 % et est le principal responsable de la croissance des émissions québécoises durant la dernière décennie [624].

b) Le Québec et Kyoto

En 1990, les émissions québécoises de GES étaient de 86.4 MT équivalent CO₂. Selon le ministère de l'environnement du Québec [15], en 2000, ces émissions sont passées à 88.3 Mt, soit une augmentation de 2.2 % contre 19,6 % pour le Canada. Selon Environnement Canada [15], les émissions sont passées à 90.4 MT en 2000 et 2001.

À Kyoto, le Canada s'est engagé à réduire ses émissions de GES de 6 % à l'horizon 2008-2010 par rapport aux émissions en 1990. Un objectif similaire assigné au Québec devrait baisser les émissions de 5.2 MT, à 81.2 MT. Mais, pour réaliser ses objectifs, le Canada a opté pour une vision sectorielle qui se traduit par des négociations directes entre le gouvernement fédéral et les associations industrielles. Mais, d'après le gouvernement fédéral, le scénario de mise en œuvre du protocole de Kyoto retenu par le Canada prend pour hypothèse que les réductions des émissions seraient assumées par le gouvernement fédéral, du moins pendant toute la période de conformité..

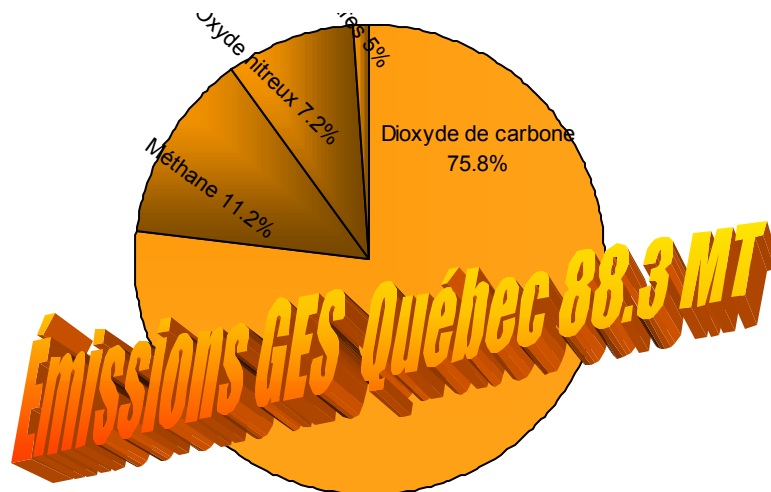


Fig. 6 Émissions de GES au Québec en 2000

c) Production d'électricité et les émissions de GES

Selon le plan du gouvernement fédéral, les grands émetteurs finaux GEF dont fait partie le secteur de la production d'électricité d'origine thermique, feront l'objet d'engagements contractuels. Le gouvernement s'est engagé à exiger la déclaration des émissions de GES à partir de 2004 et, à partir de 2008, il serait interdit d'émettre des GES sans détention de permis équivalent au nombre de tonnes de GES émises. De plus, la déclaration sera obligatoire et vérifiable, et contiendra des dispositions appropriées pour déclarer les émissions au niveau des installations. L'effort exigé de ces GEF consiste à réduire leurs émissions de 55 MT de CO₂, ce qui représente 15 % de leurs émissions projetées dans un scénario ne tenant pas compte du Protocole de Kyoto et communément appelé "business as usual".

Ainsi, les entreprises du secteur de la production d'électricité recevraient gratuitement pour chaque année de la période de conformité 2008-2012 un certain nombre de permis, en fonction de leurs facteurs d'émissions et de leurs productions annuelles. Les détails de ce plan fédéral au jour d'aujourd'hui 20 avril 2004 ne sont pas encore connus. Néanmoins, il est plus que probable que :

- le nombre de permis fourni gratuitement par le gouvernement fédéral devrait être égal à 85 % des émissions prévues pour 2010 dans le scénario "business as usual",
- les entreprises qui dépasseraient les permis gratuitement alloués pourraient acquérir des permis supplémentaires disponibles sur le marché canadien grâce aux entreprises qui auront diminué leurs émissions ou en recourant aux mécanismes de flexibilité prévus dans le Protocole de Kyoto,
- Le gouvernement fédéral garantit aux entreprises des permis supplémentaires au prix maximal de 15 \$ la tonne de CO₂ pendant la période de conformité, 2008-2012.

En revanche, il n'y a aucune garantie de prix maximal sur les permis après 2012 qui seraient probablement assujettis aux lois du marché. Bien plus, il n'y a aucune assurance que la politique de l'allocation gratuite de 85 % des permis serait prolongée au-delà de 2012.

d) Suroît et les émissions de GES

Eu égard au fait que les détails du fonctionnement du mécanisme d'allocation des permis dans le secteur de la production d'électricité ne sont pas connus, différents scénarios peuvent être élaborés dans le cadre du projet de Suroît. Nous considérons les cas de figure qui suivent.

Commençons par calculer le facteur d'émissions de GES de l'ensemble des centrales thermiques canadiennes. D'après Ressources Naturelles Canada, en 2010, l'électricité d'origine thermique serait de l'ordre de 198 TWh (charbon 89.3 TWh, gaz 103.9 TWh et pétrole 4.5 TWh) et les émissions correspondantes de GES seraient de 130 MT. Ainsi, le facteur d'émission serait :

$$(130) 10^6 \text{ T} / 198 10^3 \text{ GWh} = 656 \text{ T} / \text{GWh}$$

Calculons présentement le facteur d'émissions de GES de l'ensemble des centrales thermiques canadiennes en tenant compte que le gouvernement fédéral compte fournir gratuitement aux entreprises de production d'électricité 85 % des permis d'émissions requis .

En tenant compte d'une réduction de ces GES de 15 %, le facteur d'émission serait de:

$$(130 - (130*0.15)) 10^6 \text{ T} / 198 10^3 \text{ GWh} = 558 \text{ T} / \text{GWh}$$

- Dans le cas où l'hydroélectricité et l'énergie éolienne provenant de nouvelles installations ne seront pas intégrées au système d'allocation de permis et que tout nouveau projet thermique obtient gratuitement un nombre de permis égal à 85 % des émissions prévues pour 2010, HydroQuébec Production devrait, entre 2008 et 2012, acheter dans le cadre du projet de Suroît des permis pour:

$$0.15 * 6500 \text{ GWh} * (2.25 10^6 \text{ T} / 6500 \text{ GWh}) = 337500 \text{ T} = 0.3375 \text{ MT}$$

Ainsi, au prix de 10 \$ à 15 \$ la tonne, Suroît pourrait occasionner, entre 2008 et 2012, une taxe carbone annuelle de 3.4 à 5 millions \$.

- Dans le cas plus que probable où l'hydroélectricité et l'énergie éolienne provenant de nouvelles installations seront intégrées au système d'allocation de permis pour 85 % du taux d'émission de base, Hydro-Québec Production disposerait pour les 19 TWh de ses nouvelles ressources (2000-2010) de permis équivalent à :

$$0.85 * 19 000 \text{ GWh} * (2.25 10^6 \text{ T} / 6500 \text{ GWh}) = 5.6 \text{ MT}$$

- Le 3^e scénario à considérer est que, après 2012, le gouvernement fédéral n'octroie aucune subvention et n'accepte aucune compensation. Dans ce cas, au prix de 10 à 15 Can\$ la tonne, les 2.25 Mt d'équivalent CO₂ vont générer des surcoûts annuels de 22.5 à 33.75 M\$. Ces surcoûts engendreront une augmentation supplémentaire du prix de l'électricité générée de

$$\boxed{0.35 \text{ à } 0.52 \text{ ¢ / kWh}}$$

- Le dernier scénario à considérer est que les 6.5 TWh de Suroît puissent être fournies par des importations en provenance des Etats-Unis pour 60 % et du Nouveau-Brunswick et Ontario pour 40 %. En tenant compte qu'au Etats-Unis, 70 % de l'électricité est d'origine thermique [27], on trouve un facteur d'émissions de GES de l'ensemble des centrales thermiques américaine de l'ordre de 950 T / GWh contre 656 T / GWh pour le Canada. Ainsi, les émissions de GES causées par les 6.5 TWh importées seraient de l'ordre de :

$$\boxed{6500 \text{ GWh} * [(0.6 * 950 \text{ T / GWh}) + (0.4 * 656 \text{ T / GWh})] = 5.4 \text{ MT}}$$

Il est admis que ce résultat est loin d'être exact, eu égard aux simplifications et approximations faites dans les calculs. Néanmoins, son ordre de grandeur est réel car pouvant être justifié par le fait qu'au Etats-Unis, 50 % de l'électricité est tirée du charbon [27] alors qu'au Canada, 60 % de l'électricité est d'origine hydraulique. Il est indéniable que les importations d'électricité des Etats-Unis et des autres provinces canadiennes ne pourra que détériorer davantage le bilan énergétique québécois du point de vue des émissions de GES. Il serait, de ce fait, plus qu'inapproprié de devoir acheter de l'électricité à partir de marchés qui la produisent à partir de sources particulièrement polluantes. Bien plus, chiffres à l'appui, nous sommes d'avis que toute part de marché gagnée par le gaz naturel sur les autres combustibles fossiles est favorable à la protection de notre environnement.

Par ailleurs, dans le cas où le projet de Suroît venait à aboutir, il devrait à notre sens se faire avec l'obligation de réserver exclusivement la centrale de Tracy à la demande de pointe hivernale. Les chiffres connus sont éloquentes : par TWh produit, cette centrale pollue deux fois plus que ne le ferait éventuellement Suroît.

4. Conclusion

Nous sommes d'avis que les 2.25 millions de tonnes de CO₂ représentent des émissions importantes, voire considérables. Aussi simplifiés que puissent être les calculs précédemment donnés, ils ne reflètent pas moins que l'édification de la centrale thermique de Suroît ne risque pas de bouleverser l'équilibre environnemental de la province. En effet, ces émissions ne peuvent être considérés sous l'unique échelle locale.

Le calcul des émissions de GES se fait sur une base canadienne; la réduction de ces émissions et le tribut à payer aussi. Nous avons des émissions par habitant deux fois moins élevées que la moyenne canadienne qui ont augmenté de près de 20 % de 1990 à 2000 contre 2.2 % au Québec. On ne peut être plus royaliste que le Roi. Du strict point de vue des émissions de gaz à effet de serre, Le Protocole de Kyoto ne peut être invoqué pour condamner Suroît.

A contrario, Il est indéniable que Suroît pourrait notablement contribuer à :

- faire face à la croissance des besoins en électricité du Québec dont le bien-fondé est admis et assurer la sécurité d’approvisionnement en électricité des québécois,
- emmagasiner de l’énergie sous forme de réserves d’eau en période de faible demande et de la revendre en période de pointe et tirer ainsi profit des variations horaires et saisonnières du prix de l’électricité sur les marchés, ce qui revient à ajouter de la plus-value aux barrages hydroélectriques,
- améliorer le critère de sécurité énergétique d’Hydro-Québec Distribution, et celui de sécurité de réserve de 2000 MW du réseau d’Hydro-Québec TransÉnergie
- améliorer le critère de fiabilité en puissance Hydro-Québec Production, défini par le NPCC (s’assurer de disposer à tout moment de l’année d’une quantité de ressources mobilisables pour assurer une probabilité de défaillance ne dépassant pas 2.4 heures par année),
- améliorer la marge de manœuvre d’Hydro-Québec Production et assurer l’indépendance énergétique vis à vis des marchés extérieurs à court terme,
- atténuer pour Hydro-Québec Production le coût en "fine pointe",
- limiter l’impact de la centrale thermique de Tracy, particulièrement polluante, et lui rendre sa vocation 1^{ère} qui est de fournir de l’électricité en période de pointe,
- Permettre à l’énergie de jouer son rôle de vecteur de développement de la province.

V. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Dans le présent mémoire, nous avons analysé l’ensemble des données produites par les composantes d’Hydro-Québec en prenant soin d’éviter de débattre de questions sur le bilan énergétique autour desquelles il y a un certain consensus, en particulier le scénario mi-fort qui est la conséquence du scénario moyen du plan d’approvisionnement d’Hydro-Québec reconnu raisonnable par la Régie ajusté de l’augmentation des ventes d’électricité en 2002 et 2003.

Dans l’analyse, nous avons relevé quelques incohérences mineures dont l’incidence globale ne devait pas dépasser 1 % de la puissance générée. Néanmoins, nous avons relevé le prix anormalement bas du gaz que HQD a appliqué dans ses calculs. Nous avons fait des simulations du prix de revient du kWh thermique en tenant compte du prix réel du gaz, celui du marché. Ainsi, par a même occasion, on a pu mettre en évidence l’incidence majeure du prix réel du gaz sur le prix de revient du kWh de l’électricité thermique. De plus, il a été mis en évidence que le ratio canadien réserves/production de gaz commence à devenir assez bas, ce qui est inquiétant eu égard au fait que les risques rattachés au gaz (volatilité, réserves) sont assumés par HQP.

Nous avons analysé la situation présente et à venir de la filière éolienne qui, incontestablement, recèle une partie des solutions futures et qui fait l’objet d’un

engouement certain, ici comme ailleurs. Il a été mis en évidence que le lancement d'un substantiel nouveau quote-part éolien au Québec est plus que souhaité. De plus, les détracteurs de cette filière qui lui reprochent sa non fiabilité en pointe se doivent de repenser leurs arguments car HQD reconnaît qu'elle a des problèmes d'énergie et non de puissance.

Le protocole de Kyoto et son application au Canada et au Québec a fait l'objet d'une attention particulière. Ayant dépeint le portrait québécois dans le...fossé canadien, nous avons mis en exergue que le calcul des émissions de CO₂ doit être considéré sur une base canadienne, surtout que le gouvernement fédéral procédera par approche sectorielle. Sur la base de la partie connue du fonctionnement du mécanisme d'allocation des permis dans le secteur de la production d'électricité auquel il serait demandé de réduire de 15 % ses émissions à l'horizon 2010, nous avons élaboré différents scénarios pour le projet de Suroît. La pire solution s'avère être le recours aux importations qui...augmentera les émissions de CO₂. Chiffres à l'appui, Il appert que toute part de marché gagnée par le gaz naturel sur les autres combustibles fossiles est favorable à la protection de notre environnement. Nous sommes d'avis que le projet de Suroît ne saurait être rejeté pour des considérations reliées à l'application du Protocole de Kyoto.

Quelle que soit la décision que la Régie aurait à prendre pour le projet de Suroît, elle ferait des heureux : les étudiants du département de Génie électrique de l'École Polytechnique qui bénéficieront des retombées de la préparation du présent mémoire. Ce mémoire est le résultat de plusieurs centaines d'heures d'analyse et de discussions entre deux collègues; il n'engage pas la responsabilité de leur employeur.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Projet de centrale à cycle combiné du Suroît à Beauharnois par Hydro-Québec. Bape. Rapport 170. 2003.
- [2] Mémoire d'hydro-Québec Production. Dossier 3526-2004.
- [3] Mémoire d'hydro-Québec Distribution. Dossier 3526-2004.
- [4] Présentation d'Hydro-Québec Distribution sur la prévision de la demande, en énergie et en puissance, pour la période 2003-2011, 10 mars 2004.
- [5] Réponses d'Hydro-Québec Production à la demande de renseignement n1 de la Régie au Producteur en date du 10 mars 2002. Dossier 3526-2004
- [6] Réponses d'Hydro-Québec Distribution à la demande de renseignement n1 de la FCEI. Dossier 3526-2004
- [7] Réponses d'Hydro-Québec Distribution à la demande de renseignement n1 de l'École polytechnique. Dossier 3526-2004
- [8] M.Benhaddadi, G.Olivier : L'énergie dans le monde, au Canada et au Québec. Notes de cours de l'École Polytechnique de Montréal. 2003
<http://www.cours.polymtl.ca/ele2400/>
- [9] M.Benhaddadi, G.Olivier : Including Kyoto in electrical engineering curriculum. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, CCECE 2004
- [10] M.Benhaddadi, G.Olivier : La vitesse variable, facteur d'économie d'énergie et de préservation de l'environnement. International Conference on energy efficiency, ICEE'30, 25-26 Mai 2003, pp 129-133.

- [11] M.Benhaddadi, G.Olivier : La tempête de verglas de janvier 98 et ses répercussions au Québec. Notes de cours de l'École Polytechnique de Montréal. 1998.
- [12] G.Olivier, R.Marceau : Quand tout se met à mal aller... Revue CHOC, Février 2004.
- [13] Estimation des émissions de gaz à effet de serre de 1990 à 2001 pour le Québec. Environnement Canada.
http://www.ec.gc.ca/pdb/ghg/quebec_f.cfm
- [14] Inventaire canadien des gaz à effet de serre 1990-2001. Division des gaz à effet de serre. Environnement Canada. Août 2003
http://www.ec.gc.ca/pdb/ghg/1990_01_report/p2_f.cfm#f17
- [15] Inventaire québécois des gaz à effet de serre. Ministère de l'environnement du Québec, ISBN 2-550-39930-7, 2002.
<http://www.menv.gouv.qc.ca/changements/ges/>
- [16] Natural gas. International energy outlook 2004. April 2004.
<http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.htm>
- [17] World oil markets. International energy outlook 2004. April 2004.
<http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.htm>
- [18] Informations sur le Gaz naturel – CNUCED-
<http://r0.unctad.org/infocomm/francais/gaz/plan.htm>
- [19] Natural gas prices : overview of market factors and policy options. National Council for science and the environment.
<http://www.ncseonline.org/NLE/CRS/>
- [20] Natural gas exchange
<http://www.ngx.com/>
- [21] Natural gas intelligence
<http://intelligencepress.com/>
- [22] Le marché du gaz naturel au Canada. Dynamique et prix : mise à jour. ONE. 2002
- [23] <http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/henryhub/index.html>
- [24] Contexte, enjeux et orientations sur la mise en œuvre du protocole de Kyoto au Québec. Document de référence aux fins des audiences générales de la commission parlementaire sur les transports et environnement. Bureau sur les changements climatiques, 14 février 2003. ISBN 2-550-40375-0022.
- [25] Ressources naturelles Canada. Statistiques sur les ressources naturelles.
<http://www.nrcan.gc.ca/statistiques/>
- [26] Analyse de la répartition de l'électricité au Canada. Rapport final, 2003
http://www.ec.gc.ca/pdb/ghg/Electric2003/Final_Results_Aug13_f.pdf
- [27] Electricity quick stats.
<http://www.eia.doe.gov/neic/quickfacts/quickelectric.htm>
- [28] ENJEUX-ÉNERGIE, vol.1, n6, Octobre 2002
- [29] J.L. Bobin, H.Nifenecker, C.Stéphan 'L'énergie dans le monde : bilan et perspectives' EDP Sciences, 2001
- [30] Oil & Gas Journal, vol. 100, n52, December 23, 2002
- [31] 'Le monde de l'énergie en 2002', Annuaire statistique ENERDATA 2003.
www.enerdata.fr
- [32] C. Ngo 'L'énergie ressources, technologies et environnement', Dunod, 2002

- [33] J.L.Bobin, H.Nifenecker, C.Stephan 'L'énergie dans le monde : bilan et perspectives', EDP Sciences, 2001 .

Question no.5

Dans la présentation d’HQD du 10 mars 2004, l’évolution du prix du gaz naturel (p.26) est-elle donnée en dollars (\$) constants ou courants?

Réponse:

Réponse d'Hydro-Québec Distribution :

Le prix du gaz naturel est en dollars courants.

Question no.6

Serait-il possible d’avoir les données globales de consommation d’énergie mois par mois pour ces cinq dernières années?

Réponse:

Réponse d'Hydro-Québec Distribution :

**Historique mensuel des ventes régulières d’électricité au Québec
- Données publiées en TWh-**

Année 1998												
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
14,4	13,1	13,9	11,4	10,5	10,1	10,1	10,3	10,5	11,0	12,6	14,9	142,8

Année 1999												
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
16,1	13,5	14,0	11,7	10,7	10,2	10,6	10,6	10,4	11,7	12,6	15,0	147,0

Année 2000												
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
16,5	14,6	13,8	12,4	11,2	10,5	10,7	10,9	10,6	11,9	13,1	16,5	152,8

Année 2001												
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
16,4	14,7	14,7	12,1	11,1	10,6	10,8	11,1	10,5	11,8	14,0	14,4	152,2

Année 2002												
Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
15,6	14,5	15,0	12,5	12,1	10,9	11,2	11,4	11,0	12,7	15,3	16,1	158,3

Les ventes publiées pour l'année 2003 étant pour l'instant préliminaires, elles ne sont pas disponibles sur une base mensuelle.