

Évolution de la consommation d'énergie du secteur commercial québécois de 1990 à 1998

Par

Jean-Thomas Bernard
jtber@ecn.ulaval.ca

et

Nadhem Idoudi
nidoudi@ecn.ulaval.ca

Chaire en économique de l'énergie électrique
GREEN
Département d'économie
Université Laval

Le 18 novembre 2003

Ce travail a été préparé dans le cadre des activités de la Chaire en économique de l'énergie électrique de l'Université Laval et a bénéficié du soutien financier de l'Agence de l'efficacité énergétique du Québec. Nous remercions l'Office de l'efficacité énergétique du gouvernement canadien pour sa collaboration. Les auteurs sont seuls responsables des informations et interprétations présentées dans ce texte.



Résumé

La consommation totale d'énergie du secteur commercial québécois a augmenté de 7,3% entre 1990 et 1998 (à l'exclusion de l'éclairage des voies publiques). Cet accroissement est attribué à une augmentation de l'activité économique mesurée en fonction de la surface de plancher (12,9%), des changements dans les conditions météorologiques (-4,1%), des changements mineurs dans la structure (0,02) et au changement de l'efficacité énergétique (-0,8%).

À l'exception des établissements de santé, toutes les composantes du secteur commercial québécois ont enregistré une amélioration de leur intensité énergétique brute. Malgré l'expansion de leur activité telle que mesurée par la surface de plancher, l'intensité énergétique brute de l'ensemble du secteur commercial s'est améliorée en passant de 1,99 GJ/m² en 1990 à 1,89 GJ/m² en 1998. Une comparaison avec l'ensemble du Canada donne des résultats plutôt similaires.

Introduction

L'Office de l'efficacité énergétique (OEE) du ministère des Ressources naturelles est l'organisme responsable des analyses de l'évolution de la demande énergétique au Canada par secteur (agriculture, résidentiel, commercial, industriel et transport) et par forme¹ (électricité, produits pétroliers, produits gaziers et charbon et résidus).

Ces analyses peuvent être classées selon trois catégories; il y a d'abord la description de l'évolution de la consommation des produits énergétiques d'un secteur ou de ses composantes à partir d'une année de base. L'année de base retenue est 1990 et la justification de ce choix vient du fait que le Canada, un des pays signataires du protocole de Kyoto, s'est engagé à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 6,0% au cours des années 2008-2012 par rapport à leur niveau en 1990.

La seconde catégorie comprend la décomposition de l'évolution de la demande énergétique en quatre grands facteurs : les changements dans l'activité, les changements dans la structure, les changements dans les conditions météorologiques et les changements dans l'efficacité énergétique. L'intensité énergétique, qui est définie comme le ratio de l'énergie utilisée par rapport à une mesure de l'activité économique, est un indicateur souvent utilisé pour tracer l'évolution de l'efficacité énergétique. Afin d'apprécier le véritable changement de l'efficacité énergétique, la méthode de décomposition adaptée dans cette étude permet de prendre en compte l'influence de la structure de l'activité à l'intérieur du secteur étudié ainsi que les effets des conditions climatiques.

Enfin, les analyses de la demande d'énergie établissent un lien avec les émissions de gaz à effet de serre. Ceci permet de voir de près les rôles joués par l'évolution de la demande d'énergie et la composition de cette demande par source à l'égard de ces émissions.

¹ Voir Ressources Naturelles Canada (2000) .

Le présent rapport comprend uniquement les deux premières catégories et l'objectif visé est la description de l'évolution de la demande d'énergie du secteur commercial québécois entre 1990 et 1998 ainsi que sa décomposition en quatre facteurs, c'est-à-dire le changement du niveau d'activité économique, de la structure de cette dernière, des conditions météorologiques et de l'efficacité énergétique. Les données utilisées dans notre étude proviennent d'une compilation spéciale réalisée par l'Office de l'efficacité énergétique.

Des comparaisons entre les résultats obtenus dans cette étude et ceux présentés par l'OEE serviront à faire ressortir les caractéristiques propres au secteur commercial québécois.

Voici l'ordre de la présentation : la première section contient une description du niveau d'activité économique des composantes du secteur commercial au cours de la période considérée. Dans la seconde section, nous présentons la consommation d'énergie et sa désagrégation par source. Dans la dernière section, nous analysons les résultats de la décomposition factorielle et nous effectuons des comparaisons avec les résultats obtenus par l'Office de l'efficacité énergétique pour l'ensemble du Canada.

1. L'activité économique du secteur commercial québécois

Comme il fut mentionné en introduction, l'intensité énergétique est le ratio de la consommation d'énergie par rapport au niveau d'activité économique. Le dénominateur est donc une mesure appropriée de cette dernière. Dans cette étude, la surface de plancher occupée des bâtiments oeuvrant dans le secteur commercial est utilisée comme une mesure approximative de l'activité économique. Le secteur commercial est divisé en neuf composantes : les établissements d'enseignement, les établissements de santé, les magasins de détail, les bureaux, les hôtels et les restaurants, les entrepôts, les bâtiments à vocation récréative, les lieux de culte et autres établissements.

Le tableau 1 montre l'évolution de la surface de plancher de l'ensemble du secteur commercial québécois entre 1990 et 1998, alors que celle de ses composantes apparaît au tableau 4. Le secteur commercial a crû à un rythme annuel moyen de 1,52% et a passé de 90,81 millions m² en 1990 à 102,54 millions m² en 1998.

Notons que les entrepôts (-0,44%), les lieux de culte (-1,10%), les magasins de détail (0,46%) et les établissements de santé (1,10%) ont un taux de croissance annuel inférieur à la moyenne. Les autres composantes du secteur commercial ont connu une croissance annuelle supérieure à la moyenne : les établissements d'enseignement (1,78%), les bureaux (2,26%), les hôtels et restaurants (1,55%), les bâtiments à vocation récréative (3,35%) et autres établissements (4,20%).

Les bureaux (26,1%), les magasins de détail (20,2%) et les établissements d'enseignement (16,5%) ont les parts les plus importantes de surface de plancher de l'ensemble du secteur commercial québécois en 1998.

2. La consommation d'énergie du secteur commercial québécois

En 1998, la consommation d'énergie par le secteur commercial québécois est de 196,24 PJ (194,06 PJ en excluant l'éclairage des voies publiques), soit 13,5% de la demande totale d'énergie au Québec. Elle a crû au rythme annuel de 0,82% depuis 1990.

Le tableau 2 montre que l'électricité est la source la plus importante d'énergie dans le secteur commercial avec 57% de la consommation totale énergétique en 1998 et a connu une croissance annuelle moyenne de 0,31%. Le gaz naturel vient en deuxième position (31,5%) et a crû à un rythme annuel moyen qui est plus beaucoup plus élevé, soit 2,43%. Le kérosène et le mazout léger qui représentent 8,6%, ont par contre diminué en moyenne de 0,91%. De même pour le mazout lourd, qui est la source d'énergie la moins importante, a régressé de 7,6%/an. Le propane a connu une augmentation annuelle moyenne de 5,42% pour passer de 2,67 PJ en 1990 à 4,12 PJ en 1998.

Le tableau 3 contient les informations sur la consommation d'énergie par forme et selon les composantes du secteur commercial. Les établissements d'enseignement, les bureaux, les magasins de détail et les établissements de santé représentent environ 71,8% de la demande totale d'énergie. Voici les composantes du secteur commercial qui ont connu un accroissement annuel de la consommation énergétique supérieur à l'ensemble : bâtiments à vocation récréative (2,85%), les lieux de cultes et autres établissements (2,05%), les établissements d'enseignement (1,40%), les établissements de santé (1,11%) et les bureaux (0,90%).

Par contre, les hôtels et les restaurants ont connu une croissance annuelle de seulement 0,80% et les magasins de détail ont eu une consommation d'énergie stable alors que les entrepôts ont subi une faible diminution de la consommation énergétique entre 1990 et 1998 (-0,92%/an).

Selon les informations présentées aux tableaux 2 et 3, l'électricité est toujours la source d'énergie la plus utilisée dans le secteur commercial québécois² et a connu un taux de croissance annuel moyen de 0,31%. Les magasins de détail (-0,55%) et les entrepôts (-1,17%) sont les composantes qui ont eu une croissance annuelle inférieure à la moyenne.

Le gaz naturel vient en deuxième position et connaît une croissance annuelle de 2,43%. Sauf les entrepôts (0,28%/an), toutes les composantes ont contribué à cette progression.

Par contre, les produits pétroliers sont en nette régression, surtout pour le mazout lourd (-7,61%/an) pour l'ensemble du secteur commercial.

Le tableau 5 montre l'usage final de l'énergie dans le secteur commercial. Le chauffage des locaux est de loin l'utilisation finale la plus importante de l'énergie représentant 55,3% de la consommation totale en 1998. Elle est suivie de l'éclairage des locaux (à l'exclusion de l'éclairage des voies publiques) avec une consommation d'énergie de 14,9% et du moteur auxiliaire avec 13,3%. Les équipements auxiliaires, la climatisation des locaux et le chauffage de l'eau consomment ensemble 16,5% de la quantité d'énergie d'utilisation finale.

Pour terminer cette section, nous remarquons que dans la plupart des cas, la part de l'activité pour chaque composante du secteur commercial est environ la même que celle de la consommation d'énergie à l'exception des établissements de santé à cause de la nature énergivore des activités des soins de santé, les entrepôts dont la part d'activité est supérieure à celle de la consommation d'énergie et les hôtels et les restaurants qui ont une part de la consommation énergétique plus importante que celle d'activité.

² Pour les établissements d'enseignement, l'électricité et le gaz naturel sont deux sources d'énergie utilisées de façon égale (respectivement 42,6% et 42,4%).

3. L'intensité énergétique du secteur commercial

Le tableau 4 montre l'intensité énergétique brute selon le type des bâtiments du secteur commercial québécois entre 1990 et 1998.

À l'exception des établissements de santé, toutes les autres composantes du secteur commercial ont connu une diminution de leur intensité énergétique brute : les bureaux (-1,37%/an), les hôtels et restaurants (-0,76%/an), les autres établissements (-0,50%/an), les bâtiments à vocation récréative (-0,49%/an), les entrepôts (-0,48%/an), les magasins de détail (-0,47%/an), les lieux de culte (-0,42%/an) et les établissements d'enseignement (-0,38%).

Pour l'ensemble du secteur commercial québécois, il y a eu une amélioration modeste de l'intensité énergétique de 1,99 GJ/m² à 1,89 GJ/m², soit -0,64% par an. Nous remarquons aussi que les entrepôts et lieux de culte ont diminué leur niveau d'activité et leur intensité énergétique, alors que les autres composantes ont connu une diminution de leur intensité énergétique malgré une progression de leur activité économique. Pour les établissements de santé, bien qu'ils aient connu une croissance annuelle de leur activité au rythme de 1,10%, leur intensité énergétique est restée presque stable (0,02%/an).

Pour mieux apprécier ces aspects, il faut appliquer la décomposition par facteur³ qui permet de corriger la mesure de l'intensité énergétique pour l'effet associé au changement de la structure et aussi des conditions météorologiques. C'est ce qui est présenté au tableau 6.

De 1990 à 1998, la consommation d'énergie dans le secteur commercial québécois a progressé de 7,3% (à l'exclusion de l'éclairage des voies publiques). Si seulement l'activité avait changé, la consommation d'énergie aurait augmenté de 12,9%. Si les autres facteurs (activité, conditions météorologiques et intensité énergétique) étaient demeurés constants et seule la structure (la répartition de la surface de plancher entre divers types de bâtiments) avait changé, la consommation d'énergie aurait haussé de 0,02%. Si les conditions météorologiques avaient été les seules à changer durant cette période, la consommation d'énergie aurait diminué de 4,1% .

³ L'éclairage des voies publiques est exclu de l'analyse de la factorisation puisqu'il ne fait pas partie de l'activité liée à la surface de plancher.

Enfin, si les autres facteurs (structure, activité et conditions météorologiques) étaient demeurés inchangés et seule l'intensité énergétique avait varié, la consommation aurait diminué de 0,8% : c'est l'effet d'efficacité énergétique qui est mesurée par l'intensité énergétique corrigée par les trois autres facteurs ci-haut mentionnés.

Le tableau 6 montre aussi la décomposition en facteurs de la consommation totale de l'énergie du secteur commercial canadien, réalisée par l'OEE⁴. La consommation d'énergie du secteur commercial canadien a augmenté de 8,9% entre 1990 et 1998. Nous pouvons remarquer que l'effet du changement de structure est mineur au Canada (0,3%) tout comme il l'est au Québec (0,02%) : les changements dans la répartition de la surface de plancher entre divers types de bâtiments ont entraîné une légère augmentation de la consommation d'énergie du secteur commercial de 3 PJ au Canada et de 0,03 PJ au Québec.

L'effet positif de l'activité au Canada est de 13,8% est très proche de celui du Québec (12,9%). Ceci vient des caractéristiques du marché immobilier commercial qui s'est ajusté au ralentissement économique important au Canada durant 1990-1991, ainsi que les délais assez prolongés pour l'étude technique et la construction d'un immeuble commercial.

Cependant, l'incidence des conditions météorologiques sur la consommation d'énergie est plus importante au Québec (-4,1%) qu'au Canada (-2,3%), alors que l'effet efficacité énergétique est plus important au Canada (-2,1%) qu'au Québec (-0,8%).

⁴ Voir Ressources Naturelles Canada (2000)

Conclusion

Dans ce travail, nous utilisons une compilation spéciale reçue de l'Office de l'efficacité énergétique du Gouvernement du Canada pour analyser l'évolution de la consommation d'énergie du secteur commercial québécois de 1990 à 1998. L'électricité est la source énergétique la plus importante, soit 57% du total en 1998, elle est suivie du gaz naturel (31,5%). Par contre, ce dernier (2,43%/an) a crû plus rapidement que l'électricité (0,31%/an). Les produits pétroliers sont en régression considérable.

Les magasins de détail, les bureaux et les établissements d'enseignement sont responsables d'environ 60% de la consommation d'énergie. Leur intensité énergétique s'est améliorée malgré l'expansion de leur activité.

La décomposition en facteur de l'évolution de la consommation totale de l'énergie du secteur commercial québécois montre un effet positif d'activité (12,9%). Cette croissance de l'activité commerciale est responsable de l'augmentation de la consommation d'énergie de 23,36 PJ. Par contre, nous constatons un effet très marginal de la structure (0,02%) : les changements dans la répartition des surfaces de plancher entre diverses composantes du secteur commercial québécois n'ont presque pas affecté la consommation énergétique. Les variations dans les conditions météorologiques ont réduit la consommation d'énergie du secteur commercial de 7,46 PJ soit -4,1%. Il s'agit du deuxième facteur le plus important après l'activité à avoir des incidences sur la consommation d'énergie durant cette période.

Finalement, les améliorations apportées à l'efficacité énergétique dans le secteur commercial ont permis de réduire la consommation d'énergie de 1,44 PJ, soit -0,8%.

Tableau 1 : Évolution du secteur commercial, Québec, 1990-1998

		1990	1998	Taux de croissance annuel moyen %
Consommation totale d'énergie incluant l'éclairage des voies publiques	PJ	183,76	196,24	0,82
Consommation totale d'énergie	PJ	180,88	194,06	0,88
Surface de plancher	M m ²	90,81	102,54	1,52
Intensité énergétique	GJ / m ²	1,99	1,89	-0,64

Tableau 2: Évolution de la consommation d'énergie dans le secteur commercial incluant l'éclairage des voies publiques selon la forme d'énergie, Québec

		1990	1998	Taux de croissance annuel moyen %
Électricité (PJ) (%)		109,02 59,3	111,78 57,0	0,31
Gaz naturel (PJ) (%)		50,93 27,7	61,87 31,5	2,43
Propane (PJ) (%)		2,67 1,4	4,12 2,1	5,42
Kérosène et mazout léger (PJ) (%)		18,07 9,8	16,80 8,6	-0,91
Mazout lourd (PJ) (%)		3,07 1,7	1,67 0,8	-7,61

Tableau 3 : Consommation d'énergie par forme et selon les composantes du secteur commercial, Québec (1990-1998)

			Électricité	Gaz naturel	Propane	Kérosène et mazout léger	Mazout lourd	Total
Établissements d'enseignement	1990	PJ	11,11	9,56	0,45	3,17	0,73	25,03
		%	44,4	38,2	1,8	12,7	2,9	100
	1998	PJ	11,91	11,86	0,77	3,13	0,29	27,98
		%	42,6	42,4	2,8	11,2	1,0	100
	Taux de croissance annuel moyen %			0,87	2,70	6,70	-0,16	-11,54
Établissements de santé	1990	PJ	10,48	6,87	0,26	2,49	0,38	20,49
		%	51,1	33,5	1,3	12,2	1,9	100
	1998	PJ	11,06	8,30	0,43	2,39	0,21	22,40
		%	49,4	37,1	1,9	10,7	0,9	100
	Taux de croissance annuel moyen %			0,67	2,36	6,30	-0,51	-7,41
Bureaux	1990	PJ	23,68	11,34	0,57	4,07	0,64	40,31
		%	58,8	28,1	1,4	10,1	1,6	100
	1998	PJ	24,67	13,65	0,91	3,70	0,38	43,32
		%	56,9	31,5	2,1	8,5	0,9	100
	Taux de croissance annuel moyen %			0,51	2,31	5,85	-1,20	-6,51
Magasins de détail	1990	PJ	31,40	9,95	0,48	3,58	0,56	45,98
		%	68,3	21,6	1,1	7,8	1,2	100
	1998	PJ	30,04	11,76	0,74	3,04	0,32	45,91
		%	65,5	25,6	1,6	6,6	0,7	100
	Taux de croissance annuel moyen %			-0,55	2,10	5,41	-2,04	-7,00
Hôtels et restaurants	1990	PJ	11,70	3,42	0,44	1,26	0,22	17,03
		%	68,7	20,1	2,9	7,4	1,3	100
	1998	PJ	12,13	4,15	0,50	1,22	0,16	18,16
		%	66,8	22,9	2,7	6,7	0,9	100
	Taux de croissance annuel moyen %			0,45	2,49	1,60	-0,40	-3,40
Bâtiments à vocation récréative	1990	PJ	8,40	4,14	0,19	1,48	0,23	14,45
		%	58,1	28,7	1,3	10,2	1,6	100
	1998	PJ	10,37	5,72	0,35	1,56	0,14	18,16
		%	57,1	31,5	1,9	8,6	0,8	100
	Taux de croissance annuel moyen %			2,63	4,04	7,63	0,69	-6,20
Entrepôts	1990	PJ	5,93	3,07	0,15	1,09	0,17	10,41
		%	57,0	29,5	1,4	10,5	1,6	100
	1998	PJ	5,40	3,14	0,20	0,84	0,08	9,67
		%	55,8	32,5	2,1	8,7	0,8	100
	Taux de croissance annuel moyen %			-1,17	0,28	3,60	-3,25	-9,42
Lieux de culte et autres établissements	1990	PJ	3,43	2,55	0,11	0,91	0,14	7,16
		%	47,9	35,6	1,5	12,7	1,9	100
	1998	PJ	3,99	3,27	0,20	0,89	0,08	8,44
		%	47,3	38,8	2,4	10,5	0,9	100
	Taux de croissance annuel moyen %			1,90	3,10	7,50	-0,28	-7,00

Tableau 4: Évolution de surface de plancher et de l'intensité énergétique selon les composantes du secteur commercial, Québec, (1990-1998)

		Énergie <i>PJ</i>	Surface de plancher <i>M m²</i>	Intensité énergétique <i>GJ/m²</i>
Établissements d'enseignement	1990	25,03	14,65	1,708
	1998	27,98	16,90	1,656
	Taux de croissance annuel moyen %	1,40	1,78	-0,38
Établissements de santé	1990	20,49	7,00	2,925
	1998	22,40	7,65	2,930
	Taux de croissance annuel moyen %	1,11	1,10	0,02
Bureaux	1990	40,31	22,34	1,805
	1998	43,32	26,78	1,617
	Taux de croissance annuel moyen %	0,90	2,26	-1,37
Magasins de détail	1990	45,98	20,01	2,297
	1998	45,91	20,76	2,212
	Taux de croissance annuel moyen %	-0,02	0,46	-0,47
Hôtels et restaurants	1990	17,03	5,60	3,043
	1998	18,16	6,34	2,863
	Taux de croissance annuel moyen %	0,80	1,55	-0,76
Bâtiments à vocation récréative	1990	14,45	7,41	1,949
	1998	18,16	9,69	1,874
	Taux de croissance annuel moyen %	2,85	3,35	-0,49
Entrepôts	1990	10,41	8,95	1,163
	1998	9,67	8,64	1,119
	Taux de croissance annuel moyen %	-0,92	-0,44	-0,48
Lieux de culte	1990	2,55	2,02	1,263
	1998	2,26	1,85	1,221
	Taux de croissance annuel moyen %	-1,50	-1,10	-0,42
Autres établissements	1990	4,60	2,80	1,640
	1998	6,17	3,92	1,576
	Taux de croissance annuel moyen %	3,67	4,20	-0,50

Tableau 5 : Évolution de la consommation d'énergie du secteur commercial selon l'usage final, Québec, (1990-1998)

	1990	1998	Taux de croissance annuel moyen %
Éclairage* (PJ)	28,92	28,89	-0,01
(%)	16,0	14,9	
Climatisation des locaux (PJ)	7,35	7,20	-0,26
(%)	4,1	3,7	
Moteur auxiliaire (PJ)	24,74	25,80	0,52
(%)	13,7	13,3	
Équipement auxiliaire (PJ)	13,77	13,38	-0,35
(%)	7,6	6,9	
Chauffage des locaux (PJ)	96,03	107,38	1,40
(%)	53,0	55,3	
Chauffage de l'eau (PJ)	10,06	11,40	1,56
(%)	5,6	5,9	
Total (PJ)	180,88	194,05	0,88
(%)	100	100	

* : L'éclairage des voies publiques n'est pas inclus.

Tableau 6 : Décomposition par facteurs du changement de la consommation totale d'énergie du secteur commercial québécois de 1990 à 1998 ^a

(%)

$\frac{E}{E_0} - 1$	=	$\left(\frac{A}{A_0} - 1\right)$	+	$\left(\frac{S}{S_0} - 1\right)$	+	$\left(\frac{W}{W_0} - 1\right)$	+	$\left(\frac{I'}{I'_0} - 1\right)$	+	$\lambda + \delta + \varepsilon$
		Valeur pour le Québec ^b								
7,3		12,9		0,02		-4,1		-0,8		-0,72
										⏟
		Valeur pour le Canada ^c								
8,9		13,8		0,3		-2,3		-2,1		-0,8
										⏟

Définitions : E = consommation totale d'énergie, A = niveau d'activité économique, S = indice de structure de l'activité économique, I' = indice de l'intensité corrigé par la température, W = les conditions météorologiques, λ , δ , ε = facteurs d'interaction

Notes :

^a Voir l'annexe pour la présentation de cette méthodologie

^b Calcul des auteurs

^c Voir Ressources Naturelles Canada (octobre 2000) p.35

ANNEXE

Résumé méthodologique sur la factorisation de l'augmentation de la consommation totale d'énergie

La consommation totale d'énergie(E) est le produit de l'activité(A) et de l'intensité énergétique (Ω).

$$E = A \cdot \frac{E}{A} = A \cdot \Omega \quad (1)$$

Le pourcentage de variation dans la consommation d'énergie entre deux périodes peut s'écrire

$$\frac{E}{E_o} - 1 = \frac{A \cdot \Omega}{A_o \cdot \Omega_o} - 1 \quad (2)$$

En utilisant la relation $xy - 1 = (x - 1) + (y - 1) + (x - 1)(y - 1)$, il est possible de factoriser (2) de la façon suivante :

$$\frac{E}{E_o} - 1 = \left(\frac{A}{A_o} - 1\right) + \left(\frac{\Omega}{\Omega_o} - 1\right) + \underbrace{\left(\frac{A}{A_o} - 1\right)\left(\frac{\Omega}{\Omega_o} - 1\right)} \quad (3)$$

où est un terme d'interaction. $\left(\frac{\Omega}{\Omega_o} - 1\right)$ peut être développé comme suit pour prendre en compte les différentes industries :

$$\Omega = \frac{E}{A} = \frac{\sum_i E_i}{\sum_i A_i} = \sum_i \frac{A_i}{A} \frac{E_i}{A_i} = \sum_i a_i \Omega_i \quad (4)$$

$$\frac{\Omega}{\Omega_o} = \frac{\sum_i a_i \Omega_i}{\sum_i a_{io} \Omega_{io}} \quad (5)$$

$$\frac{\Omega}{\Omega_o} = \frac{\sum_i a_{io} \Omega_{io} \frac{a_i \Omega_i}{a_{io} \Omega_{io}}}{\sum_i a_{io} \Omega_{io}} = \sum_i b_i \frac{a_i \Omega_i}{a_{io} \Omega_{io}} \quad (6)$$

$$\text{où } b_i = \frac{a_{io} \Omega_{io}}{\sum_i a_{io} \Omega_{io}} = \frac{E_{io}}{E_o} \quad (7)$$

donc
$$\sum_i b_i = 1$$

$$\frac{\Omega}{\Omega_o} - 1 = \sum_i b_i \frac{a_i \Omega_i}{a_{io} \Omega_{io}} - 1 \quad (8)$$

$$\frac{\Omega}{\Omega_o} - 1 = \sum_i b_i \left[\left(\frac{a_i}{a_{io}} - 1 \right) + \left(\frac{\Omega_i}{\Omega_{io}} - 1 \right) + \left(\frac{a_i}{a_{io}} - 1 \right) \left(\frac{\Omega_i}{\Omega_{io}} - 1 \right) \right] \quad (9)$$

$$\frac{\Omega}{\Omega_o} - 1 = \sum_i b_i \left(\frac{a_i}{a_{io}} - 1 \right) + \sum_i b_i \left(\frac{\Omega_i}{\Omega_{io}} - 1 \right) + \underbrace{\sum_i b_i \left(\frac{a_i}{a_{io}} - 1 \right) \left(\frac{\Omega_i}{\Omega_{io}} - 1 \right)}_{\delta} \quad (10)$$

où δ est un autre terme d'interaction. Les indices de structure (nous supposons la même intensité qu'à la période 0) et d'intensité (nous supposons la même structure qu'à la période 0) sont respectivement

$$\frac{S}{S_o} = \frac{\sum_i a_i \Omega_{io}}{\sum_i a_{io} \Omega_{io}} = \sum_i b_i \frac{a_i}{a_{io}} \quad (11)$$

$$\frac{I}{I_o} = \frac{\sum_i a_{io} \Omega_i}{\sum_i a_{io} \Omega_{io}} = \sum_i b_i \frac{\Omega_i}{\Omega_{io}} \quad (12)$$

Si nous remplaçons les équations (11) et (12) dans l'équation (10) et puis (10) dans (3), nous obtenons

$$\frac{E}{E_o} - 1 = \left(\frac{A}{A_o} - 1 \right) + \left(\frac{S}{S_o} - 1 \right) + \left(\frac{I}{I_o} - 1 \right) + \underbrace{\sum_i b_i \left(\frac{a_i}{a_{io}} - 1 \right) \left(\frac{\Omega_i}{\Omega_{io}} - 1 \right)}_{\delta} + \underbrace{\left(\frac{A}{A_o} - 1 \right) \left(\frac{\Omega}{\Omega_o} - 1 \right)}_{\delta} \quad (13)$$

Correction pour la température :

Soit Ω' , l'intensité corrigée pour l'effet de la température. $\Omega = \omega \cdot \Omega'$, donc $\Omega' = \Omega / \omega$, où ω représente l'effet de la température. On obtient donc :

$$\frac{I}{I_0} - 1 = \sum_i b_i \left(\frac{\Omega_i}{\Omega_{i0}} - 1 \right) = \sum_i b_i \left(\frac{\omega_i \Omega'_i}{\omega_{i0} \Omega'_{i0}} - 1 \right) \quad (14)$$

$$\frac{I}{I_0} - 1 = \sum_i b_i \left(\frac{\Omega'_i}{\Omega'_{i0}} - 1 \right) + \sum_i b_i \left(\frac{\omega_i}{\omega_{i0}} - 1 \right) + \sum_i b_i \left(\frac{\omega_i}{\omega_{i0}} - 1 \right) \left(\frac{\Omega'_i}{\Omega'_{i0}} - 1 \right) \quad (15)$$

Si on remplace (15) dans (13), on obtiendra une décomposition de l'énergie en activité, structure, température et intensité corrigée par la température.

$$\frac{E}{E_0} - 1 = \left(\frac{A}{A_0} - 1 \right) + \left(\frac{S}{S_0} - 1 \right) + \left(\frac{W}{W_0} - 1 \right) + \left(\frac{I'}{I'_0} - 1 \right) + \varepsilon + \delta + \lambda \quad (16)$$

où
$$\frac{W}{W_0} = \sum_i b_i \frac{\omega_i}{\omega_{i0}}, \quad \frac{I'}{I'_0} = \sum_i b_i \frac{\Omega'_i}{\Omega'_{i0}}$$

et ε , δ , λ sont des termes d'interaction.

Références

- BERNARD, J.-T. et CÔTÉ, B. (2002). « L'intensité énergétique du secteur manufacturier de 1976 à 1996 : Québec, Ontario, Alberta et Colombie-Britannique ». Cahier 2002-2, Chaire en économique de l'énergie électrique, Université Laval, mars 2002, 34 pages.
- BERNARD, J.-T. et IDOUDI, N. (2002). « Demande d'énergie et changement de l'intensité énergétique du secteur manufacturier québécois de 1990 à 1998 ». Cahier 2002-4, Chaire en économique de l'énergie électrique, Université Laval, octobre 2002, 23 pages, à paraître, *Actualité économique*, 2003.
- ENERGY POLICY. Special issue, June-July 1997.
- FREEMAN, S. L., M. J. NIEFER et J. M. ROOP (1997). « Measuring Industrial Energy Intensity: Practical Issues and Problems », *Energy Policy*, 25 (7-9), p. 703-714.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (1997). *Indicators of Energy Use and Efficiency: Understanding The Link between Energy and Human Activity*. OECD / IAE publication.
- RESSOURCES NATURELLES CANADA, OFFICE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (2000). *Évolution de l'efficacité énergétique du Canada de 1990 à 1998 : Une revue de la consommation d'énergie secondaire, de l'efficacité énergétique et des émissions de gaz à effet de serre*. 6 octobre 2000.