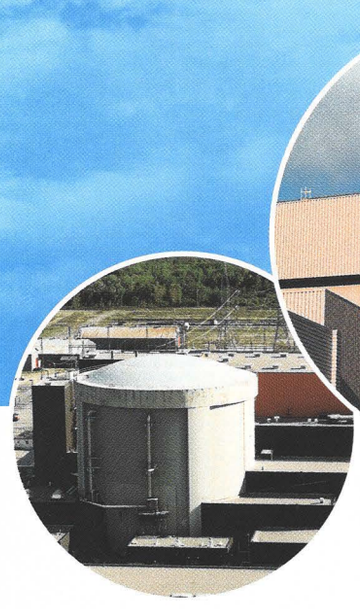
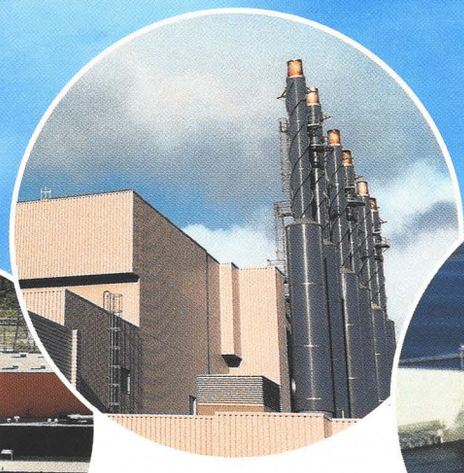
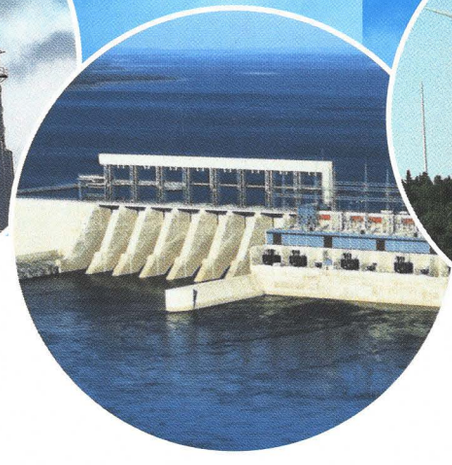
155 DA4
Dérivation partielle de la rivière Manouane
par Hydro-Québec
Saguenay—Lac-Saint-Jean 6211-10-005



Centrale nucléaire de Gentilly-2



Centrale thermique des Îles-de-la-Madeleine



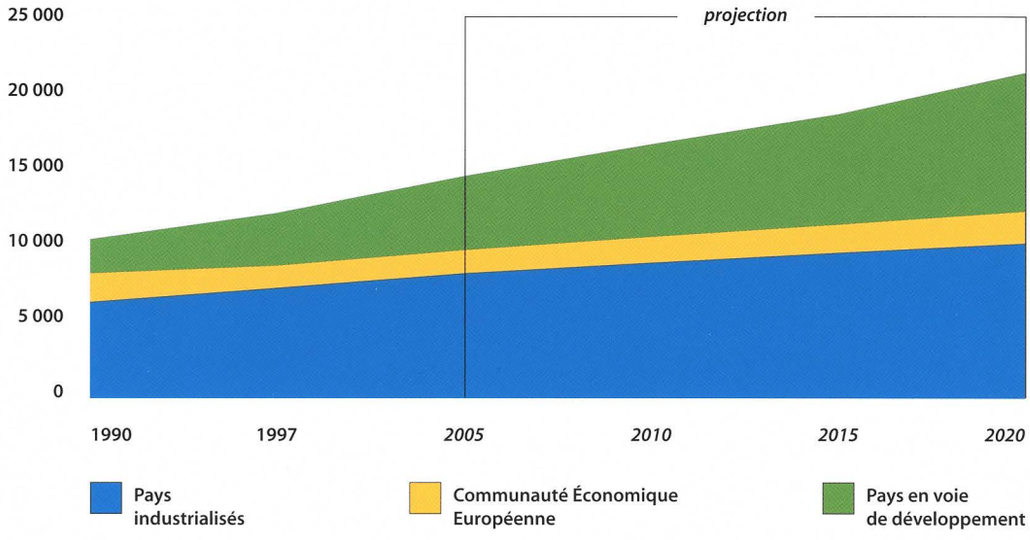
Centrale hydroélectrique La Grande-1

Parc éolien Le Nordais

Comparaison environnementale des options de production d'électricité

Hydro Québec

Consommation mondiale d'électricité en hausse de 76 % de 1997 à 2020



Selon la U.S. Energy Information Administration, la consommation d'énergie au niveau mondial augmentera de 60 % de 1997 à 2020. Pour l'électricité, la consommation totale passerait de 12 000 TWh à 22 000 TWh, soit une augmentation de 76 %, ce qui en fait la forme d'énergie finale qui croît le plus rapidement. La part de la production d'électricité utilisant des combustibles fossiles passerait de 62 % à 69 % alors que celle provenant de sources d'énergie renouvelable se maintiendrait à environ 21 %.

Cette croissance se produira surtout dans les pays en développement où 2 milliards de personnes n'ont pas encore accès à l'électricité. En 2020, ces pays consommeraient au total autant d'électricité que les pays industrialisés alors que, à l'heure actuelle, ils n'en consomment qu'environ la moitié. La disponibilité d'électricité est primordiale pour des services de base comme l'éducation ou la santé. De plus, à l'ère de l'informatique, un approvisionnement fiable et régulier en électricité est devenu essentiel au fonctionnement d'une société moderne.

Pour répondre à cette forte croissance, des investissements majeurs seront requis dans de nouveaux équipements de production d'électricité. Leur choix soulève de nombreux enjeux environnementaux aux échelles locale, régionale et globale et ces enjeux varient beaucoup selon les options disponibles.

Comment se comparent les impacts environnementaux de ces options ? Les fiches ci-jointes répondent à cette question pour des enjeux tels que les émissions de gaz à effet de serre, les précipitations acides et la biodiversité.

DA 4

COMPARAISON *des options de production d'électricité*

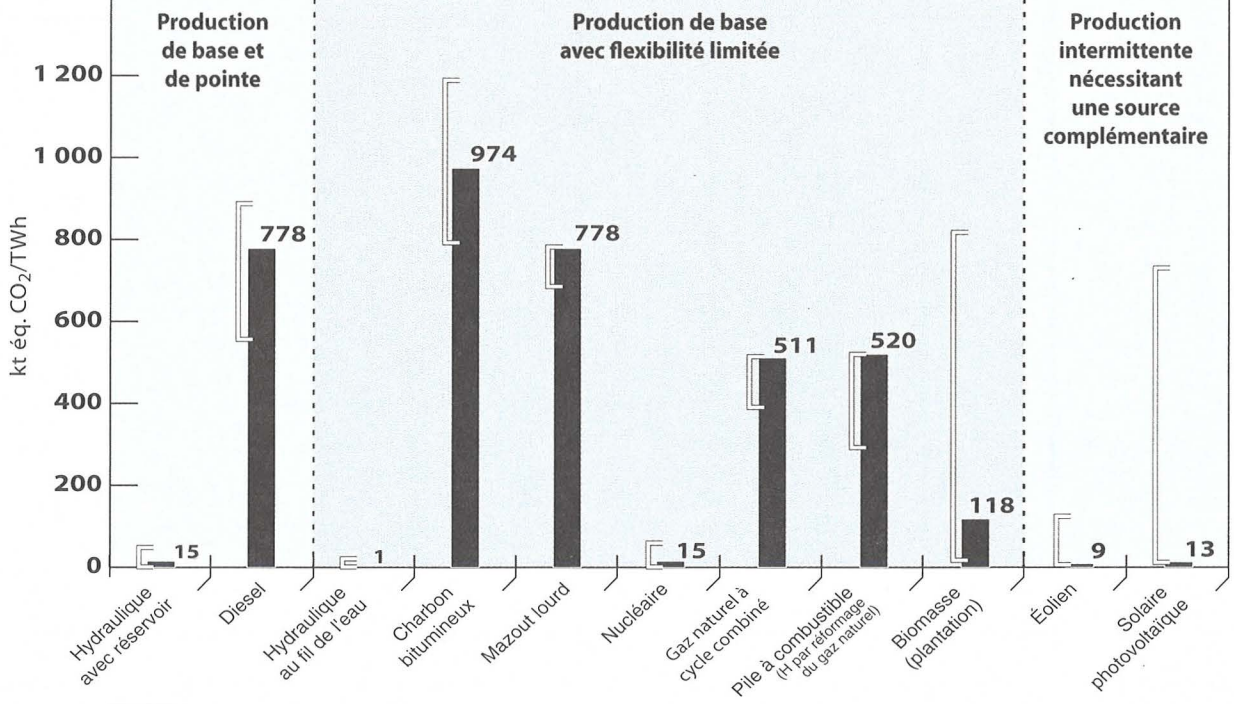
Émissions de gaz à effet de serre

Enjeux environnementaux

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat écrit ce qui suit au sujet des effets du changement climatique sur l'environnement (GIEC, 1996, p. 6-7) :

- « Des températures plus chaudes vont générer un cycle hydrologique plus vigoureux; cela risque de se traduire par des sécheresses et/ou des inondations plus intenses à certains endroits…
- Une évolution rapide et soutenue du climat pourrait modifier l'équilibre de la compétition entre les espèces et même entraîner un dépérissement des forêts…
- Les modèles prévoient une hausse du niveau des océans d'environ 50 cm d'ici l'an 2100. »

*Figure 1 - **Émissions de gaz à effet de serre des options de production d'électricité***



Valeurs représentatives des technologies existantes dans le nord-est de l'Amérique du nord.

Gammes de valeurs identifiées dans la littérature. Ces valeurs sont représentatives des différents systèmes énergétiques dans le monde.

Pour bien comprendre les analyses

Étant donné les conséquences probables du changement climatique, de nombreuses analyses de cycle de vie ont mis l'accent sur les émissions de gaz à effet de serre (GES). Ces analyses produisent des données en « équivalent CO_2 ». Cela signifie que les calculs prennent en compte les émissions de CO_2 et aussi les émissions des autres GES. Cependant, ces autres gaz ont des effets différents sur le climat et peuvent avoir une durée de vie différente dans l'atmosphère. Pour tenir compte de ces différences, le GIEC a défini, pour chacun des gaz, un « potentiel de réchauffement global » par rapport au CO_2. Les analyses de cycle de vie convertissent ainsi chacun des GES en équivalent CO_2 et les incluent dans leur inventaire (voir tableau 1).

*Tableau 1 - **Principaux GES considérés dans l'évaluation des systèmes énergétiques***

Gaz	Formule chimique	Potentiel de réchauffement global par kg sur 100 ans (GIEC, 1996)
Gaz carbonique	CO_2	1
Méthane	CH_4	21
Oxyde nitreux	N_2O	310
Perfluorométhane	CF_4	6 500
Perfluoroéthane	C_2F_6	9 500

Le CO_2 et le CH_4 sont directement reliés aux systèmes énergétiques et ils sont pris en compte dans la plupart des études. Toute combustion entraîne une libération de CO_2 et le gaz naturel commercial est composé à 95 % de CH_4. Les autres GES sont parfois négligés, étant donné les faibles quantités produites par les systèmes énergétiques. Pourtant, si l'on considère leur potentiel de réchauffement global, ces gaz peuvent avoir une incidence sur les résultats.

À la figure 1, qui présente les émissions de GES, certaines analyses portent sur la meilleure technologie disponible, d'autres sur des technologies « courantes », ce qui explique les variations dans les résultats. Pour les combustibles fossiles, il n'existe actuellement aucun épurateur industriel capable de réduire les émissions de CO_2 et les émissions varient surtout en fonction du rendement des centrales.

MÉTHODE

Analyse de cycle de vie
Plusieurs études sur la production d'électricité considèrent seulement les impacts provenant directement des centrales, alors que les valeurs citées ici prennent en compte l'ensemble du cycle de vie de chaque option énergétique.

Électricité de source fossile ou nucléaire
Exploration et extraction, préparation, transport, stockage du combustible ; construction de la centrale, combustion, entretien, démantèlement.

Électricité de source renouvelable
Construction de la centrale, entretien, démantèlement.

Niveau de service
Afin d'établir une comparaison honnête entre les différentes options, la figure 1 a été divisée en trois catégories correspondant à différents niveaux de service : production de base et de pointe, production de base avec flexibilité restreinte, production intermittente nécessitant une source complémentaire.

Faits saillants concernant les émissions de GES

- **De toutes les options de production d'électricité, c'est l'hydroélectricité au fil de l'eau** (sans réservoir) qui présente la meilleure performance, suivie de près par un groupe d'options qui ont des facteurs d'émission semblables : l'énergie nucléaire, l'hydroélectricité avec réservoir et l'énergie éolienne.

- **Il faut cependant noter que les valeurs ne tiennent pas compte des différents niveaux de service.** Les centrales nucléaires et les centrales hydrauliques au fil de l'eau ont peu de flexibilité, tandis que la production éolienne est intermittente. Ces trois options doivent être jumelées à une ou plusieurs autres options « complémentaires », capables de répondre à la pointe. Si ce complément utilise des combustibles fossiles, il y aura augmentation du facteur d'émission de ces trois systèmes énergétiques.

- **Le charbon (installation moderne ou ancienne) présente les facteurs d'émission les plus élevés.** Ces facteurs sont deux fois plus élevés que celui d'une turbine à cycle combiné au gaz naturel.

- **Les facteurs d'émission indiqués pour les centrales hydroélectriques** (avec réservoir ou au fil de l'eau) sont calculés sur une durée de vie de 100 ans des installations (certaines études utilisent plutôt 50 ans).

- **Dans le cas des centrales hydroélectriques avec réservoir,** le facteur d'émission varie selon le site, en fonction de différentes caractéristiques. Une portion de la biomasse ennoyée dans les réservoirs se décompose, créant des émissions de GES. Comme la quantité de biomasse par hectare (ha) peut varier par un facteur de 5 (500 t/ha dans une forêt tropicale comparativement à 100 t/ha en région boréale), cela peut influer sur le volume des émissions. De plus, la superficie de réservoir par kWh varie selon le relief. Pour les centrales ayant une superficie par kWh moyenne, dans une région boréale ou montagneuse, l'hydroélectricité présente un facteur d'émission environ 60 fois plus faible que celui du charbon.

- **Le degré d'incertitude scientifique est relativement faible pour la majorité des résultats cités.** Néanmoins, une part d'incertitude persiste en ce qui concerne l'énergie de la biomasse et l'énergie hydraulique.

  - Le degré d'incertitude le plus élevé concerne l'énergie de la biomasse. Cela tient à une question essentielle, qui n'est pas éclaircie. Le sol d'une plantation de biomasse emmagasine-t-il du carbone de façon permanente ?

  - Il existe aussi des incertitudes au sujet des émissions de GES provenant de la décomposition de la biomasse dans les réservoirs hydroélectriques. Pour les réservoirs boréaux ou de région montagneuse, la quantité de biomasse ennoyée est petite. De ce fait, il est peu probable que dans l'avenir, les études concluent à des facteurs d'émission plus élevés que ceux indiqués dans la figure 1. Pour les réservoirs situés en milieu tropical, les facteurs d'émission pourraient être plus élevés, et ils devraient varier selon les caractéristiques spécifiques de chaque site. Il est à noter que certaines études ne tiennent pas compte des émissions provenant des réservoirs dans leurs évaluations.

Performances futures des systèmes énergétiques

Face à un problème global comme le changement climatique, les nouvelles technologies suscitent de grandes attentes en termes de réduction des émissions. Ces attentes sont souvent dues au fait que des études adoptent une vue partielle d'une option énergétique. Si l'on considère l'ensemble du cycle de vie, ces attentes sont cependant exagérées. L'explication est simple : certaines technologies produisent peu d'émissions de GES à une étape donnée de leur cycle, mais elles en produisent beaucoup à d'autres étapes.

On peut citer plusieurs exemples de ce phénomène. Ainsi, un carburant alternatif comme l'éthanol (provenant de céréales) génère moins de GES que le pétrole lors de sa combustion, mais la production des céréales entraîne des émissions qui annulent cet avantage.

Un cas similaire est celui des piles à combustible, qui fonctionnent pratiquement sans émission polluante, mais qui consomment de l'hydrogène dont la production à partir de gaz naturel s'accompagne d'émissions de GES. Avec une approche de cycle de vie, leur facteur d'émission est aussi élevé que celui d'une turbine au gaz naturel.

Les attentes sont également grandes concernant les technologies de captage du gaz carbonique (CO_2) à la sortie des cheminées. Il s'agit cependant d'un défi considérable. Pour un polluant comme le soufre, l'usage d'un dispositif d'épuration peut se justifier, car le volume de déchets à gérer est raisonnable. La situation est différente pour les émissions de CO_2, parce que le carbone à l'origine du CO_2 représente 50 % du charbon, comparativement à 2 % de soufre dans le cas d'un charbon à teneur élevée en soufre. Il est techniquement faisable de capter tout ce carbone et de le pomper dans des réservoirs profonds dans le sol, mais cela exigera beaucoup d'énergie, coûtera très cher et causera d'autres types de pollution. Les avantages d'une telle technique seront donc bien moindres que les attentes.

En conséquence, au cours des prochaines décennies, il est peu probable que l'on mette au point de nouvelles technologies permettant de réduire sérieusement les émissions de GES. Les mesures visant à favoriser l'efficacité énergétique et l'exploitation des sources d'énergie renouvelables demeureront sans doute les moyens les plus efficaces pour réduire les émissions de GES.

Les valeurs citées ont été compilées dans le cadre d'un projet de l'Agence internationale de l'énergie.

Auteurs : Luc Gagnon, gagnon.luc@hydro.qc.ca
En collaboration avec Camille Bélanger, Enviro-science
© Hydro-Québec, direction – Environnement
Avril 2000
2000G061-1

www.hydroquebec.com/environnement
La reproduction de cette fiche est autorisée.
This publication is also available in english.

Hydro Québec

COMPARAISON *des options de production d'électricité*

Les précipitations acides

Enjeux environnementaux

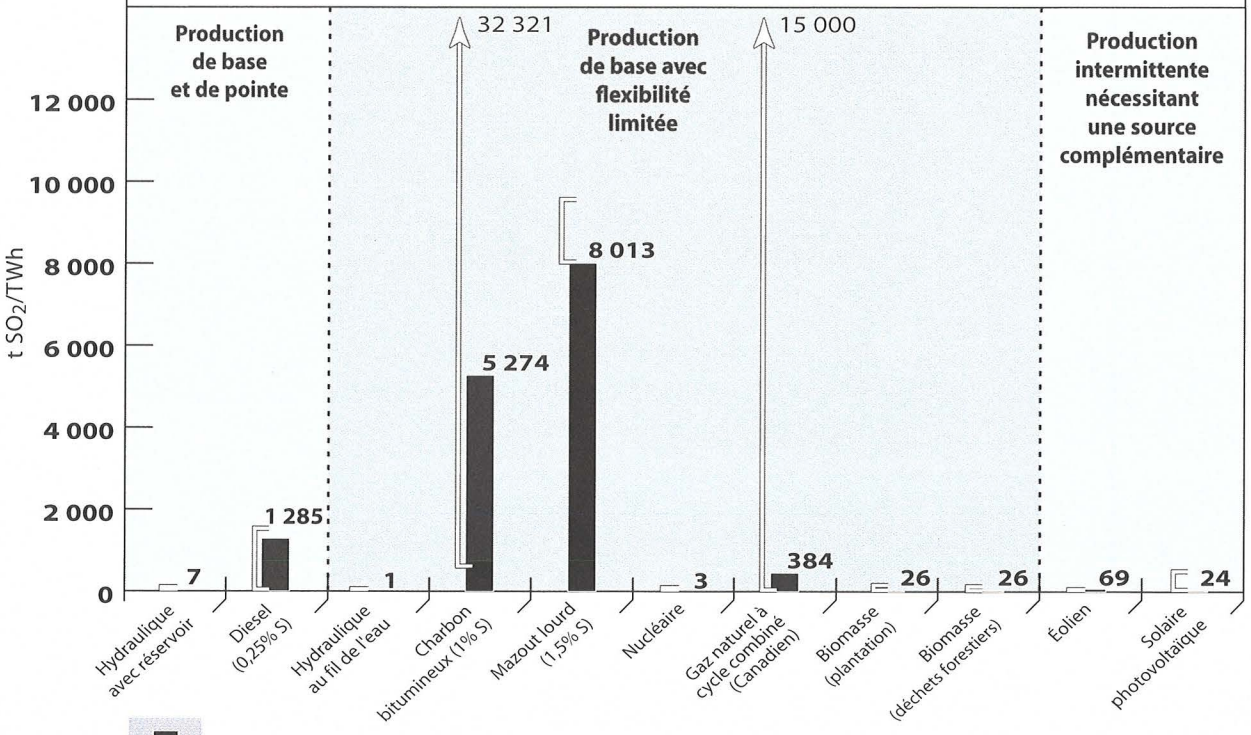
Les figures 1 et 2 présentent les résultats des analyses pour les deux principaux précurseurs des précipitations acides :

- **le principal précurseur est le SO_2,** qui entraîne la formation d'acide sulfurique ;
- **l'autre précurseur, les NO_x ,** entraîne la formation d'acide nitrique (avant de contribuer aux précipitations acides, les NO_x peuvent participer à d'autres réactions chimiques à l'origine du smog).

Les précipitations acides constituent encore un problème majeur dans plusieurs parties du monde. Même en Amérique du Nord, où des programmes de lutte ont permis de réduire les émissions, les spécialistes estiment que, à leur niveau actuel, les émissions de SO_2 et de NO_x réduisent encore la productivité d'un grand nombre de lacs, de cours d'eau et de forêts. Néanmoins, il est difficile d'établir un lien direct entre les émissions atmosphériques et les atteintes aux écosystèmes. De plus, la vulnérabilité des forêts varie de façon importante selon le type de sol.

En somme, il est impossible d'établir un lien direct entre une source ou un type de polluant atmosphérique et les dommages environnementaux causés par l'ensemble des émissions atmosphériques. Les facteurs d'émission présentés dans les figures suivantes doivent donc être considérés comme des indicateurs d'effets potentiels.

*Figure 1 - **Émissions de SO_2 des options de production d'électricité***



Valeurs représentatives des technologies existantes dans le nord-est de l'Amérique du nord.

Gammes de valeurs identifiées dans la littérature. Ces valeurs sont représentatives des différents systèmes énergétiques dans le monde.

Les impacts des polluants acides sur les forêts sont nombreux et parfois indirects (Godish, p. 108-12)*.	• Les acides ont tendance à éliminer certains des éléments nutritifs des sols (K, Ca, Mg). • Les acides peuvent libérer des métaux toxiques comme l'aluminium, portant ainsi atteinte aux racines. • Les apports en azote, principal élément nutritif des plantes, peuvent provoquer un déséquilibre du régime nutritif et rendre les arbres plus vulnérables aux maladies et au gel.
Ajoutons à cela les impacts des autres types de pollution atmosphérique.	• Le smog photochimique peut causer des dommages aux feuilles. • Le changement climatique peut entraîner un accroissement du stress thermique ou de l'intensité des sécheresses.

Pour bien comprendre les analyses au sujet du SO_2

En examinant la figure 1, il ne faut pas oublier que les émissions de SO_2 peuvent varier fortement en fonction de plusieurs facteurs spécifiques à chaque combustible.

- **Pour le charbon,** la teneur en soufre peut varier de 0,5 % à 5 % et même davantage dans certains cas exceptionnels.
- **La teneur moyenne en soufre est de 0,2 % pour le mazout léger** et le carburant diesel et d'environ 2 % pour le mazout lourd, mais ces teneurs peuvent varier grandement d'une région à l'autre.
- **Le gaz naturel commercial** ne contient pratiquement aucun soufre, puisque cette substance est retirée dans les usines qui effectuent le traitement du gaz après l'extraction. Selon la teneur en soufre et la réglementation en vigueur, ce traitement peut alors produire des taux élevés ou faibles d'émissions de SO_2.
- **Il existe plusieurs technologies permettant d'épurer les émissions** des centrales et leur rendement peut varier. Certains équipements d'épuration peuvent réduire d'environ 90 % les émissions de SO_2. De tels équipements n'ont toutefois pas été installés systématiquement.

Il est donc normal que les analyses arrivent à des facteurs d'émissions de SO_2 très variables.

MÉTHODE

Analyse de cycle de vie
Plusieurs études sur la production d'électricité considèrent seulement les impacts provenant directement des centrales, alors que les valeurs citées ici prennent en compte l'ensemble du cycle de vie de chaque option énergétique.

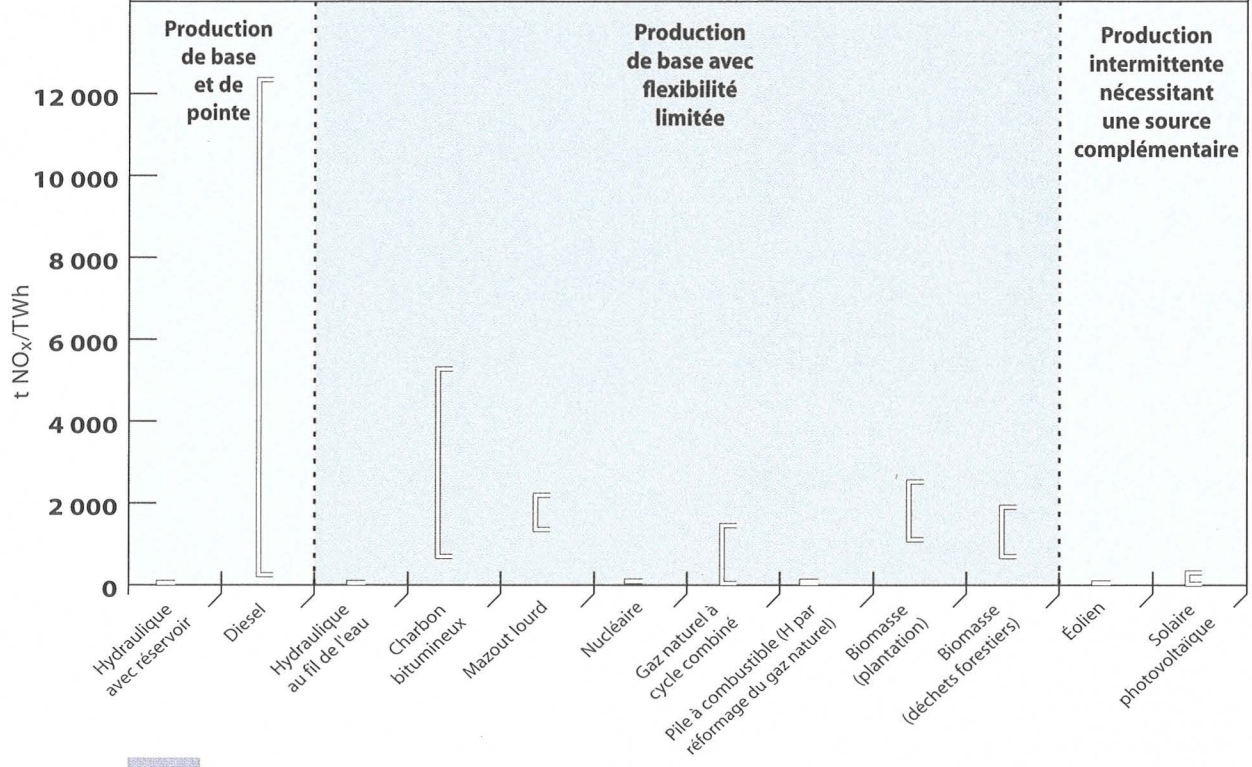
Électricité de source fossile ou nucléaire
Exploration et extraction, préparation, transport, stockage du combustible ; construction de la centrale, combustion, entretien, démantèlement.

Électricité de source renouvelable
Construction de la centrale, entretien, démantèlement.

Niveau de service
Afin d'établir une comparaison honnête entre les différentes options, la figure 1 a été divisée en trois catégories correspondant à différents niveaux de service : production de base et de pointe, production de base avec flexibilité restreinte, production intermittente nécessitant une source complémentaire.

* *Godish, T. 1997. « Air Quality ». Lewis Publishers, 3e édition, 448 pages.*

Figure 2 - Émissions de NO_x des options de production d'électricité



Gammes de valeurs identifiées dans la littérature. Ces valeurs sont représentatives des différents systèmes énergétiques et des technologies de combustion dans le monde.

Pour bien comprendre les analyses au sujet des NO_x

Les analyses sur les NO_x arrivent également à des facteurs d'émissions très variables. Ces résultats dépendent surtout des technologies de combustion utilisées et un peu du choix du combustible.

- La plupart des émissions de NO_x sont dues au fait que l'oxygène est nécessaire dans toute combustion et que la principale source d'oxygène est l'air ambiant, constitué à 79 % d'azote (N). Ce sont donc les caractéristiques de la combustion qui déterminent avant tout le niveau des émissions de NO_x.

- Les technologies qui utilisent de l'air sous pression, tels les moteurs diesel, produisent normalement un niveau élevé d'émissions de NO_x.

- Le charbon représente une exception à la règle de l'influence déterminante de la combustion. Dans ce cas, le combustible lui-même contient de l'azote, ce qui a pour effet d'accroître le facteur d'émission de NO_x.

Faits saillants au sujet des précipitations acides

- **Les facteurs d'émissions de l'hydroélectricité et de l'énergie nucléaire** sont des centaines de fois plus faibles que ceux des centrales au charbon sans équipement d'épuration.
- **En tenant compte des émissions de SO_2 et de NO_x, on constate que les centrales au charbon, au mazout et au diesel** contribuent de façon importante à la formation des précipitations acides.
- **L'énergie de la biomasse présente un facteur d'émission faible dans le cas du SO_2, mais élevé dans le cas des NO_x.** Cette option énergétique représente donc une source significative de précipitations acides.
- **Le gaz naturel,** à cause du traitement du combustible et des émissions de NO_x, peut également contribuer significativement aux précipitations acides.
- **Les avantages de l'énergie éolienne sont plus difficiles à évaluer, car ils dépendent des caractéristiques du réseau.** Lorsque l'énergie éolienne permet de réduire l'usage de centrales au charbon ou au mazout (qui sont capables de compenser les fluctuations d'un parc éolien), il s'ensuit une baisse nette des émissions. Toutefois, dans certains cas, le recours à l'électricité éolienne pourrait entraîner une utilisation accrue des centrales au mazout, en tant que centrales d'appoint qui doivent compenser pour les fluctuations de l'énergie éolienne.

Performance future des systèmes énergétiques

Les principales sources d'émission de SO_2 sont les centrales au charbon et les centrales au mazout. Il serait possible de réduire leurs émissions de 90% par l'installation d'équipements d'épuration, mais de tels équipements coûtent cher et diminuent le rendement des centrales. Une autre solution consiste à brûler du mazout ou du charbon à faible teneur en soufre, mais il s'agit encore d'une solution coûteuse, qui nécessite souvent de transporter les combustibles sur de plus grandes distances. En résumé, les enjeux sont d'ordre économique, et la performance future des centrales au mazout et au charbon dépendra des réglementations publiques et non de la mise au point de nouvelles technologies.

Il est difficile de prévoir si les autorités exigeront des réductions additionnelles des émissions acides en Amérique du Nord. Mais selon les évaluations écologiques récentes, ces réductions seraient nécessaires. Même après l'implantation des programmes américain et canadien de réduction des émissions de SO_2 en 2010, 800 000 kilomètres carrés de territoire canadien recevront encore plus de dépôts acides que la charge critique de 8 à 20 kg de sulfate par hectare par an (Environnement Canada). Au-delà de ce niveau, la productivité de la forêt est sérieusement réduite.

Les valeurs citées ont été compilées dans le cadre d'un projet de l'Agence internationale de l'énergie.

Auteurs : Luc Gagnon, gagnon.luc@hydro.qc.ca
En collaboration avec Camille Bélanger, Enviro-science

© Hydro-Québec, direction – Environnement

Avril 2000
2000G061-3

www.hydroquebec.com/environnement
La reproduction de cette fiche est autorisée.
This publication is also available in english.

Hydro Québec

COMPARAISON *des options de production d'électricité*

Le territoire utilisé

Enjeux environnementaux

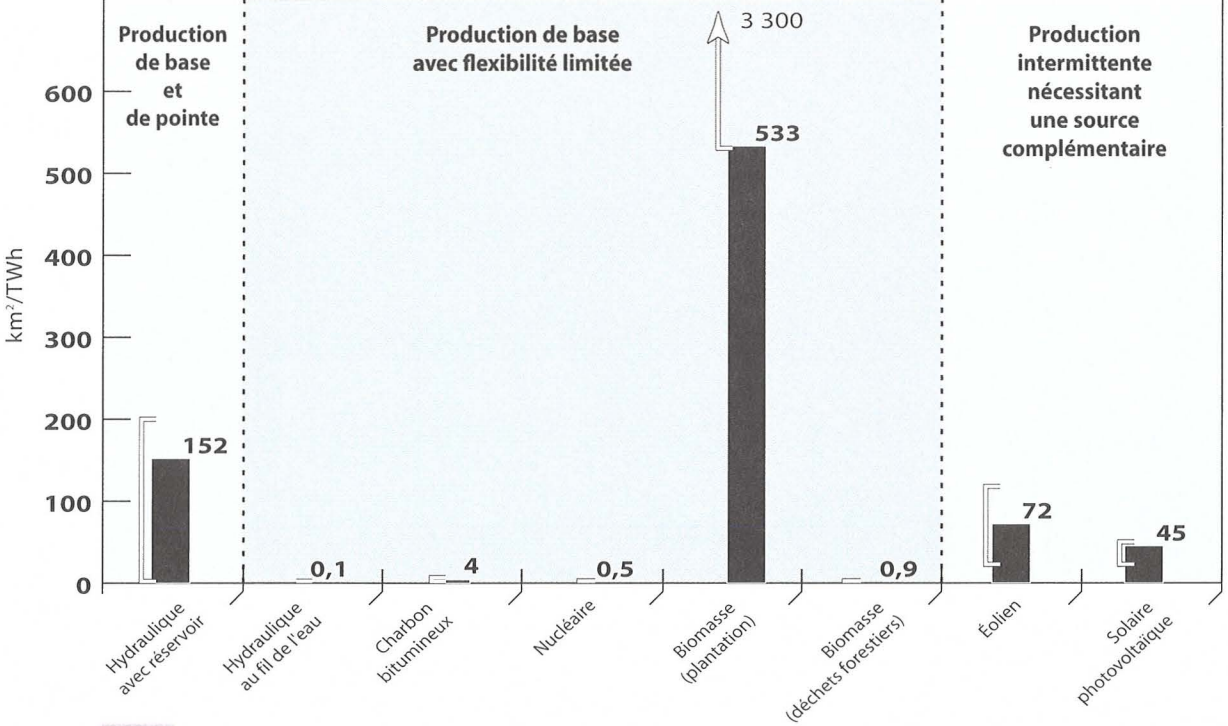
Toutes les options de production d'électricité ont des effets, directs ou indirects, sur l'utilisation du territoire. En voici quelques exemples :

- **l'hydroélectricité** transforme des écosystèmes terrestres en écosystèmes aquatiques ;
- **l'utilisation du charbon** affecte des superficies considérables par le biais de l'exploitation minière et des précipitations acides ;
- **l'exploitation de la biomasse** à des fins énergétiques peut exiger de grandes superficies de forêts.

À l'avenir, les enjeux liés à l'utilisation du territoire prendront de l'importance pour plusieurs raisons :

- À cause de la croissance démographique, de plus en plus d'espaces seront requis pour l'agriculture, l'industrie et les villes, créant une rareté pour les autres usages.
- Les « nouvelles » énergies renouvelables, telles que l'énergie éolienne ou solaire, exigent de grandes superficies.
- Les biocarburants, comme l'éthanol fabriqué à partir de produits agricoles, exigent de grandes superficies de cultures.

*Figure 1 - **Territoire requis par les options de production d'électricité***



Valeurs représentatives des technologies existantes dans le nord-est de l'Amérique du nord.

Gammes de valeurs identifiées dans la littérature. Ces valeurs sont représentatives des différents systèmes énergétiques dans le monde.

Pour bien comprendre les analyses

Il faut être prudent dans l'interprétation des analyses concernant le territoire utilisé par les options énergétiques. Ces analyses présentent les superficies occupées, sans tenir compte de l'intensité des impacts ou du degré de compatibilité d'une option avec les autres utilisations du territoire. De plus, les données de la figure 1 ne concernent que l'utilisation directe de l'espace. Les effets indirects sont négligés, notamment les pertes de territoires dues au changement climatique, par exemple à la suite de la hausse du niveau des océans.

Pour l'hydroélectricité, les superficies utilisées sont variables, car elles dépendent des conditions spécifiques de chaque site. Les valeurs citées concernent des ouvrages conçus principalement pour la production d'électricité. Dans plusieurs pays, comme les États-Unis, la majorité des réservoirs ont été aménagés à des fins d'irrigation et d'eau potable. Les réservoirs ne servant pas (ou peu) à la production d'électricité, pourraient donc se voir attribuer un facteur d'utilisation du territoire encore plus élevé par TWh.

Dans le cas des combustibles fossiles, les analyses sont rares et traitent de façon incomplète des activités de production des combustibles. À titre d'exemple, l'extraction en surface du charbon *(strip-mining)* exige de grandes superficies de territoires, relativement aux exploitations souterraines, mais les analyses font rarement cette distinction.

Faits saillants concernant l'utilisation du territoire

L'énergie nucléaire est l'option énergétique qui exige le moins d'espace, si l'on fait abstraction des sites de stockage à long terme des déchets. Mais si l'on en tient compte, le facteur pour l'énergie nucléaire sera beaucoup plus important, car même si la superficie des sites de stockage est petite, leur période d'utilisation couvre des milliers d'années. À titre d'exemple, faisons l'hypothèse que le stockage impose un facteur d'utilisation du territoire de 0,1 km^2/TWh et que ce site est requis pour 30 000 ans, pour une période de production d'électricité de 30 ans : le facteur pour l'énergie nucléaire passe de 0,5 km^2/TWh/an à 100 km^2/TWh/an.

L'électricité provenant de plantations de biomasse est l'option qui exige le plus de territoire par unité d'énergie.

Les autres énergies renouvelables (hydraulique, éolienne et solaire) ont des performances similaires. Elles utilisent des superficies importantes, qui varient grandement selon les conditions spécifiques de chaque site. Les données relatives à l'hydroélectricité prennent en compte la superficie totale des réservoirs, et non pas la superficie ennoyée, nécessairement moindre (avant la construction d'un barrage, les lacs et cours d'eau occupent déjà une certaine superficie).

Selon les analyses disponibles, le charbon exige beaucoup moins d'espace que les énergies renouvelables. Mais ces analyses prennent en compte uniquement l'utilisation directe du territoire, soit l'espace occupé par les centrales et par les mines. Les « utilisations » indirectes ne sont pas considérées, notamment les territoires touchés par les retombées acides ou les territoires touchés par les effets du changement climatique. Or, il s'agit de superficies énormes. Si l'on en tenait compte, les facteurs d'utilisation du territoire des combustibles fossiles seraient multipliés.

Pour évaluer l'ordre de grandeur de ces utilisations indirectes, on peut calculer un facteur d'utilisation des retombées acides dans le nord-est de l'Amérique du Nord. Même lorsque tous les programmes de réduction du SO_2 seront implantés en 2010 (programmes américain et canadien), 800 000 kilomètres carrés de territoire canadien recevront encore une acidité supérieure aux charges critiques de 8 à 20 kg de sulfate par hectare par an (Environnement Canada)*. Au-delà de cette charge, la productivité aquatique et forestière est sérieusement réduite. Si l'on considère que cet impact est dû aux centrales au charbon de la région (500 TWh/an), cela signifie que chaque TWh produit par une centrale au charbon réduit la productivité des écosystèmes sur une superficie de 1 600 kilomètres carrés. Cela représente dix fois le facteur d'utilisation du territoire de l'hydroélectricité.

* *Environnement Canada, 1998. Les pluies acides au Canada : rapport d'évaluation 1997. Tome 1 : des résultats en bref. Approvisionnements et Services Canada. Ottawa, 17 pages.*

Performance future des systèmes énergétiques

Pour toutes les options énergétiques, il est peu probable que des progrès technologiques permettent une réduction importante de leur utilisation du territoire. Dans le cas des centrales au charbon et au mazout, il est possible de réduire les superficies affectées par les précipitations acides, mais cela n'exige aucune nouvelle technologie.

À première vue, les territoires requis par les énergies renouvelables pourraient constituer une contrainte à leur développement. Mais les différents projets représentent des cas particuliers, car leur compatibilité avec les autres utilisations du territoire peut varier énormément. Les contraintes dépendent de plusieurs facteurs :

- la densité de population ;
- la compatibilité d'un projet avec d'autres utilisations de l'espace comme les loisirs, l'exploitation forestière ou l'agriculture ;
- les autres usages des projets, par exemple l'irrigation ou le contrôle des inondations dans le cas de l'hydroélectricité.

Un enjeu important concernera la concurrence avec la production alimentaire. Mais dans la plupart des cas, les projets d'énergie renouvelable auront peu d'incidence négative sur l'agriculture :

- Pour les projets éoliens, il est possible de continuer les activités agricoles sur le site même.
- L'énergie solaire peut être développée sur les toits des bâtiments ou dans les climats arides où il n'y a pas d'agriculture.
- Le développement hydroélectrique peut se faire en région froide ou montagneuse, et les réservoirs peuvent favoriser la production alimentaire par le biais de l'irrigation.

Une option pourrait cependant être sérieusement limitée à cause de son utilisation du territoire : les plantations de biomasse à des fins énergétiques. Peu importe si ces plantations servent à la production d'électricité ou de biocarburant, elles sont en concurrence directe avec la production alimentaire.

Les valeurs citées ont été compilées dans le cadre d'un projet de l'Agence internationale de l'énergie.

Auteurs : Luc Gagnon, gagnon.luc@hydro.qc.ca
En collaboration avec Camille Bélanger, Enviro-science
© Hydro-Québec, direction – Environnement
Avril 2000
2000G061-2

www.hydroquebec.com/environnement
La reproduction de cette fiche est autorisée.
This publication is also available in english.

Hydro Québec

COMPARAISON *des options de production d'électricité*

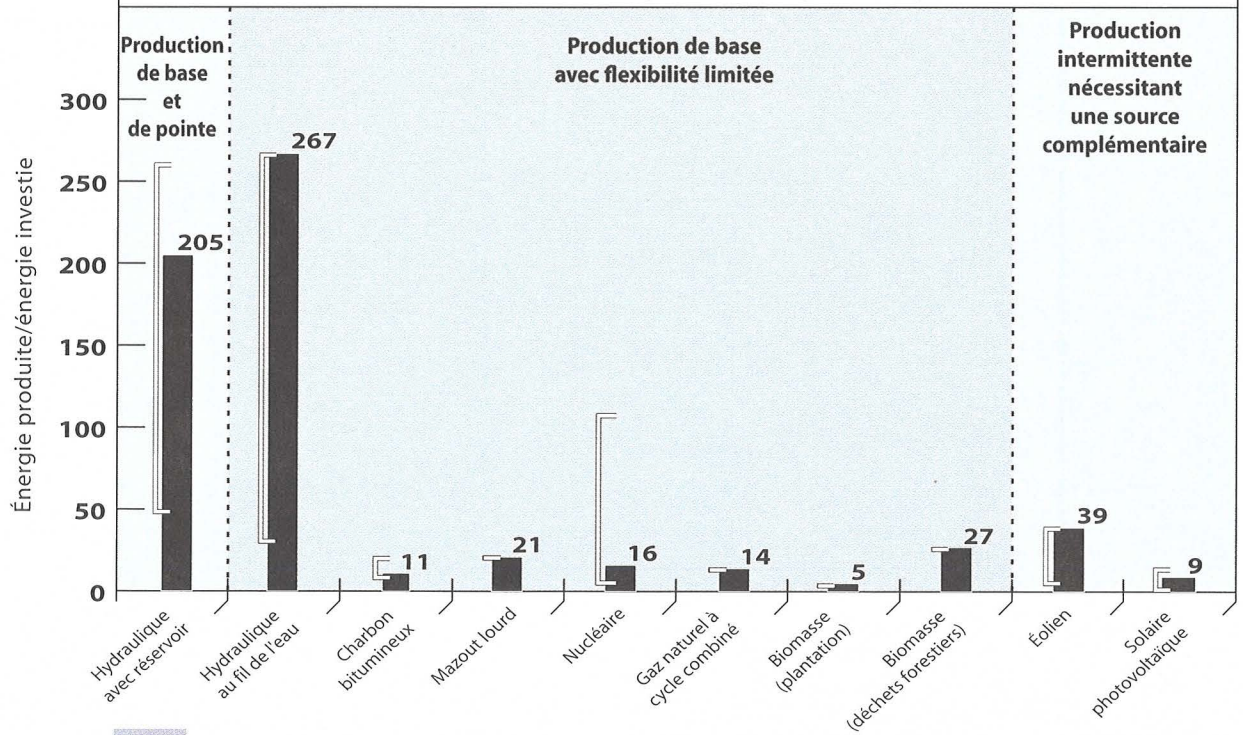
Rendement de l'investissement énergétique

Enjeux environnementaux

Pour une centrale de production d'électricité, le rendement de l'investissement énergétique est le rapport entre la quantité totale d'électricité produite pendant sa vie normale et la quantité d'énergie requise pour la construire, l'entretenir et l'alimenter en combustible.

Lorsqu'une option présente un faible rendement de l'investissement énergétique, cela signifie qu'elle requiert une grande quantité d'énergie. Et cette consommation d'énergie a sans doute de nombreux impacts sur l'environnement. Dans le cas des combustibles fossiles, cela signifie qu'il y a des impacts significatifs lors de leur extraction, transport et traitement. Dans le cas des énergies renouvelables, c'est la construction des installations qui a des effets sur l'environnement. Un système ayant un rendement proche de 1 consomme une quantité d'énergie presque aussi grande que la quantité produite, de sorte qu'il ne devrait jamais être développé.

*Figure 1 - **Retour sur investissement énergétique** des options de production d'électricité*



Valeurs représentatives des technologies existantes dans le nord-est de l'Amérique du nord.

Gammes de valeurs identifiées dans la littérature. Ces valeurs sont représentatives des différents systèmes énergétiques dans le monde.

Pour bien comprendre les analyses

Dans le contexte des engagements politiques relatifs au changement climatique, les analyses de cycle de vie ont porté principalement sur les émissions de gaz à effet de serre des systèmes énergétiques. Ces analyses sont essentielles, mais leurs résultats peuvent varier de façon marquée selon le contexte. À titre d'exemple, si un système requiert de l'aluminium comme matériau de construction, les résultats varieront grandement dépendamment si l'aluminerie est alimentée par des centrales hydrauliques ou au charbon.

En contraste, le rendement de l'investissement énergétique n'est pas affecté par ce type de choix, puisqu'il comptabilise l'énergie, peu importe sa source. Il a donc l'avantage d'atténuer les fluctuations dues au contexte. Il peut donc être considéré comme un indicateur fiable de performance environnementale.

Même si cet indicateur atténue certains écarts dans les résultats des études, il ne les élimine pas. Les valeurs de la figure 1 révèlent que le rendement de l'investissement énergétique ne varie pas beaucoup pour les combustibles fossiles, mais qu'il varie nettement pour les énergies renouvelables. Cela s'explique par les conditions spécifiques à chaque site : le relief dans le cas de l'énergie hydraulique, les caractéristiques des vents dans le cas de l'énergie éolienne, l'intensité du rayonnement solaire dans le cas de l'énergie solaire.

MÉTHODE

Analyse de cycle de vie
Plusieurs études sur la production d'électricité considèrent seulement les impacts provenant directement des centrales, alors que les valeurs citées ici prennent en compte l'ensemble du cycle de vie de chaque option énergétique.

Électricité de source fossile ou nucléaire
Exploration et extraction, préparation, transport, stockage du combustible ; construction de la centrale, combustion, entretien, démantèlement.

Électricité de source renouvelable
Construction de la centrale, entretien, démantèlement.

Niveau de service
Afin d'établir une comparaison honnête entre les différentes options, la figure 1 a été divisée en trois catégories correspondant à différents niveaux de service : production de base et de pointe, production de base avec flexibilité restreinte, production intermittente nécessitant une source complémentaire.

Faits saillants au sujet du rendement de l'investissement énergétique

→ **L'hydroélectricité présente nettement les meilleures performances,** avec des rendements de 205 et de 267, alors qu'ils varient entre 11 et 21 pour les combustibles fossiles. Les valeurs considérées comme représentatives, soit 205 pour une centrale avec réservoir et 267 pour une centrale au fil de l'eau, proviennent de cas québécois, évalués avec une durée de vie de 100 ans.

→ **À la figure 1, l'énergie éolienne présente également un bon rendement** (39) pour les meilleurs sites. Cependant, cette valeur est surestimée, car les calculs ne tiennent pas compte des équipements d'appoint requis pour compenser les fluctuations de la production éolienne. À cause de son caractère intermittent, le niveau de service de l'énergie éolienne est très faible, même si un grand nombre de turbines sont réparties sur un vaste territoire.

→ **L'électricité de la biomasse présente également un bon rendement** (27) lorsqu'elle est tirée des déchets de l'industrie forestière. Cependant, lorsque des plantations d'arbres sont aménagées à des fins de production d'électricité, le rendement est bien inférieur (environ 5), car l'exploitation d'une plantation exige une grande quantité d'énergie. Pour ces deux options, la centrale doit être située à proximité de la source de biomasse, sinon le rendement de l'investissement énergétique chute à un niveau très bas.

Performance future des systèmes énergétiques

Les combustibles fossiles ont déjà un faible rendement de l'investissement énergétique, et ce rendement ira en diminuant au cours des prochaines décennies. Une telle évolution est due à plusieurs facteurs.

- **À mesure que les gisements de combustibles fossiles s'épuisent,** ils sont remplacés par des gisements dont l'exploitation exige une dépense accrue d'énergie (en région éloignée ou au fond des océans).
- **D'autres enjeux** peuvent encourager l'usage de combustibles provenant de lieux éloignés. Par exemple aux États-Unis, le transport du charbon par chemin de fer s'est accru depuis une décennie, parce que les utilisateurs ont tendance à consommer du charbon de l'Ouest à faible teneur en soufre.
- **Dans l'avenir,** les centrales à combustible fossile dépenseront davantage d'énergie en vue de réduire leurs émissions. Certains équipements d'épuration (pour contrôler le SO_2)réduisent l'efficacité énergétique d'une centrale. Si les coûts des procédés de captage et de séquestration du CO_2 deviennent abordables, il faudra dépenser des quantités considérables d'énergie pour assurer le fonctionnement des équipement d'épuration et d'élimination.
- **Il y aurait une exception parmi les combustibles fossiles :** les turbines au gaz naturel dont le rendement de l'investissement énergétique devrait se maintenir. Dans ce cas, les facteurs négatifs cités plus haut s'appliquent également, mais ils devraient être compensés par le recours à des turbines ayant une efficacité accrue.

Les valeurs citées ont été compilées dans le cadre d'un projet de l'Agence internationale de l'énergie.

Auteurs : Luc Gagnon, gagnon.luc@hydro.qc.ca
En collaboration avec Camille Bélanger, Enviro-science

© Hydro-Québec, direction – Environnement

Avril 2000
2000G061-4

www.hydroquebec.com/environnement

La reproduction de cette fiche est autorisée.

This publication is also available in english.

Hydro Québec

COMPARAISON *des options de production d'électricité*

Biodiversité

Au sommet Planète Terre, ***tenu en 1992 à Rio de Janeiro, la diversité biologique recevait ses lettres de noblesse internationales avec la ratification de la première Convention internationale sur la biodiversité par quelque 150 pays.***

Définition

Selon la Convention sur la biodiversité, la *diversité biologique* est définie comme suit : « Variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes. »

Tandis que bien des pays mettaient en œuvre des stratégies permettant d'appliquer les principes découlant de la Convention, la science relative à cette question évolue continuellement. Cependant, aucune méthode ne s'est vraiment généralisée jusqu'à présent, même si l'approche multiéchelle est de plus en plus reconnue.

Compréhension de la diversité biologique :

approches multiples mais pas de consensus

- **De** l'approche *espèce par espèce* (diversité spécifique)
- **Aux** *espèces rares et menacées*
- **Aux** groupes d'espèces ou espèces spécifiques (dites espèces parapluie)
- **Au** niveau des *populations et communautés*
- **Et même aux** *écosystèmes, écopaysages et systèmes multiéchelle*

Mesurer l'impact sur la biodiversité : *démarche à quatre échelles* concentriques*

Échelle de l'habitat ou de l'écosystème : varie d'une échelle locale à une échelle grossière d' habitats très spécifiques aux grands systèmes écologiques, de quelques mètres carrés à quelques milliers de kilomètres carrés.

Échelle d'une matrice d'écosystèmes : grands écopaysages, contenant un mélange d'écosystèmes ; de l'ordre de dizaines de milliers de kilomètres carrés.

Échelle du biome : la plus grande unité écologique, généralement définie en fonction de la végétation dominante, comme la toundra ; de l'ordre de centaines de milliers de kilomètres carrés et plus.

Échelle de la biosphère : « l'écosystème planétaire », composé d'organismes vivants et des facteurs abiotiques dont ceux-ci retirent énergie et substances nutritives.

* *Cette approche tire son origine des premiers travaux de l'Agence internationale de l'énergie (AIE, 2000) ainsi que de nombreuses sources, particulièrement Poiani et al, 2000; Olson et Dinerstein, 1998; Mittermeier et al, 1998; Noss, 1996; Franklin, 1992; Noss, 1983.*

Résultats

Options énergétiques principales, avec les sources d'impact sur la biodiversité

Option de production	Principales sources d'impact sur la biodiversité	Habitat ou écosystème	Matrice d'écosystèmes	Biome	Biosphère
Systèmes compatibles avec la charge de base ou la charge de pointe					
Énergie hydraulique avec réservoir	• Barrière pour les poissons migrateurs • Perte d'habitat • Changement dans la qualité de l'eau • Impact en aval	X X X X	 X		
Diesel	• Changement climatique • Précipitations acides	X X	X X	X	X
Systèmes de charge de base relativement souples					
Énergie hydraulique au fil de l'eau	• Barrière pour les poissons migrateurs	X			
Charbon	• Extraction et transport • Changement climatique • Précipitations acides • Polluants atmosphériques toxiques	X X X X	X X X X	 X X	 X
Huile lourde	• Extraction et transport • Changement climatique • Précipitations acides • Polluants atmosphériques toxiques	X X X X	X X X X	 X X	 X
Nucléaire	• Gestion des matières radioactives • Risque de contamination	X X	 X	 X	
Turbines au gaz naturel	• Extraction et transport • Changement climatique • Précipitations acides • Polluants atmosphériques toxiques	X X X X	X X X X	 X 	 X
Systèmes intermittents qui nécessitent une production auxiliaire					
Énergie éolienne	• Risques pour des espèces d'oiseaux • Source pétrolière ou hydraulique	X X	 (?)	 (?)	 (?)
Énergie solaire photovoltaïque	• Source pétrolière ou hydraulique	X	(?)	(?)	(?)

(?) En fonction du type de source complémentaire employée.

Faits saillants

Toute option menant à la production d'électricité risque d'avoir un impact significatif sur la diversité biologique. Cependant, la portée de cet impact varie. On constatera toujours un impact à l'échelle de l'habitat ou de l'écosystème, alors que l'impact à plus grande échelle sera fonction de l'option retenue.

On note un impact significatif des combustibles fossiles à chacune des échelles de grandeur, de l'habitat jusqu'à la biosphère.

Les options éolienne et photovoltaïque présentent un impact plus sérieux que ce à quoi on pourrait s'attendre. En effet, vu leur caractère intermittent, ces sources d'énergie ne peuvent suffire aux fluctuations de la demande; il faut donc calculer, en plus, l'impact des sources complémentaires pour se faire une idée juste de la situation.

L'énergie hydraulique constitue la seule option qui concentre l'impact écologique à l'échelle locale, tout en offrant le niveau de service nécessaire pour satisfaire aux différents besoins. L'impact est ici circonscrit à l'échelle de l'habitat ou de l'écosystème, avec de rares retombées significatives dans les grandes échelles.

L'échelle à laquelle les impacts sont exprimés a une conséquence très claire : certaines options entraînent un phénomène d'exportation de l'impact, d'autres pas. La plupart des impacts de projet hydro-électrique sont contenus dans la communauté locale et dans l'environnement limitrophe. Et il en va de même des énergies éolienne et solaire lorsque la source complémentaire est de type hydraulique. Par contre, les combustibles fossiles ont un impact non seulement sur la communauté et l'environnement locaux, mais aussi sur des communautés et écosystèmes éloignés de la source ponctuelle initiale et même sur des endroits complètement isolés. Les polluants aéroportés trouvés dans l'alimentation des autochtones de l'Arctique ou les changements climatiques provoqués par des émissions de gaz à effet de serre en sont de bons exemples.

La question de l'exportation d'impact doit faire l'objet d'un examen attentif, si l'on aspire à un développement durable et équitable. D'ordinaire, les impacts locaux sont plus faciles à gérer par les administrations et les autorités civiles. Par contre, les impacts à grande échelle (imputables aux combustibles fossiles) sont beaucoup plus difficiles à comprendre et à endiguer compte tenu du défi qu'ils posent à la communauté scientifique et vu le degré de coordination politique qu'ils présupposent. De nouveau, la question des changements climatiques constitue une excellente illustration de cette réalité.

« Tous les combustibles fossiles partagent, à divers titres, un même inconvénient : l'émission de gaz avec effet de serre (...). Le charbon est la solution la moins acceptable, vu sa contribution à la pollution locale (y compris à l'intérieur des bâtiments), régionale et mondiale. »

Conseil mondial de l'énergie. Avril 2000. L'énergie pour le monde de demain. (www.worldenergy.org) Traduction libre

Enjeux

Toutes les options menant à la production d'électricité risquent de porter atteinte à la diversité biologique quelque part sur la planète. Par exemple, à cause des changements directs sur la terre, le charbonnage pourrait menacer localement une espèce de plante rare, tandis que les barrages pourraient faire disparaître une espèce de poisson endémique. Cependant, les options présentant des impacts essentiellement locaux (énergie hydraulique, éolienne, solaire) peuvent prendre en compte la protection de la diversité biologique par le bon choix de site. Les options favorisant les combustibles fossiles peuvent très difficilemet offrir ce type de protection puisque leur impact s'exprime à l'échelle régionale et mondiale.

L'énergie hydraulique et, dans une certaine mesure, les énergies éolienne et solaire (selon la source complémentaire retenue) constituent les choix les plus durables parce que peu d'impacts locaux sont exportés loin de la source initiale. Les énergies renouvelables, comme l'énergie hydraulique, éolienne et solaire, offrent le plus grand potentiel pour l'atténuation des impacts.

Le changement de climat qui résulte de l'utilisation des combustibles fossiles risque d'affecter la diversité biologique de la planète plus que tout autre facteur environnemental.

Références

Franklin J. F. 1992. *Preserving biodiversity: species, ecosystems, or landscapes?* Ecological applications 3 : 202-205.

IEA. 2000. IEA Hydropower Agreement. Annex III/5: *Hydropower and the environment: present context and guidelines for future action*, Vol. II: Main report.

Mittermeier R. A., Myers N, Thomsen J. B., da Fonseca G A B, Olivieri S. 1998. *Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities.* Conservation Biology 12 : 516-520.

Noss R. F. 1996. *Ecosystems as conservation targets.* Tree 11 : 351.

Noss R. F. 1983. *A regional landscape approach to maintain diversity*. BioScience 33 : 700-706.

Olson D. M., Dinerstein E. 1998. *The global 200: a representation approach to conserving the earth's most biologically valuable ecoregions.* Conservation biology 12 : 502-515.

Poiani K, A., Richter B. D., Anderson M. G., Richter H. E. 2000. *Biodiversity conservation at multiple scales: functional sites, landscapes, and networks.* BioScience 50 : 133-146.

Auteurs : Martin Pérusse, perusse.martin@hydro.qc.ca

En collaboration avec GDG conseil inc.

© Hydro-Québec, direction – Environnement

Juin 2000

2000G061-5

www.hydroquebec.com/environnement

La reproduction de cette fiche est autorisée.

This publication is also available in english.

Hydro Québec

60°

50°

Mer du Labrador

Labrador (Terre-Neuve)

Baie James

QUÉBEC

Tracé de 1927 du conseil privé (non-définitif)

50°

Terre-Neuve

St. John's

Fleuve Saint- Laurent

Chicoutitmi

Québec

Montréal

Ottawa

Maine

Nouveau-Brunswick

Fredericton

Île-du-Prince-Édouard

Charlottetown

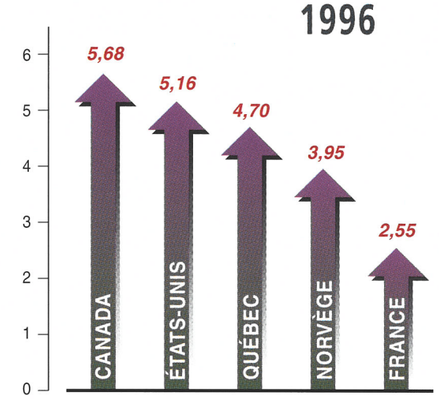
Nouvelle-Écosse

Halifax

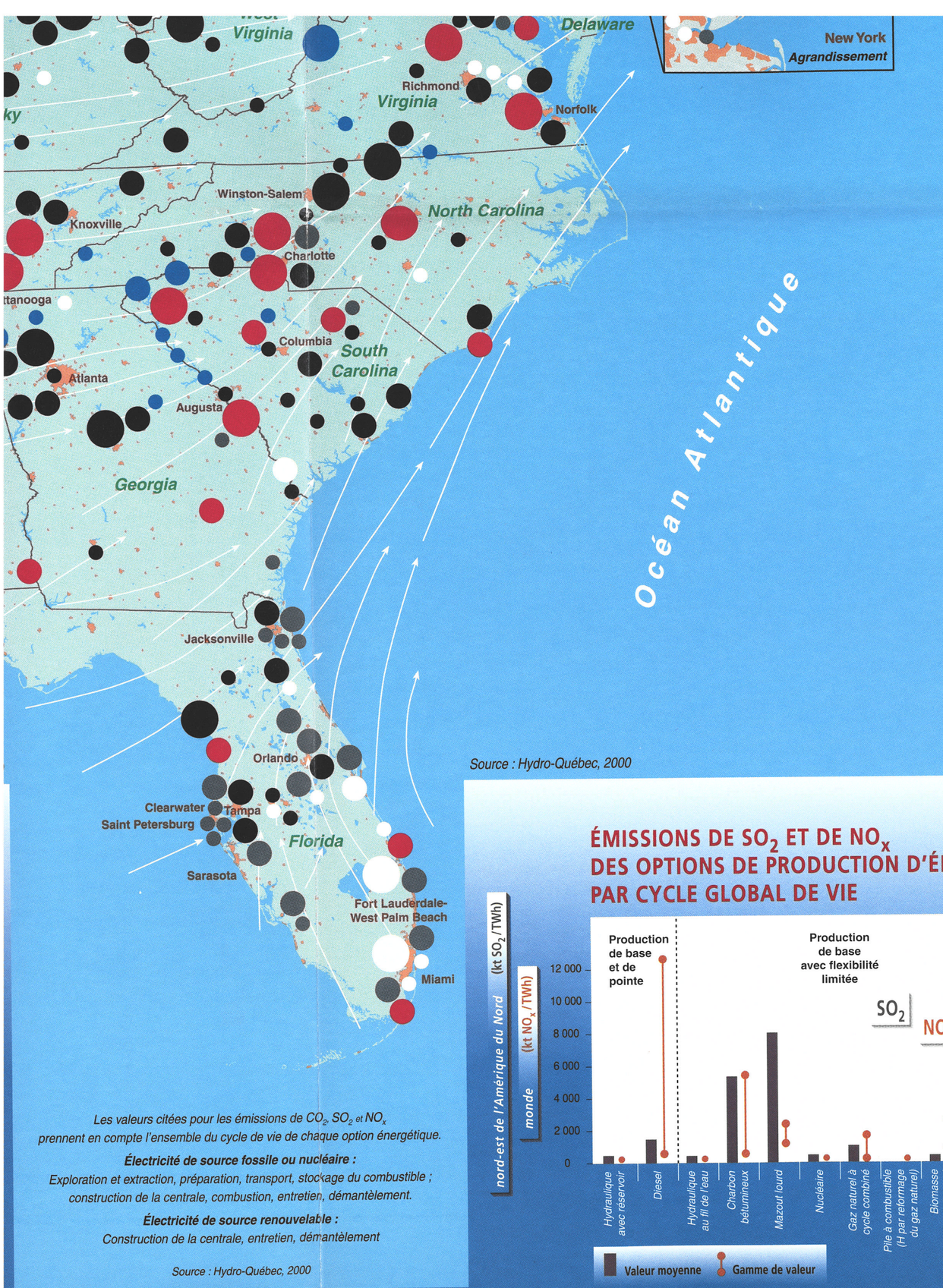
CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE TOTALE

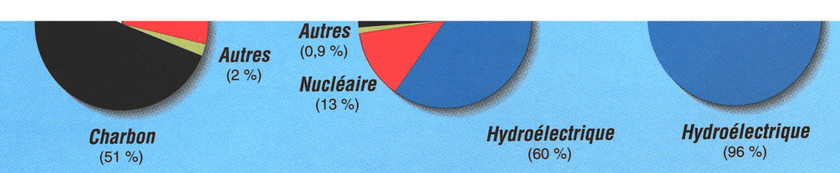
(tonne équivalent pétrole/habitant)

1996



Source : L'Énergie au Québec, 1999

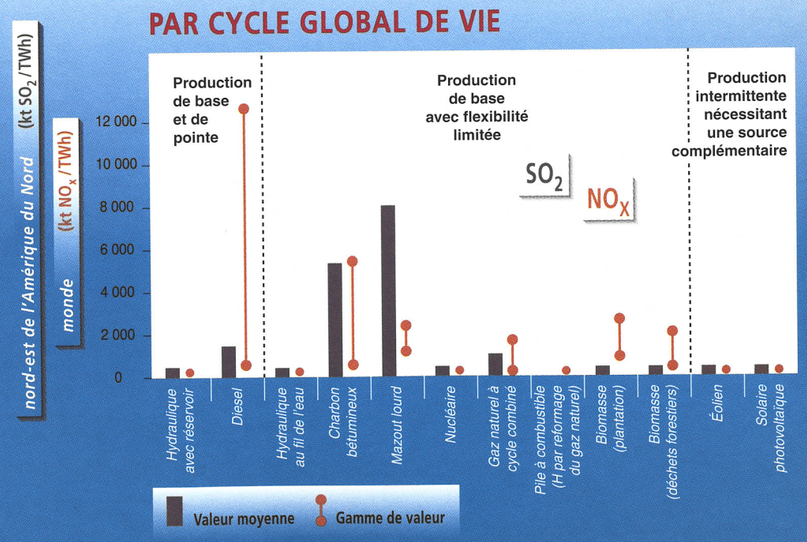




Sources : 1) Energy Information Administration 2) Ressources naturelles, Canada 3) L'Énergie au Québec, 1999

Source : Hydro-Québec, 2000

ÉMISSIONS DE SO_2 ET DE NO_x DES OPTIONS DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ, PAR CYCLE GLOBAL DE VIE



Les valeurs citées pour les émissions de CO_2, SO_2 et NO_x prennent en compte l'ensemble du cycle de vie de chaque option énergétique.

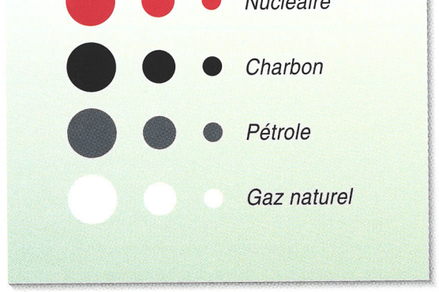
Électricité de source fossile ou nucléaire :
Exploration et extraction, préparation, transport, stockage du combustible ; construction de la centrale, combustion, entretien, démantèlement.

Électricité de source renouvelable :
Construction de la centrale, entretien, démantèlement

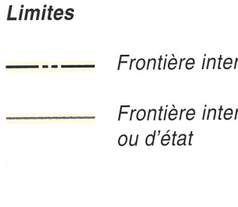
Source : Hydro-Québec, 2000

La production d'électricité et les émissions atmosphériques au Canada et aux États-Unis

Site de production *



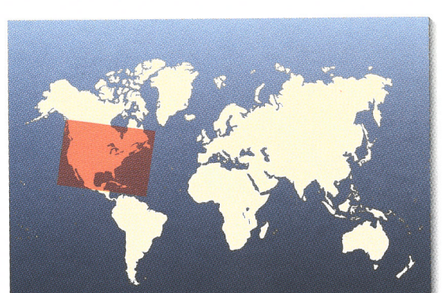
* *un site peut inclure plusieurs centrales*



Limites

Frontière internationale

Frontière interprovinciale ou d'état



Hydro Québec

Projection azimutale de Lambert, méridien central 96° 00' ouest.
Cartographie : Carto-Média (6160B901.qxd , 20 décembre 2000).

Décembre 2000, 1ère édition
Intranet :
techno-info.hydro.qc.ca/produits et services/geomatique/thematique/

Sources :

Base cartographique :
National Atlas of the United States, USGS.
Atlas National du Canada, Énergie, Mines et Resssources, Canada.
Ministère des Ressources naturelles, Gouvernement du Québec.

Vents dominants :
Resource Data International inc.

Sites de production :
Powermap - Powerdat, Resource Data International inc.
Provincial Generation and Transmission Grid, Newfoundland Hydro.
BC Hydro, TransAlta.
System operating map of Nova Scotia,
Nova Scotia Power Inc., 1996.
Territories / Zones, Northern and Southern Ontario, Ontario Hydro, 1998.
Sites de production d'électricité au Québec en 2000, Hydro-Québec.

110°

100°

Territoires du Nord-Ouest

Nunavut

Manitoba

Saskatchewan

C A N A D A

Lac Winnipeg

Regina

Winnipeg

Montana

North Dakota

Minnesota

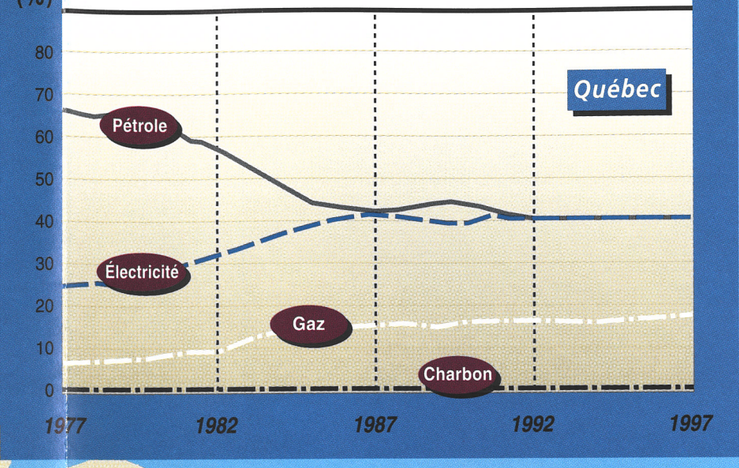
Ontario

Baie James

Thunder Bay

Lac Supérieur

ÉVOLUTION DE LA PART DES FORMES D'ÉNERGIE DANS LE BILAN ÉNERGÉTIQUE

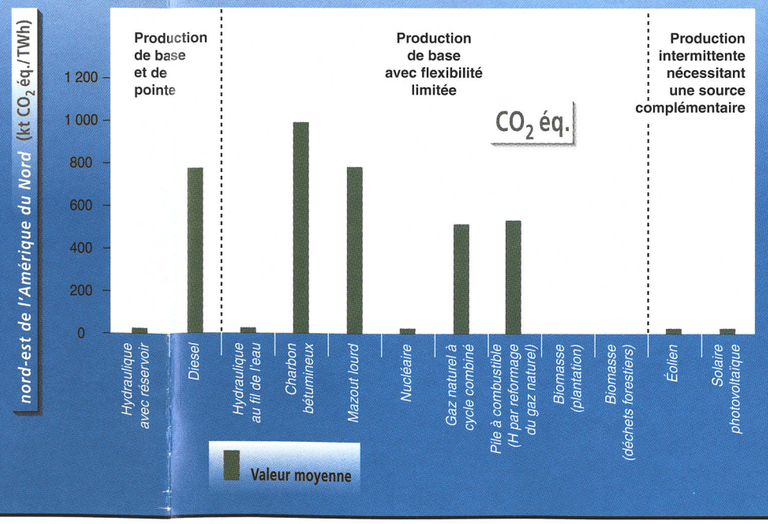


Source : L'Énergie au Québec, 1999

Saint Louis
Louisville
Richmond
Norfolk
Wichita
Missouri
Kentucky
Virginia
Tulsa
Oklahoma
Oklahoma City
Nashville
Knoxville
Winston-Salem
North Carolina
Tennessee
Charlotte
Arkansas
Memphis
Chattanooga
Columbia
South Carolina
Atlanta
Birmingham
Augusta
Dallas
Fort Worth
Mississippi
Georgia
Jackson
Alabama
Louisiana
Texas
Baton Rouge
Pensacola
Jacksonville
San Antonio
Houston
New Orleans
Orlando
Clearwater
Tampa
Saint Petersburg
Florida
Sarasota
Fort Lauderdale-
West Palm Beach
Miami

Source : Hydro-Québec, 2000

ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DES OPTIONS DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ, PAR CYCLE GLOBAL DE VIE



Les valeurs citées pour les émissions de CO_2, SO_2 et NO_x prennent en compte l'ensemble du cycle de vie de chaque option énergétique.

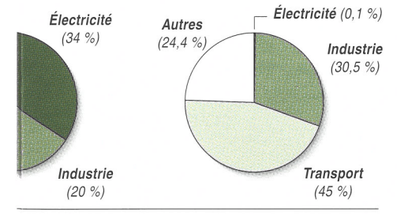
Électricité de source fossile ou nucléaire :
Exploration et extraction, préparation, transport, stockage du combustible ; construction de la centrale, combustion, entretien, démantèlement.

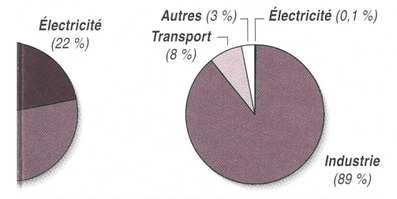
Électricité de source renouvelable :
Construction de la centrale, entretien, démantèlement

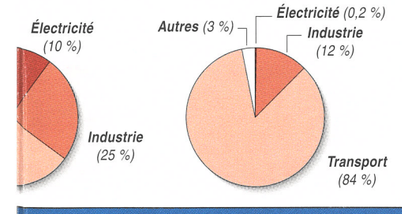
Source : Hydro-Québec, 2000

: CO_2, SO_2 et NO_x • 1996

ada

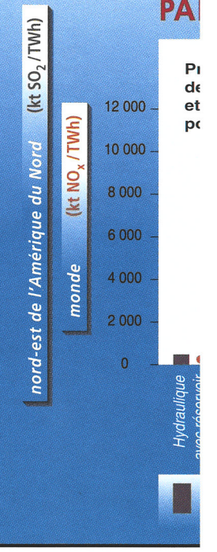


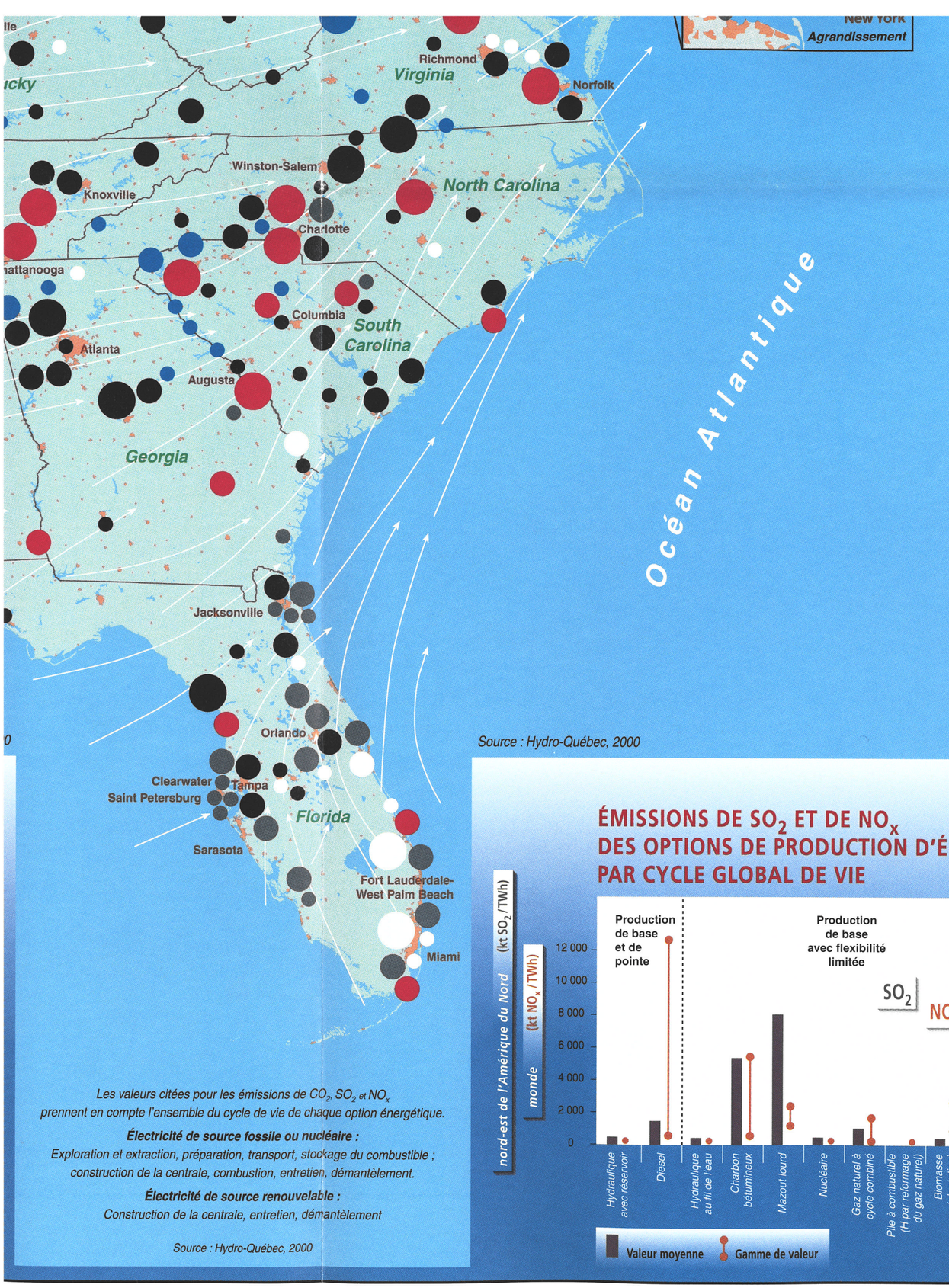




Québec

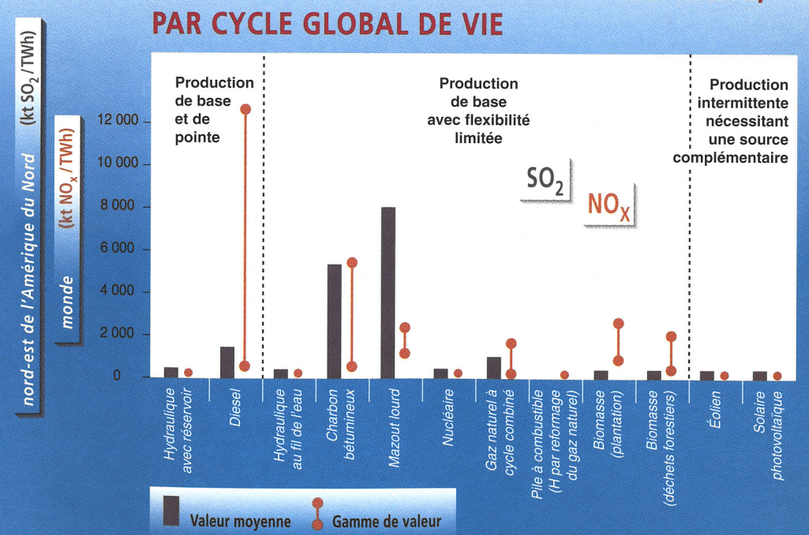
Source : Hydro-Québec, 20





Source : Hydro-Québec, 2000

ÉMISSIONS DE SO_2 ET DE NO_x DES OPTIONS DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ, PAR CYCLE GLOBAL DE VIE

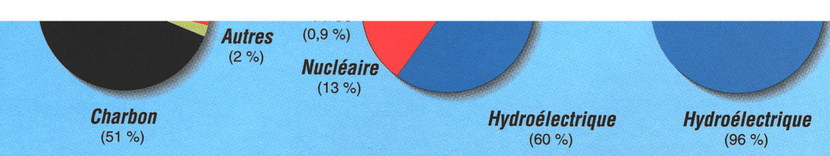


Les valeurs citées pour les émissions de CO_2, SO_2 et NO_x prennent en compte l'ensemble du cycle de vie de chaque option énergétique.

Électricité de source fossile ou nucléaire :
Exploration et extraction, préparation, transport, stockage du combustible ; construction de la centrale, combustion, entretien, démantèlement.

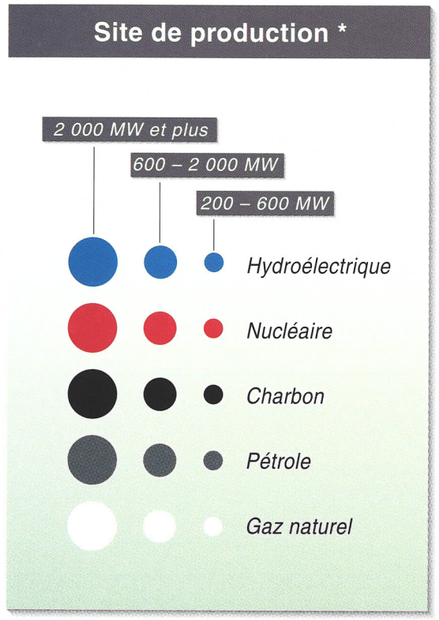
Électricité de source renouvelable :
Construction de la centrale, entretien, démantèlement

Source : Hydro-Québec, 2000

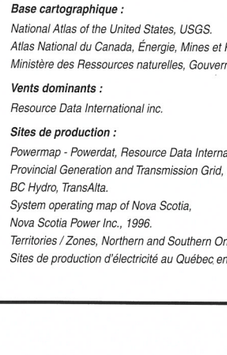


Sources : 1) Energy Information Administration 2) Ressources naturelles, Canada 3) L'Énergie au Québec, 1999

La production d'électricité et les émissions atmosphériques au Canada et aux États-Unis



* *un site peut inclure plusieurs centrales*



Limites

Frontière internationale

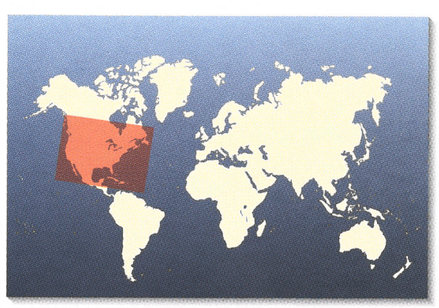
Frontière interprovinciale ou d'état

0 100 300 km

Hydro Québec

Projection azimutale de Lambert, méridien central 96°00' ouest.
Cartographie : Carto-Média (6160B901.qxd , 20 décembre 2000).

Décembre 2000, 1ère édition
Intranet :
techno-info.hydro.qc.ca/produits et services/geomatique/thematique/



Sources :

Base cartographique :
National Atlas of the United States, USGS.
Atlas National du Canada, Énergie, Mines et Resssources, Canada.
Ministère des Ressources naturelles, Gouvernement du Québec.

Vents dominants :
Resource Data International inc.

Sites de production :
Powermap - Powerdat, Resource Data International inc.
Provincial Generation and Transmission Grid, Newfoundland Hydro.
BC Hydro, TransAlta.
System operating map of Nova Scotia,
Nova Scotia Power Inc., 1996.
Territories / Zones, Northern and Southern Ontario, Ontario Hydro, 1998.
Sites de production d'électricité au Québec en 2000, Hydro-Québec.