



GEIGER
*Groupe D'Études Interdisciplinaires en
Géographie et Environnement Régional*

UQÀM

Description technique détaillée du bassin versant du Lac Gauvreau

Présentée par :

Richard Mailhot et Benoît St-Onge

***Le Groupe d'Études Interdisciplinaires
en Géographie et Environnement Régional
Département de géographie
Université du Québec à Montréal
C.P. 8888, succursale Centre-Ville
Montréal, QC, H3C 3P8***

à

***La Municipalité de La Pêche
1, rue Principale Ouest
La Pêche (Québec) J0X 1W0***

Septembre 2001

Table des matières

1	PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIF	5
2	OBJET ET APERÇU MÉTHODOLOGIQUE	6
3	HYDROGRAPHIE	7
4	GÉOMORPHOLOGIE ET GÉOLOGIE	9
5	URBANISATION ET VILLÉGIATURE	12
5.1	INFRASTRUCTURE RÉCRÉO-TOURISTIQUE	13
5.2	SITE D'ENFOUISSEMENT	13
6	AGRICULTURE	15
7	ESTIMATION DES APPORTS EN PHOSPHORE VERS LE LAC GAUVREAU	16
7.1	TRAITEMENT PRÉALABLE DE L'INFORMATION	16
7.2	MÉTHODE UTILISÉE POUR LA QUANTIFICATION DES APPORTS EN PHOSPHORE	17
7.3	LE PHÉNOMÈNE DE RÉTENTION DU PHOSPHORE	19
7.4	APPORTS EN PHOSPHORE POUR L'UTILISATION DU SOL	21
7.5	APPORTS EN PHOSPHORE PAR LES FOSSES SEPTIQUES	24
7.5.1	<i>Bassin direct</i>	29
7.5.2	<i>Sous-bassin indirect</i>	29
7.6	APPORTS EN PHOSPHORE DU MILIEU ATMOSPHÉRIQUE.....	28
7.6.1	<i>Sous-bassin indirect</i>	30
7.7	APPORTS TOTAUX EN PHOSPHORE ET CALCUL DES CONCENTRATIONS	29
7.8	INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS : APPORTS ET CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE	32
8	CONCLUSION	37

Liste des figures

Figure 1	Carte de localisation de l'aire d'étude.....	7
Figure 2	Bassin versant du lac Gauvreau.....	10
Figure 3	Aires de concentration de la population et principales infrastructures.....	14
Figure 4	Délimitation des bassins direct et indirect.....	18
Figure 5	Pourcentage des apports en phosphore pour chacune des sources	33

Cartes hors-texte

Carte A Délimitation des bassins et sous-bassins versants, topographie et bathymétrie.

Carte B Limites municipales, utilisation du sol 2000, infrastructures et aménagements liés à l'eau

Liste des tableaux

Tableau 1. Principaux lacs du bassin versant	8
Tableau 2. Principaux cours d'eau du bassin versant.....	8
Tableau 3. Utilisation des unités d'évaluation dans le bassin versant.....	12
Tableau 4. Superficies allouées aux différentes activités agricoles	15
Tableau 5. Nombre d'unités animales dans le bassin versant	15
Tableau 6. Superficie et proportion occupées par les types d'utilisation du sol du bassin versant du lac Gauvreau	22
Tableau 7. Coefficients d'exportation établis pour les types d'utilisation du sol du bassin versant du lac Gauvreau.	22
Tableau 8. Apports en phosphore estimés pour l'utilisation du sol	25
Tableau 9. Nombre de résidences permanentes et saisonnières pour l'ensemble du bassin versant.	26
Tableau 10. Nombre de personnes-années pour les résidences des bassins direct et indirect	28
Tableau 11. Apports totaux en phosphore (kg/an) des fosses septiques pour les bassins direct et indirect	29
Tableau 12. Apports en phosphore pour le milieu atmosphérique	30
Tableau 13. Estimation des apports totaux en phosphore pour chaque source (bassins direct et indirect combinés), bassin versant du lac Gauvreau.	30
Tableau 14. Caractéristiques hydriques du lac Gauvreau.....	31
Tableau 15. Calcul des apports annuels par unité de surface du lac.....	31
Tableau 16. Concentrations de phosphore calculées à partir du modèle de Reckhow	32
Tableau 17. Pourcentage des apports en phosphore pour chaque source de pollution et utilisation du sol à l'intérieur du bassin versant	34
Tableau 18. Comparaison entre les concentrations estimées, mesurées (juillet 1998) et avec les critères de qualité de l'eau du Ministère de l'environnement	35
Tableau 19. État trophique et utilisation possible d'un plan selon la concentration en phosphore.....	35

1 Problématique et objectif

Le lac Gauvreau subit la pression environnementale découlant de l'utilisation du territoire de son bassin versant, essentiellement axée sur la villégiature et l'agriculture. Comme symptôme de cette pression, une *fleur d'eau* de cyanobactérie s'est développée sur le lac à l'été 2000. Le présent projet a pour objectif d'établir une description technique détaillée du bassin versant du Lac Gauvreau dans le cadre d'une démarche visant à mieux comprendre les sources de contamination qui pourraient affecter la qualité de ses eaux. À partir des informations colligées, nous évaluerons la quantité d'un des principaux nutriments, le phosphore, qui atteint le lac. Le phosphore est le nutriment qui contrôle la productivité des eaux dans les régions à climat tempéré et, conséquemment, l'état trophique du lac. Nos calculs porteront sur les apports de sources anthropiques et naturelles : les résidences permanentes et saisonnières, l'agriculture, les forêts ainsi que l'atmosphère. La méthodologie employée livre un ordre de grandeur des quantités de phosphore atteignant le lac, ainsi qu'une estimation de l'incertitude associée aux calculs.

Par le présent travail nous voulons dresser un portrait de la situation environnementale, sur lequel pourra s'appuyer la prise de décisions dans les interventions futures. Dans une étape ultérieure distincte, cette étude servira à modéliser les apports en phosphore et à évaluer l'état trophique actuel du lac en vue de comparer avec les données contenues dans une étude similaire qui avait été effectuée en 1979 (Alain, Bourassa et Dufresne, 1980).

2 Objet et aperçu méthodologique

La présente analyse porte sur le bassin versant du lac Gauvreau, il s'agit d'une étude de caractérisation qui porte à la fois sur le milieu naturel et le milieu bâti. En ce qui a trait au milieu physique, nos efforts se concentrent sur les aspects hydrographiques, pédologiques et géomorphologiques du milieu. L'organisation humaine du territoire sera vue sous les aspects de l'état de l'urbanisation et de la villégiature, la localisation et la distribution des activités récréo-touristiques, agricole, et commerciale.

Les informations sur le territoire sont sous forme numérique afin d'être intégrées à un système d'information géographique (SIG). Le SIG est un outil puissant de traitement de l'information, il permet de réaliser certaines tâches qui sont laborieuses à exécuter à l'aide d'outils conventionnels : calcul de superficie, délimitation de bassin versant, création de surface topographique, superposition cartographique, etc.

La localisation de la plupart des éléments physiques et anthropiques ont été fournis par le service de la géomatique de la MRC Les Collines-de-l'Outaouais. Les informations ont été complétées et vérifiées sur le terrain et sur les photographies aériennes au 1 : 40,000 prises en juin 2000. Des données démographiques de Statistique Canada du recensement de 1996 ont aussi été consultées. Le rôle d'évaluation a été utilisé pour obtenir certaines informations descriptives des unités d'évaluation, comme le code d'utilisation.

Les informations numériques sur la topographie et l'hydrographie nous ont servi à produire, au moyen du logiciel ArcInfo, un modèle numérique de terrain (MNT) qui représente, de façon virtuelle, la surface du terrain. À partir de cette surface, et avec le même logiciel, nous avons délimité les bassins et sous-bassins à l'étude. Tout au long du processus une supervision humaine des traitements est exercée pour assurer la qualité des résultats.

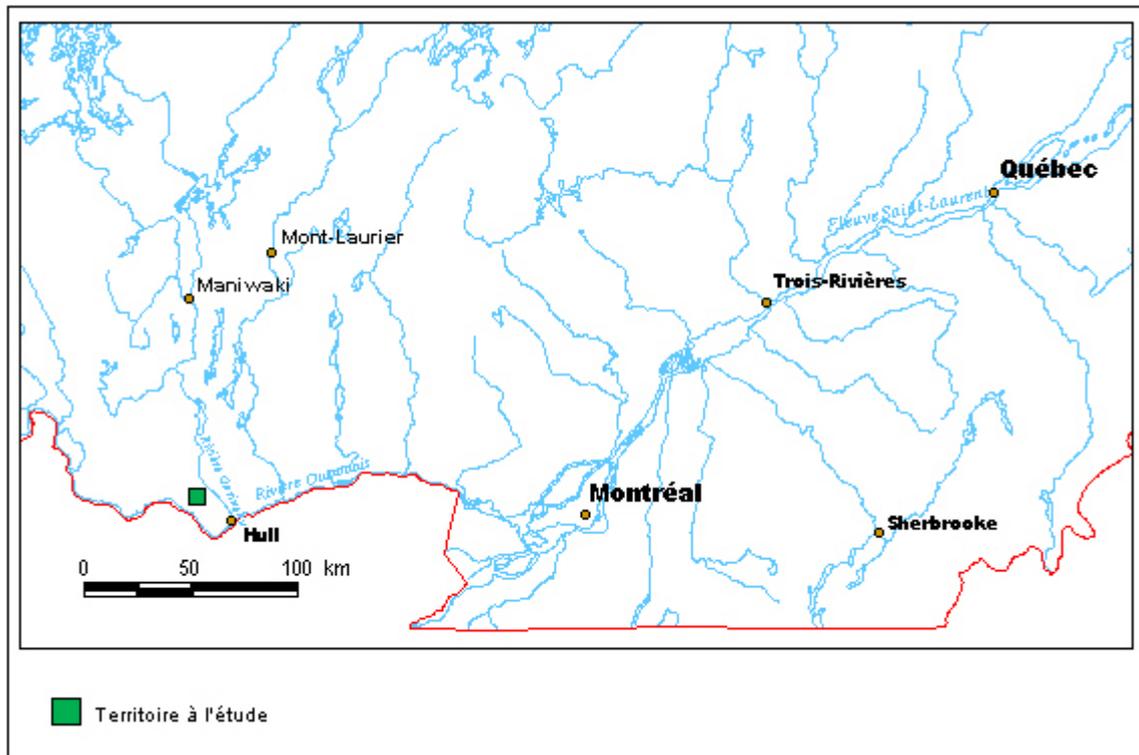
Les données sur la pédologie proviennent de l'Agence de Traitement de l'Information Numérique de l'Outaouais (LATINO). Les informations sur la géologie ainsi que sur la bathymétrie n'étaient pas disponibles en format numérique mais les cartes papier les représentant ont été numérisées dans le cadre de ce projet.

3 Hydrographie

Le lac Gauvreau est situé à 45,8 ° de latitude nord et à 76,0° de longitude ouest, à environ 35 km au nord-ouest d'Ottawa-Hull (voir figure 1). Le bassin versant du lac Gauvreau est entièrement inclus dans la municipalité de La Pêche, alors que 7,5 % du territoire de cette dernière est couvert par ce bassin versant.

Le bassin¹ fait partie du grand bassin de la rivière Gatineau (bassin 04), (Québec.Service des relevés, 1975). Il s'agit d'un bassin de cinquième ordre : les eaux du lac emprunte un court ruisseau avant d'atteindre la rivière La Pêche² qui, elle, se jette dans la rivière Gatineau, dont les eaux atteignent ensuite la rivière Outaouais pour finalement aboutir au fleuve St-Laurent.

Figure 1 Carte de localisation de l'aire d'étude



Dans sa totalité, le bassin versant du lac Gauvreau couvre 44,6 km² (ou 4460,4 ha) ; il occupe 15,9 % du bassin versant de la rivière La Pêche qui, lui, fait 290 km² (Québec.Ministère des richesses naturelles, 1969). Ces bassins constituent une petite partie du grand bassin de la rivière Gatineau qui totalise (Québec.Ministère de l'environnement., 2001).

¹ Ici, comme dans le reste du document, pour alléger le texte, le terme « bassin » désigne le bassin versant du lac Gauvreau

² À partir de la confluence de l'émissaire avec la rivière La Pêche, celle-ci parcourt environ 6,0 km avant d'atteindre la rivière Gatineau

Le lac en lui-même comporte deux principaux tributaires : le Ruisseau à Parent et le Ruisseau du lac Kennedy, on retrouve aussi un autre tributaire mineur. Son émissaire est une petite rivière coulant vers la rivière La Pêche (située à 0,4 km de l'exutoire du lac tel que le montre la figure 2).

Tableau 1. Principaux lacs du bassin versant

<i>Nom</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Périmètre (m)</i>
Lac Gauvreau	90,6	7812,5
Lac à Jean Venne	15,4	2248,0
Lac à Monette	11,8	2492,1
Lac Kennedy	7,1	1423,5

Le principal ruisseau tributaire du bassin est le ruisseau à Parent qui recueille les eaux de plusieurs autres ruisseaux en amont. Le tracé de ce ruisseau, de même que ceux de certains de ses tributaires, ont été redressé afin de faciliter le drainage des terres agricoles. Alain (1980) situe les travaux quelque part entre 1962 et 1965.

Tableau 2. Principaux cours d'eau du bassin versant

<i>Nom</i>	<i>Longueur (km)</i>
Ruisseau à Parent	12,6
Ruisseau à Gibson	3,2
Ruisseau à Gélinas-Richard	2,7
Ruisseau à Mc Crank	2,7
Ruisseau à Ouellet	2,1
Cours d'eau Belisle	1,4
Ruisseau du lac Kennedy	0,7
Cours d'eau Dion	0,6

On retrouve plusieurs étendues marécageuses disséminées sur le territoire du bassin, quelques-unes d'entre elles sont dues aux activités des castors. Les principales terres humides sont deux secteurs situées à proximité du lac à Jean-Venne, celui au nord-ouest couvrent 10,7 ha, alors que celui au sud-ouest couvre 7,6 ha.

4 Géomorphologie et géologie

Le relief de la région a subi les effets de la dernière glaciation et des étapes subséquentes d'invasion marine, si bien que les formes et dépôts qu'on y retrouve représentent les différentes phases de cette évolution : de la roche en place jusqu'aux derniers stades de la Mer de Champlain (Québec.Ministère de l'énergie et des ressources, 1992a) (Québec.Ministère de l'énergie et des ressources, 1992b).

Les zones les plus élevées et où le relief est le plus accentué (comme les collines aux abords immédiats du lac Gauvreau) sont constituées de la roche en place, couvertes d'une mince couche de dépôt généralement d'origine glaciaire. Ce dernier forme le relief dans la partie la plus amont du bassin, dans les collines entourant le lac à Jean-Venne ainsi que celles entourant le lac à Monette. Une bonne part de la superficie totale du bassin est couverte par ce type de dépôt, il s'agit d'un dépôt non-trié, à la granulométrie très variée, dont la couverture est généralement peu épaisse.

Dans le cours supérieur du ruisseau à Parent (autour du hameau de Duclos), on retrouve des épandages pro-glaciaires, constituées de sable, gravier et cailloux émoussés; ces dépôts sont triés et stratifiés.

Mais la plus grande partie de la plaine jouxtant les ruisseaux à Parent et McCrank ainsi que les berges nord et nord-ouest du lac Gauvreau sont constituées de dépôts marins, la limite maximale d'altitude des dépôts marins est de 210 m pour le secteur (Québec.Ministère de l'énergie et des ressources, 1992a). Il s'agit essentiellement de dépôts argileux pouvant contenir des pierres et des blocs glaciels. Dans ces secteurs, quelques étendues plus restreintes présentent des profils représentatifs de zones littorales, avec une fraction plus importante de sable et gravier.

La géologie de la région a fait l'objet de plusieurs études, nous nous sommes servis principalement des études de Madore et al. (Madore, Kamal, Globensky et Giguère, 1994) pour la partie à l'ouest du 76^{ème} méridien, et celle de Béland (Béland, 1954) pour la partie à l'est du même méridien. Le territoire à l'étude est située dans la partie sud-ouest de la province géologique de Grenville, d'âge protérozoïque, il s'agit de roches métasédimentaires et métavolcaniques appartenant au Terrane de Mont-Laurier (Rivers, Martignole, Gower et Davidson, 1989). La lithologie de la roche en place est surtout composée de marbre calcitique et dolomitique, de roches calco-silicatées, de paragneiss alumineux. On retrouve aussi

Figure 2 Bassin versant du lac Gauvreau

certaines étendues de métaanorthosite et de granite. Une série de veines de diabase recoupe toutes les formations du socle protérozoïque, elles ont une orientation est-ouest. Leur âge est estimé à environ 700 M années et font partie de l'essaim de dykes de Grenville (Kretz, Hartree, Garrett et Cermignani, 1985).

5 Urbanisation et villégiature

La population totale de la municipalité de La Pêche était de 6160 au recensement de 1996 ; il s'agit d'une hausse de 5,2 % par rapport au recensement de 1991 alors que la population était de 5854. Même si cette augmentation de population est importante, elle est toutefois plus modeste que celle qu'a connu l'ensemble de la MRC des Collines-de-l'Outaouais durant cette même période, qui est passée de 28 894 à 33 662 personnes, pour une augmentation de 16,5 %.

Pour l'ensemble de la municipalité, le nombre moyen de personnes par famille de recensement est de 3,00.

Selon les informations contenues dans le rôle d'évaluation foncière de 2001, le bassin regroupe 767 unités d'évaluation; le détail de la répartition des utilisations des propriétés se retrouvent au tableau 3.

Tableau 3. Utilisation des unités d'évaluation dans le bassin versant

<i>Utilisation</i>	<i>Code</i>	<i>Nombre d'occurrences</i>
Terrain non-aménagé	9100, 9400	319
Résidences saisonnières	1100, 1900	218
Résidences permanentes	1000, 1211, 1212	167
Ferme en général	8161, 8180, 8199	59
Gravière		3
Pépinière commerciale		1
Industrie de métal non-ferreux	3190	2
Camping	7491	2

On peut constater que le plus grand nombre d'unités ne sont pas aménagées³, ensuite, que les 218 résidences saisonnières constituent la principale utilisation des unités d'évaluation. Les résidences permanentes regroupent 167 unités d'évaluation, nombre qui inclus 5 maisons mobiles inscrites au rôle. Pour nos calculs nous ajouterons par transfert 14 résidences permanentes qui, au rôle d'évaluation, sont inscrites comme ferme ; ce nombre de résidences provient de l'interprétation des photographies aériennes.

Le parc de résidences permanentes dans la municipalité, selon le rôle d'évaluation, avoisinerait 2500 unités, alors que les saisonnières cumulerait environ 1800 unités. C'est donc dire que la prépondérance de résidences saisonnières que l'on retrouve dans le bassin n'est pas représentative de la situation dans l'ensemble de la municipalité.

³ Nous verrons au chapitre 7 portant sur l'évolution de l'utilisation du sol comment se répartissent, dans les faits, les superficies des différents types d'utilisation du sol

Sur la figure 3 on peut constater que les résidences secondaires sont concentrées dans la baie au sud de l'île, la baie Ste-Anne et la berge nord du lac. Ailleurs dans le bassin on retrouve une zone de concentration de résidences secondaires autour du lac à Jean-Venne. Dans la baie au sud de l'île, on retrouve aussi une certaine concentration de résidences permanentes; mais la principale concentration de ce type de résidences dans le bassin est une partie du village de Ste-Cécile-de-Masham, qui se trouve à un peu moins d'un kilomètre au sud-ouest du lac, à l'est du chemin de la Beurrerie.

On retrouve peu d'exploitation commerciale sur le territoire, on ne retrouverait qu'une pépinière située sur le chemin des Érables, l'envergure de cette exploitation ne devrait pas influencer les apports de nutriments. Il n'y a aucune industrie dans le bassin, on retrouve toutefois trois gravières qui peuvent influencer le transport de nutriments, parce que la végétation clairsemée utilise moins de nutriments et le décapage du sol favorise la percolation.

5.1 Infrastructure récréo-touristique

On retrouve peu d'infrastructures de ce type dans le bassin. La seule installation d'importance est le terrain de camping Kingsbury situé sur la rive est du ruisseau à Parent, à son embouchure dans le lac Gauvreau. On ne retrouve pas d'accès public au lac, que ce soit sous forme de quai, de plage ou simplement d'halte routière. Quelques lots riverains ont une utilisation commune pour les occupants de certains chalets disposant d'une forme de droit d'accès.

Ailleurs dans le bassin, on dénote un terrain de camping à l'extrémité est du bassin, près du hameau de Duclos. Ce terrain a cessé ses opérations au cours des dernières années, certains équipements sont restés en place et le barrage qui avait été dressé sur le ruisseau à Parent pour former un lac artificiel, était toujours en place sur les photographies aériennes de juin 2000.

5.2 Site d'enfouissement

On ne retrouve pas de sites d'enfouissement à proprement parler dans le bassin. À quelque centaines de mètres au nord-est du lac à Monette, l'analyse de la photographie aérienne démontre un site de dépôt de rebuts. L'essentiel semble être constitué de carcasses de véhicules, mais une expertise plus poussée serait nécessaire pour déterminer la présence de déchets organiques.

Figure 3 Aires de concentration de la population et principales infrastructures

6 Agriculture

Selon les données du Ministère de l'agriculture (Québec.Ministère de l'agriculture, 2001), on retrouve huit exploitations agricoles inscrites dans le bassin versant du lac Gauvreau, elles sont toutes situées dans le sous-bassin du ruisseau à Parent. Elles couvrent 1328,9 ha, soit 29,8 % de l'ensemble du bassin ou 32,1 % du sous-bassin du ruisseau à Parent.

Tableau 4. Superficies allouées aux différentes activités agricoles

	<i>Superficie (ha)</i>	
Boisés incluant érablière	489	36,8 %
Fourrages entreposés	382,7	28,8 %
Pâturages	345,7	26,0 %
Non-exploitable	71,5	5,4 %
Céréales	40	3,0 %
Total des fermes	1328,9	100,0 %

La plus grande partie de ces terres est boisée, mais on peut voir que les foins et pâturages cumulés constituent la plus importante utilisation, totalisant 728,4 ha ou 54,8 % des terres agricoles. La partie en grande culture est minimale, avec seulement une quarantaine d'hectares qui lui est consacrée. Le parc de bestiaux dans le sous-bassin du ruisseau Parent est analysé au tableau suivant.

Tableau 5. Nombre d'unités animales dans le bassin versant

	<i>Têtes</i>		<i>Unités animales</i>	
Vaches de boucherie	315	60,8 %	315	76,8 %
Animaux de boucherie de remplacement	180	34,7 %	90	21,9 %
Veaux de boucherie de l'année	22	4,2 %	4,4	1,1 %
Chevaux	1	0,2 %	1	0,2 %
TOTAL	518	100,0 %	410,4	100,0 %

Parmi les huit fermes présentes, on retrouve 13 sites d'entreposage des fumiers, nous avons estimé la position de ces sites à partir des photographies aériennes et des informations contenues au rôle d'évaluation. Les sites d'entreposage de fumier ont été assumé comme étant localisés à proximité des bâtiments de fermes. Les informations obtenues du Ministère de l'agriculture nous indiquent que l'épandage des fumiers se pratiquent sur 284 ha.

7 Estimation des apports en phosphore vers le lac Gauvreau

7.1 Traitement préalable de l'information

Les apports en phosphore vers le lac Gauvreau ont été estimés à l'aide de la méthode des coefficients d'exportation de nutriments (Reckhow, Beaulac et Simpson, 1980) (Alain et Lerouzès, 1979). Pour appliquer cette méthode, les informations de base nécessaires sont les différentes superficies consacrés à chacun des différents types d'utilisation du sol ainsi que le nombre total de résidences dans le bassin et comment elles se partagent entre les résidences permanentes et saisonnières. La méthode tient aussi compte de sources individuelles de pollution potentielle à l'intérieur du bassin, mais puisqu'aucune n'a été identifiée, cet aspect de la méthode ne sera pas considéré.

L'information utilisée pour l'application de la méthode des coefficients d'exportation a été obtenue à partir des bases de données disponibles (matrice graphique, fichiers au 1 :20,000 du Ministère de l'énergie et des ressources) à partir desquelles ont ensuite été dérivées d'autres informations. L'information sur la topographie, le réseau de drainage, l'utilisation du sol et la localisation des résidences pour l'ensemble de la zone d'étude a été réunie.

Un autre élément à prendre en considération dans la quantification des apports en nutriments est le phénomène de rétention du phosphore à l'intérieur des plans d'eau. En effet, on a constaté que les plans d'eau agissent comme des trappes à sédiments, le phosphore particulaire s'y déposant. Par ce phénomène, une certaine proportion des apports en phosphore s'accumule dans les plans d'eau situés en amont du lac Gauvreau. Pour obtenir une meilleure estimation des apports en phosphore vers le lac il est nécessaire d'évaluer la rétention du phosphore, le détail des calculs sera explicité au sous-chapitre 7.3.

Nous avons subdivisé le bassin versant en deux grands parties, selon que le territoire se draine directement ou indirectement vers le lac Gauvreau. Le territoire qui se draine directement vers le lac Gauvreau, sans qu'une partie des apports soit captée dans des lacs en amont, est nommée bassin direct. Tandis que le sous-bassin indirect correspond au territoire se drainant vers les plans d'eau situés en amont du lac Gauvreau. Cette distinction est importante puisque les lacs situés en amont interceptent et accumulent une partie considérable du phosphore qui se draine vers le lac Gauvreau. La délimitation du bassin direct et des sous-bassins indirects est représentée à la figure 4.

7.2 Méthode utilisée pour la quantification des apports en phosphore

Pour le bassin versant, la méthode des coefficients d'exportation a été favorisée pour la quantification des apports en phosphore puisqu'elle nécessite un nombre limité de paramètres et qu'elle est facilement reproductible. Elle permet d'obtenir une approximation convenable des apports en phosphore, il s'agit d'une méthode utile lorsqu'il n'est pas possible d'obtenir des mesures sur le terrain, des mesures qui devraient être échelonnées sur une certaine période de temps. **La méthode des coefficients d'exportation doit être appliquée avec une certaine prudence et prendre en compte que les résultats obtenus sont approximatifs.** Elle représente donc une première évaluation qui permet de cibler les endroits où les efforts de réduction de la pollution doivent être concentrés et indique ainsi la meilleure localisation pour des sites d'échantillonnages. Lorsque les données disponibles le permettent, il est recommandable d'appliquer des modèles plus élaborés et ainsi préciser les estimations obtenues à l'aide des coefficients d'exportation. Les coefficients d'exportation permettent d'estimer les apports en nutriments vers un plan d'eau, par unité source. Ces dernières sont la superficie exprimée en kilomètres carrés pour l'utilisation du sol, le nombre de personnes/années pour les fosses septiques et la superficie des plans d'eau exprimée en hectares pour les apports de l'atmosphère. Cette méthode considère que, pour des conditions hydrologiques normales, chaque type de source exportera une charge à peu près constante de nutriments par unité (Ryding et Rast, 1989). Un coefficient d'exportation est attribué à chaque type de source en fonction de ses caractéristiques propres. Pour estimer les apports totaux en phosphore on multiplie simplement un coefficient d'exportation déterminé par l'unité source en utilisant l'équation suivante (Reckhow, Beaulac et Simpson, 1980) :

$$M = (Ce_f * Aire_f) + (Ce_{mh} * Aire_{mh}) + (Ce_{gc} * Aire_{gc}) + (Ce_{pf} * Aire_{pf}) + (Ce_{atm} * Aire_{pd}) + (Ce_{fs} * T_{occ} * (1 - Crs)) \quad (\text{Équation 1})$$

M = masse des apports totaux en phosphore (kg P/an)

Ce = coefficient d'exportation (kg P/m²/an ou kg P/personne/an pour les fosses septiques)

$Aire$ = superficie du type d'utilisation du sol (m²)

f = forêt, milieux forestiers perturbés, friches agricoles

mh = milieux humides (tourbières et marais)

gc = grandes cultures

pf = pâturages et fourrages

atm = atmosphère

pd = plan d'eau (i.e. la zone d'interception)

fs = fosse septique

T_{occ} = taux d'occupation total des résidences

Crs = coefficient de rétention du sol

Figure 4 Délimitation des bassins direct et indirect

Pour chacune des sources de phosphore, un coefficient d'exportation a été déterminé dans le but de quantifier les apports totaux en phosphore pour le lac Gauvreau. Les coefficients d'exportation ont été établis à l'aide d'études qui regroupent des coefficients d'exportation déjà mesurés pour différents types d'utilisation du sol. En ayant une bonne connaissance des caractéristiques du bassin, il a été possible de sélectionner des coefficients d'exportation les plus représentatifs du milieu étudié.

L'étude précitée de Reckhow et al., qui compile plusieurs coefficients d'exportation de phosphore développés pour des bassins versants aux États-Unis et au Canada, a été particulièrement utile dans le choix de coefficient d'exportation pour le bassin. Le choix s'est aussi appuyé sur un certain nombre d'études portant sur les apports en phosphore en fonction du type d'utilisation du sol : des études (Meunier, Bourassa, Morin et Alain,) (de Montigny et Prairie, 1996) sur les valeurs de coefficients d'exportation pour le Québec, ainsi que sur une étude de (Brehob, 1997) pour un bassin versant situé dans le nord-est des États-Unis, dans lequel l'occupation du sol est axée vers la villégiature.

Par ailleurs, la démarche proposée, (Reckhow, Beaulac et Simpson, 1980) permet de préciser l'incertitude associée au calcul des apports. Pour cela, il est nécessaire de déterminer un intervalle à l'intérieur duquel il y a une forte probabilité de retrouver une valeur adéquate pour le coefficient d'exportation. Pour évaluer l'incertitude, trois coefficients d'exportation doivent donc être établis pour chaque source de phosphore, un premier coefficient représentant le mieux les caractéristiques du milieu étudié (que nous nommerons coefficient usuel) et ensuite deux autres coefficients pour déterminer les limites maximale et minimale de l'intervalle de confiance (coefficients minimal et maximal). Le calcul de l'incertitude permet de mieux saisir les limites de la méthodologie utilisée et ainsi d'évaluer plus facilement la portée des résultats et de l'analyse.

7.3 Le phénomène de rétention du phosphore

Pour évaluer l'ampleur de la rétention du phosphore plusieurs éléments doivent être pris en considération, comme les conditions hydrologiques et météorologiques, la morphologie du lac, sa profondeur, son volume ainsi que son état trophique. Comme on l'a vu précédemment, le bassin versant étudié a été divisé en deux parties afin de tenir compte du phénomène de rétention. Une première correspond au territoire où les apports en phosphore se rendent entièrement au lac Gauvreau (bassin direct), et une deuxième (sous-bassin indirect) dans laquelle seule une partie des apports se rendent au Lac Gauvreau en raison du phénomène de

rétenion du phosphore, par lequel une partie du phosphore transporté est intercepté dans les lacs en amont et y est déposé.

Nous avons eu recours à un modèle permettant de mesurer un coefficient de rétention (R) du phosphore à partir de la charge hydrologique moyenne par unité de surface (q_s) (Kirchner et Dillon, 1975) :

$$R = 0,426e^{(-0,271q_s)} + 0,574e^{(-0,00949q_s)} \quad (\text{Équation 2})$$

La charge hydrologique moyenne par unité de surface (q_s en m/an) est déterminée par:

$$q_s = \frac{Q}{A_o} \quad (\text{Équation 3})$$

Q = charge hydrologique annuelle du bassin (m³/an)

A_o = superficie du lac (m²)

La charge hydrologique annuelle (Q) sera calculée par l'équation proposée par Alain (1979) qui utilise le débit spécifique (d). La valeur de ce dernier paramètre a été tirée d'une carte du Ministère des Ressources naturelles publiée dans l'étude de Meunier précitée.

$$Q = A_t * d * t \quad (\text{Équation 4})$$

A_t = superficie totale du bassin versant (km²)

d = débit spécifique (m³/sec/km²)

t = nombre de secondes par année

À partir du volume d'eau, de la superficie totale des plans d'eau et de la charge d'eau annuelle, l'équation de (Kirchner et Dillon, 1975) a été appliquée. Ce qui nous a permis de calculer un coefficient de rétention (R) moyen d'environ 0,70 pour les lacs les plus importants situés en amont du lac Gauvreau (lacs à Monette, à Jean-Venne et Kennedy). Cela signifie qu'environ 70 % du phosphore qui se draine vers ces lacs, s'y accumule ; le reste, soit 30 %, se draine vers le lac Gauvreau.

La rétention du phosphore a lieu dans tous les lacs, mais ses répercussions sur les apports totaux peuvent être minimes. Alain (1979) considèrent que les effets d'une faible rétention du phosphore est significative sur les apports totaux lorsqu'un lac en amont rencontre au moins deux des quatre critères suivants :

- La superficie du lac en amont est plus grande que 10 % de la superficie du lac à l'étude
- La superficie du bassin versant du lac en amont est plus grande que 10 % de la superficie du bassin versant du lac à l'étude

- Il y a présence de population sur les berges du lac en amont
- Le coefficient de rétention du lac en amont est inférieur à 0,4, donc plus de 60 % des apports poursuivent leur cours

Deux lacs rencontrent deux de ces critères, il y a donc deux sous-bassins indirects distincts, celui du lac à Monette et du lac à Jean-Venne.

7.4 Apports en phosphore pour l'utilisation du sol

Pour appliquer la méthode des coefficients d'exportation, il est essentiel de connaître les superficies occupées par chaque type d'utilisation du sol. Chaque type d'utilisation du sol représente une certaine quantité plus ou moins considérable de pollution, chacune ayant un impact distinct. Pour les besoins du calcul des apports, les principales utilisations ont été regroupées en huit types (voir tableau 6 et carte hors-texte B). Le tableau 6 présente les superficies occupées pour les divers types d'utilisation du sol pour l'ensemble du bassin versant ainsi que pour les deux parties du bassin (direct et indirect). On y retrouve aussi la proportion occupée par chaque type d'utilisation du sol pour l'ensemble du bassin.

Le tableau 7, de son côté, présente les coefficients d'exportation du phosphore qui ont été déterminés pour les types d'utilisation du sol du bassin, à partir de la consultation de la littérature sur le sujet.

Tableau 6. Superficie et proportion occupées par les types d'utilisation du sol du bassin versant du lac Gauvreau

Type d'utilisation du sol	Superficie (km ²)			% de l'utilisation totale du bassin versant
	Bassin direct	Sous-bassin indirect	Bassin versant total	
<i>Milieu forestier</i>				
Forêt (non-perturbée)	27,5	2,4	29,9	64,9
Friche	2,0	0,0	2,0	4,4
Coupes forestières	0,8	0,0	0,8	1,8
Régénération	1,6	0,1	1,7	3,8
<i>Milieu agricole</i>				
Grande culture	0,5	0,0	0,5	1,1
Foin ou pâturage	7,3	0,0	7,3	15,8
<i>Milieu bâti</i>				
Résidentiel	1,1	0,2	1,2	2,7
Gravière	0,3	0,0	0,3	0,6
<i>Milieu naturel</i>				
Tourbière ou marais	0,8	0,1	0,9	1,9
Plans d'eau	1,1	0,3	1,4	3,1
Bassin versant	43,0	3,0	46,0	100,0

Tableau 7. Coefficients d'exportation établis pour les types d'utilisation du sol du bassin versant du lac Gauvreau.

Coefficients d'exportation (kg P/km ² /an)	Type d'utilisation du sol					
	<i>Milieu forestier</i>		<i>Milieu agricole</i>		<i>Urbanisé et Gravière</i>	<i>Tourbière</i>
	<i>Non-perturbé</i> <i>Friche</i>	<i>Coupes</i> <i>Régénération</i>	<i>Grande culture</i>	<i>Foin et pâturage</i>		
<i>Minimal</i>	3,9	8,0	41,9	23,6	19,0	0,1
<i>Le plus probable</i>	7,3	15,0	77,0	56,3	35,0	5,0
<i>Maximal</i>	12,0	24,6	264,6	167,8	95,0	20,0

Pour le **milieu forestier**, les apports en phosphore sont relativement faibles par rapport à d'autres types d'utilisation du sol, ceci s'explique par le fait que le recyclage des nutriments y est très actif et parce que l'érosion des sols y est faible. La valeur du coefficient d'exportation des forêts est grandement influencée par la géologie du substrat ce dont nous avons tenu compte. Le milieu forestier perturbé, qui inclut les zones de **coupes forestières** et les **milieux en régénération**, a des apports en phosphore plus élevé que la forêt mature, non perturbée. Ces milieux exportent plus de phosphore en raison du fait que la déforestation entraîne une érosion du sol plus marquée et que le recyclage des nutriments y est aussi moins efficace. Les coefficients d'exportation pour ces zones forestières perturbées doivent donc être plus élevés que ceux établis pour le milieu forestier.

Pour les **friches**, on retrouve peu de coefficients d'exportation dans la littérature. Ceux qui ont été déterminés ont une forte incertitude statistique parce que ces types d'utilisation ont une forte variabilité dans leurs superficies et qu'on les retrouve souvent disséminées sur le territoire (de Montigny et Prairie, 1996) . À l'instar de cet auteur nous avons assimilés les coefficients de ces types d'occupation à celui des forêts non-perturbées. Les **milieux humides** ont un cycle hydrologique complexe, ce qui rend difficile l'établissement de bilan des nutriments pour ces zones (Alain et Lerouzès, 1979). On s'entend généralement pour dire que les apports sont faibles, certains auteurs croient qu'ils approchent des valeurs nulles étant donné le rôle de régulateur des étendues marécageuses qui captent le phosphore à certaines époques de l'année et le libère à d'autres (Lee, Bentley et Amundson, 1975) in (Ryding et Rast, 1989).

Pour sa part, le **milieu agricole** représente une des sources les plus importantes de phosphore. Le type de culture, l'intensité de l'érosion des sols, les pentes, l'érodabilité des sols, les quantités de fertilisants appliquée à la terre, le moment d'application ainsi que les mesures de protection des terres sont autant d'éléments qui influencent les apports en phosphore provenant du milieu agricole. Dans le bassin, l'utilisation du sol en milieu agricole est dominée par les foins et pâturages; les grandes cultures sont peu représentées. Dans ce contexte, il est raisonnable que les apports en phosphore provenant de la fertilisation d'engrais minéral devrait être faible et non comparable en terme d'ampleur à ce que l'on retrouve pour les grandes cultures de la partie méridionale du Québec.

Les apports en phosphore en provenance des **grandes cultures** peuvent être élevés ; le type de culture a ici une influence significative. Comparativement aux grandes cultures, les **foins et pâturages** représentent généralement une source de phosphore moins importante pour le milieu agricole. L'érosion est plus faible à ces endroits, compte tenu que la terre n'est pas labourée. Aussi, la fertilisation de ces terres y est moins importante que pour les terres

cultivées où des fertilisants (engrais organique et minéral) sont ajoutés dans le but d'assurer la croissance des cultures. Le phosphore que l'on retrouvera dans le sol des terres non-cultivées provient principalement des déjections animales, pour les pâturages, et, dans certains cas, de la fertilisation des foins par l'épandage des surplus de fumiers et lisiers ainsi que l'ajout, plus rare, d'engrais minéral. Selon les renseignements reçus du Ministère de l'agriculture (Québec.Ministère de l'agriculture, 2001) la proportion des terres agricoles du bassin où se pratique l'épandage de fumier est importante.

En **milieu urbanisé**, les apports en phosphore peuvent provenir de diverses sources, l'intensité des apports dépendant du type d'activités sur le territoire, de la densité de l'occupation du territoire, de la proportion occupée par le couvert végétal et le niveau d'utilisation de fertilisants. Pour le lac Gauvreau, le phosphore des milieux bâtis provient surtout des installations septiques (calculé séparément) et, dans une moindre mesure, des fertilisants appliquées sur les terrains résidentiels. Pour les fosses septiques un coefficient d'exportation spécifique a été établi. Pour le cas des gravières, nous avons utilisé le coefficient d'exportation des aires urbanisées. Le sol décapé et le couvert végétal clairsemé de ce type d'utilisation réduisent la prise en charge des nutriments. D'un autre côté, l'exploitation de gravière ne génère pas de phosphore.

Le tableau 8 présente le calcul des apports en phosphore pour chaque utilisation du sol. On y retrouve les superficies occupées pour les deux parties du bassin, les coefficients d'exportation et le coefficient de rétention du phosphore.

7.5 Apports en phosphore par les fosses septiques

L'apport de phosphore en provenance des fosses septiques dépend de plusieurs facteurs tant humains que physiques. D'abord, le nombre de fosses septiques, leur état, leur âge, ainsi que le taux d'occupation des résidences et les habitudes de consommation des résidents déterminent les quantités de phosphore qui se retrouveront ultimement dans l'environnement. Ensuite, la distance de la fosse septique au plan d'eau, l'inclinaison des pentes, la texture des sols et la profondeur de la nappe phréatique sont les facteurs physiques qui influencent les quantités de phosphore qui rejoindront le plan d'eau et la rapidité à laquelle elles le feront.

Tableau 8. Apports en phosphore estimés pour l'utilisation du sol (apport en P = (coefficient d'exportation) X (superficie de l'utilisation du sol))

	<i>Forêt & friche</i>	<i>Pâturage & fourrage</i>	<i>Milieu bâti</i>	<i>Coupe & régénération</i>	<i>Grande culture</i>	<i>Terre humide</i>	<i>Total</i>
<i>Superficie totale (km²)</i>	31,89	7,26	1,53	2,59	0,50	0,86	
<i>Superficie bassin direct</i>	29,47	7,26	1,37	2,49	0,50	0,77	
<i>Superficie sous-bassin indirect</i>	2,41	0,00	0,15	0,10	0,00	0,08	
<i>Coefficient de rétention du P (bassin indirect)</i>	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	
Coefficient d'exportation minimal	3,88	23,64	19,00	7,98	41,89	0,10	
Bassin direct	114,45	171,54	26,10	19,86	20,94	0,08	
Sous-bassin indirect	2,82	0,00	0,87	0,24	0,00	0,00	
Total apport minimal	117,27	171,54	26,97	20,10	20,94	0,08	356,90
% des apports minimaux	32,9%	48,1%	7,6%	5,6%	5,9%	0,0%	
Coefficient d'exportation usuel	7,30	56,29	35,00	15,00	77,00	5,00	
Bassin direct	215,17	408,49	48,08	37,33	38,48	3,87	
Sous-bassin indirect	5,31	0,00	1,60	0,46	0,00	0,12	
Total apport usuel	220,47	408,49	49,68	37,79	38,48	4,00	758,90
% des apports usuels	29,1%	53,8%	6,5%	5,0%	5,1%	0,5%	
Coefficient d'exportation maximal	11,96	167,81	95,00	24,57	264,57	20,00	
Bassin direct	352,51	1217,66	130,50	61,16	132,22	15,50	
Sous-bassin indirect	8,69	0,00	4,34	0,75	0,00	0,49	
Total apport maximal	361,20	1217,66	134,84	61,91	132,22	15,99	1923,81
	18,8%	63,3%	7,0%	3,2%	6,9%	0,8%	

Les installations septiques ne contribuent pas toutes aux apports, seules celles situées à l'intérieur de ce que l'on qualifierait de « zone d'impact » autour des plans d'eau et de part et d'autre des cours d'eau, contribuent aux apports. La marge à l'intérieur de laquelle les installations septiques sont considérées comme ayant une influence varient de 50 à 200 m (Reckhow, Beaulac et Simpson, 1980). La marge employée sera fonction de certains facteurs comme la pente du terrain, la granulométrie des dépôts, la hauteur de la nappe phréatique, etc. Nous avons fixé une limite de 150m autour des plans d'eau et de 50m des cours d'eau comme étant les limites à l'intérieur de laquelle les installations septiques influencent les apports de nutriments. Le SIG a été utilisé pour identifier les résidences permanentes et saisonnières situées à l'intérieur de ces limites.

Le nombre de résidences permanentes et saisonnières a été obtenu à l'aide du rôle d'évaluation fourni par la MRC Les-Collines-de-l'Outatouais et à partir de renseignements obtenus de la municipalité de La Pêche. Certaines informations ont aussi été obtenues à partir d'un sondage effectué au printemps 2001, ces informations ont trait à l'achalandage et l'état des installations septiques pour les résidences permanentes et saisonnières du bassin. L'envoi total fut de 301 questionnaires, 81 sondages retournés furent jugés significatifs, pour un taux de réponse de 26,6 %.

Le tableau 9 reprend certaines données livrées au chapitre 5, que nous avons complété pour montrer les nombres de résidences permanentes et saisonnières dans les bassins directs et indirects.

Tableau 9. Nombre de résidences permanentes et saisonnières pour l'ensemble du bassin versant.

Bassin versant		Zones d'impacts (lacs et ruisseaux)			
		Bassin direct		Sous-bassins indirects	
Perm.	Sais.	Perm.	Sais.	Perm.	Sais.
167	218	33	147	10	38

L'ensemble du bassin contient 385 résidences, dont une majorité de résidences saisonnières. De ce nombre, 228 résidences sont considérées comme contribuant aux apports dans le réseau hydrographique, du fait de leur localisation dans les zones d'impacts. À la lumière du tableau 9 on constate que le nombre de résidences saisonnières est considérablement plus élevé que le nombre de résidences permanentes dans les zones

d'impacts, les proportions sont d'environ 80 % et 20 % en faveur des résidences saisonnières et ce, à la fois dans le bassin direct comme dans les sous-bassins indirects.

Une fois le nombre de fosses septiques déterminé, on doit identifier l'apport en phosphore par personne pour une année en tenant compte du taux d'occupation et des habitudes de consommation des résidents. Un apport de 2,2g de P/jour/personne soit 0,80 kg de P/pers/année a été retenu (Reckhow, Beaulac et Simpson, 1980). À partir des informations disponibles, les coefficients suivants ont été déterminés pour refléter le taux d'occupation et les habitudes de consommation à l'intérieur du bassin : 0,51 kg P/personne/an (minimum), 0,80 kg P/personne/an (usuel) et 0,95 kg P/personne/an (maximum).

Pour permettre de quantifier les apports de phosphore en provenance des fosses septiques on doit aussi déterminer un coefficient de rétention du sol. Ce dernier traduit en quelque sorte la capacité du sol à filtrer et à absorber le phosphore. Cet élément est important puisque l'efficacité d'une installation septique dépend en grande partie de la capacité du sol (champ d'épuration) à retenir et à épurer le phosphore. Ainsi, l'efficacité du système de traitement (fosse septique et champ d'épuration) dépendra beaucoup des caractéristiques du champ d'épuration, c'est-à-dire : la texture, la perméabilité et le type de sol ainsi que la pente et la profondeur de la nappe phréatique.

Compte tenu de la texture des dépôts provenant de processus fluvioglaciers, glaciaires et glacio-marins et de la topographie, il a été déterminé que les coefficients de rétention du sol pour le lac Gauvreau étaient de : 0,45 (minimum), 0,15 (usuel) et 0,05 (maximum) (Reckhow, Beaulac et Simpson, 1980). Autrement dit, pour le coefficient usuel, 15 % du phosphore disponible est traité par l'installation septique, le reste, soit 85 %, se retrouve potentiellement dans le plan d'eau.

La quantité de phosphore qui provient des fosses septiques dépend aussi du taux d'occupation de résidences. Selon la population des municipalités, le taux d'occupation calculé est, en moyenne, de 3,0 personnes par résidence permanente (Statistique Canada, 1998). Pour les résidences saisonnières, les données du sondage indiquent qu'en moyenne 2,7 personnes occupent chaque résidence saisonnière. Aussi, il a été évalué que les habitations saisonnières étaient occupées en moyenne 94,4 jours par année (0,259 année) et, bien entendu, que les résidences permanentes étaient occupées toute l'année. Enfin, un autre élément important à considérer dans la fréquentation des résidences sont les visiteurs occasionnels. Les données du sondage nous indiquent pour cela des valeurs équivalentes à environ 13,0 % de la population résidente saisonnière serait des visiteurs, alors que les visiteurs des résidences permanentes ne constitueraient que 1,8 % de la population résidente permanente.

À l'aide de ces dernières informations, il a été possible de calculer le taux d'occupation (nombre de personnes-années) des résidences saisonnières et permanentes pour les deux types de bassins (tableau 10). L'achalandage du camping Kingsbury a été ajouté au total des résidences saisonnières.

Tableau 10. Nombre de personnes-années pour les résidences des bassins direct et indirect

	<i>Nombre de résidences</i>	<i>Taux d'occupation annuel (an)</i>	<i>Nombre de personnes par résidences</i>	<i>Nombre de personne - années</i>	<i>Nombre de visiteurs</i>	<i>Nombre de personne - année total</i>
	(a)	(b)	(c)	(d) = (a x b x c)	(e)	(d) + (e)
<i>Bassin direct :</i>						
<i>Permanente</i>	33,0	1,0	3,0	99,0	1,8	100,8
<i>Saisonnrière</i>	147,0	0,3	2,7	102,6	13,3	140,8
<i>Total nombre de personnes-années zone directe</i>						241,6
<i>Sous-bassin indirect :</i>						
<i>Permanente</i>	10,0	1,0	3,0	30,0	0,5	30,5
<i>Saisonnrière</i>	38,0	0,3	2,7	26,5	3,4	30,0
<i>Total nombre de personnes-années zone indirecte</i>						60,5

À partir de ces deux derniers résultats sur le taux d'occupation, avec en plus, les coefficients d'exportation du phosphore des fosses septiques et le coefficient de rétention du sol, nous avons calculé les apports en phosphore minimum, usuel et maximum (tableau 11) :

Apport total des fosses septiques = (Coefficient d'exportation des fosses septique) x (Nombre de personnes-années) x (1-coefficient de rétention du sol) x (coefficient de rétention dans les plans d'eau)

7.6 Apports en phosphore du milieu atmosphérique

L'atmosphère, via les précipitations et l'érosion éolienne, constitue aussi une source de phosphore. Les sources de nutriments atmosphériques ne sont évidemment pas limitées au bassin versant, les apports d'origine atmosphérique sont donc le résultat des pratiques dans les territoires environnants. Les bassins versants situés à proximité de centres urbains et de zones agricoles sont ainsi plus susceptibles de recevoir des quantités de phosphore élevées par l'atmosphère.

Le bassin du lac Gauvreau se trouve dans un milieu de transition entre le centre urbain d'Ottawa-Hull au sud, dans lequel ont aussi cours certaines activités agricoles, et le milieu forestier situé plus au nord. Un coefficient d'exportation relativement faible a été déterminé pour

la contribution de phosphore par l'atmosphère: 21,1 , 33,6 et 46,1 kg P/ km² (Reckhow, Beaulac et Simpson, 1980).

Tableau 11. Apports totaux en phosphore (kg/an) des fosses septiques pour les bassins direct et indirect

	<i>Coefficient d'exportation (kg P/pers/an)</i>	<i>Nombre de personnes-années</i>	<i>Coefficient de rétention du sol (1-CRS)</i>	<i>Coefficient de rétention des lacs</i>	<i>Apports en phosphore (kg/an)</i>
	<i>(a)</i>	<i>(b)</i>	<i>(c)</i>	<i>(d)</i>	<i>(a) x (b) x (c) x (1-d)</i>
7.6.1 Bassin direct					
<i>Coefficient minimal</i>	0,51	241,6	0,55	0,0	67,2
<i>Coefficient usuel</i>	0,80	241,6	0,85	0,0	164,3
<i>Coefficient maximal</i>	0,95	241,6	0,95	0,0	218,9
7.6.2 Sous-bassin indirect					
<i>Coefficient minimal</i>	0,51	60,5	0,55	0,67	5,1
<i>Coefficient usuel</i>	0,80	60,5	0,85	0,67	12,4
<i>Coefficient maximal</i>	0,95	60,5	0,95	0,67	16,5
Apport total des fosses septiques (direct + indirect) (kg P/an)					
				<i>Coefficient minimal</i>	72,3
				<i>Coefficient usuel</i>	176,7
				<i>Coefficient maximal</i>	235,4

Les apports de phosphore pour le milieu atmosphérique sont calculés en multipliant le coefficient d'exportation de l'atmosphère par la superficie des plans d'eau. Ainsi, plus l'ensemble des lacs du bassin versant couvre une grande superficie, plus les apports en phosphore provenant de l'atmosphère seront élevés. Les apports en phosphore du milieu atmosphérique calculés pour le lac Gauvreau sont présentés dans le tableau suivant.

7.7 Apports totaux en phosphore et calcul des concentrations

Les coefficients d'exportation ont permis d'obtenir une estimation des apports totaux en phosphore (en kg/an) pour les principales sources de nutriments : utilisation du sol, fosses septiques et atmosphère (tableau 13).

Tableau 12. Apports en phosphore pour le milieu atmosphérique

	<i>Coefficient d'exportation atmosphérique (kg/km²/an)</i>	<i>Superficie des plans d'eau (km²)</i>	<i>Coefficient de rétention des lacs</i>	<i>Apports atmosphériques totaux de P (kg/an)</i>
	(a)	(b)	(c)	(a) x (b) x (1-c)
Bassin direct				
<i>Coefficient minimal</i>	21,1	1,2	0,0	24,4
<i>Coefficient usuel</i>	33,6	1,2	0,0	38,9
<i>Coefficient maximal</i>	46,1	1,2	0,0	53,3
7.7.1 Sous-bassin indirect				
<i>Coefficient minimal</i>	21,1	0,3	0,7	1,7
<i>Coefficient usuel</i>	33,6	0,3	0,7	2,8
<i>Coefficient maximal</i>	46,1	0,3	0,7	3,8
Apport total atmosphère (direct + indirect) (kg/an)				
			<i>Coefficient minimal</i>	26,1
			<i>Coefficient usuel</i>	41,6
			<i>Coefficient maximal</i>	57,1

Tableau 13. Estimation des apports totaux en phosphore pour chaque source (bassins direct et indirect combinés), bassin versant du lac Gauvreau.

	<i>Minimum</i>	<i>Usuel</i>	<i>Maximum</i>
<i>Utilisation du sol (CE_i x Aire_i)</i>	356,90	758,90	1923,81
<i>Atmosphère (CE_{am} x Aire_A)</i>	26,13	41,61	57,09
<i>Fosses septiques (CE_{fs} x n. de pers.-années x (1-CRS))</i>	72,26	176,71	235,42
<i>Apports totaux en P (kg/an) (M)¹</i>	455,30	977,22	2216,31

¹ Si certains totaux ne semblent pas correspondre à la somme des valeurs dépendantes, c'est parce que les calculs ont été exécutés avec un plus grand niveau de précision que le nombre de chiffres significatifs employé dans l'affichage du tableau.

À partir des apports totaux en phosphore ainsi obtenus, on peut estimer la concentration en phosphore du lac Gauvreau. On doit prendre en compte ses caractéristiques hydriques tel que la quantité d'eau qui s'écoule vers le lac, sa profondeur moyenne, sa superficie et le taux de renouvellement de ses eaux (Tableau 14).

Tableau 14. Caractéristiques hydriques du lac Gauvreau

(A) Superficie du lac	905924,67 m ²
(z) Profondeur moyenne	7,36 m
(V) Volume du lac	6664583 m ³
(Q) Volume d'eau annuel dans le bassin	20323030 m ³ /an
(p) Temps de renouvellement du lac (an) (V / Q)	0,33 année
(q _s) Charge hydrologique par unité de surface (Q/A)	22,43 m/an

Pour le calcul des concentrations en phosphore, il est nécessaire de déterminer les apports en phosphore annuel par unité de surface du lac (i.e. *L*, en g/m²/an) pour les coefficients minimum, usuel et maximum, ce qui correspond à :

$$L = M / A$$

Où :

L = apports annuel en phosphore en fonction de la superficie du lac (g/m²/an)

M = apports totaux en phosphore (g/an)

A = superficie du lac (m²)

Pour le lac Gauvreau on obtient :

Tableau 15. Calcul des apports annuels par unité de surface du lac

	<i>Minimum</i>	<i>Usuel</i>	<i>Maximum</i>
(M) Apports totaux en P (g/an)	455296,27	977217,79	2216307,86
(A) Superficie du Lac Gauvreau (m ²)	905924,67	905924,67	905924,67
(L) Apports annuel en P par m ² de lac (g/m ² /an) (L = M / A)	0,50	1,08	2,45

Les charges en phosphore tel qu'estimées précédemment et la charge en eau annuelle (*q_s*) étant déterminées, il est alors possible de calculer la concentration en phosphore (d'après la méthode de Reckhow et al.) (tableau 16), et ce en prenant en compte les seuils minimal et maximal déterminés par les coefficients d'exportation.

$$P = \frac{L}{11,6 + 1,2q_s} \quad (\text{Équation 5})$$

L = Apports annuel en phosphore en fonction de la superficie du lac (g/m²/an)

q_s = Charge en eau (m/an)

Tableau 16. Concentrations de phosphore calculées à partir du modèle de Reckhow, Beaulac et al. (1980)

	<i>Apport en P (L)</i> g/m ² /an	<i>Charge en eau (q_s)</i> m/an	<i>Concentration en phosphore calculée (P)</i> mg/l
<i>Coefficient minimal</i>	0,50	22,43	0,013
<i>Concentration usuelle</i>	1,08	22,43	0,028
<i>Concentration maximale</i>	2,45	22,43	0,064

7.8 Résultats du calcul de l'incertitude

L'incertitude associée à l'estimation des concentrations en phosphore pour le lac Gauvreau a été calculée d'après l'équation de calcul d'incertitude proposé par Reckhow (1980) (soit $P=L/(11,6+1,2q_s)$). L'intervalle de confiance calculé donne que, dans une probabilité de 89 %, la concentration de phosphore sera d'au moins 0,0073 mg/l et d'au plus 0,0684 mg/l ; ou, pour une probabilité de 55 %, la concentration sera entre 0,0177 et 0,0482 mg/l.

Par ailleurs, il faut mentionner que l'analyse de l'incertitude comporte des limites, la plus évidente est le fait que les choix des coefficients d'exportation implique une certaine subjectivité. De cette façon, la sélection même des coefficients d'exportation implique une erreur que l'on ne peut pas considérer dans le calcul de l'incertitude Reckhow (1980).

7.9 Interprétation des résultats : apports et concentrations en phosphore

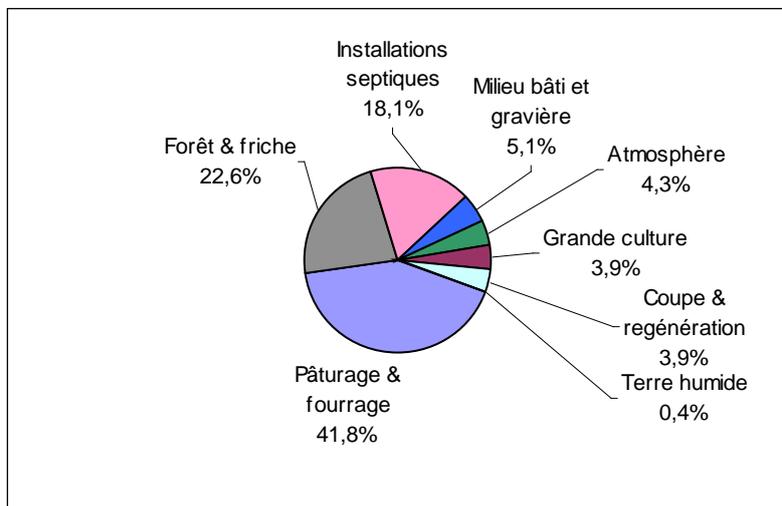
Les coefficients d'exportation du phosphore déterminés ont permis de calculer, pour la situation actuelle, des apports totaux en phosphore vers le lac Gauvreau de 977,22 kg/an (valeur estimée usuelle) avec des limites minimale et maximale de 455,30 et 2216,31 kg de P/an. De cette quantité environ 97,7 % des apports vers le lac Gauvreau proviennent du bassin

direct. Le reste (2,3 %) provient des sous-bassins indirects où se manifeste le phénomène de rétention du phosphore dans les plans d'eau.

L'application du modèle ($P = L/(11,6 + 1,2q_s)$) proposé par Reckhow nous a permis de calculer des concentrations en phosphore pour le lac Gauvreau de 0,028 mg/L pour le coefficient d'exportation usuel et de 0,01 et 0,06 mg/L pour les coefficients minimum et maximum. À titre comparatif, les concentrations de phosphore estimées au moyen de la même méthode pour le lac Blue Sea, un peu plus au nord, donne un résultat de 0,010 mg/l avec des valeurs possibles situées entre 0,003 et 0,020 mg/l, pour 89 % des cas.

L'observation de l'importance relative des apports en phosphore en fonction de sources nous révèle que 266,1 kg P/an (soit 27,2 %) des apports sont de sources naturelles, provenant du milieu forestier, de l'atmosphère ou des terres humides. Les activités humaines dans l'ensemble serait responsable de 711,1 kg P/an (soit 72,8 %). Parmi ces dernières, les aires consacrées aux pâturages et fourrages constituent les principales sources de phosphore avec 408,5 kg P/an, soit 41,8 % des apports totaux (voir figure 5). Les installations septiques constitue l'autre source anthropique de phosphore avec 176,7 kg P/an, soit 18,1 % des apports totaux.

Figure 5 Pourcentage des apports en phosphore pour chacune des sources



Ces résultats s'expliquent en partie par la mise en relation entre les superficies occupées par les divers types d'utilisation du sol, leur apport en phosphore (tableau 17). Ainsi, la superficie considérable allouée aux pâturages et fourrages, conjuguée à la valeur de coefficients d'exportation qui traduit la présence de nutriments causé par l'épandage des fumiers explique la quantité d'apports estimée de cette source. De son côté le coefficient

d'exportation relativement faible des étendues boisées occasionne des apports faibles en dépit de la proportion importante de territoire occupée par ce milieu.

On remarque de plus que les apports en phosphore en provenance de l'atmosphère, des grandes cultures et de la coupe sont du même ordre de grandeur malgré les disparités dans les surfaces occupées. Ainsi, les grandes cultures causent autant d'apports que les deux autres types d'utilisation comparés, même si elles occupent considérablement moins de surface. La superficie restreinte des plans d'eau sur l'ensemble du bassin fait que les apports provenant de l'atmosphère (calculés selon la surface d'interception des plans d'eau) sont faibles.

Tableau 17. Pourcentage des apports en phosphore pour chaque source de pollution et utilisation du sol à l'intérieur du bassin versant (%).

<i>Source de phosphore</i>	<i>Coefficient d'exportation usuel</i>	<i>% de l'utilisation du sol dans le bassin versant</i>	<i>% des apports</i>
<i>Pâturage & fourrage</i>	56,3	15,8%	41,8%
<i>Forêt & friche</i>	7,3	69,3%	22,6%
<i>Installations septiques</i>	0,8	négligeable	18,1%
<i>Milieu bâti et gravière</i>	35,0	3,3%	5,1%
<i>Atmosphère</i>	33,6	3,1%	4,3%
<i>Grande culture</i>	77,0	1,1%	3,9%
<i>Coupe & régénération</i>	15,0	5,6%	3,9%
<i>Terre humide</i>	5,0	1,9%	0,4%

Les installations septiques représentent une source anthropique de phosphore importante. Certaines observations nous renseignent avec plus de précision sur cette source de pollution. D'abord, on remarque que les résidences du bassin direct (soit 33 résidences permanentes et 147 résidences saisonnières, voir tableau 9) sont responsables de 93 % des apports en phosphore des fosses septiques, le reste provenant des 10 résidences permanentes et des 38 résidences saisonnières des sous-bassins indirects. Par ailleurs, sur l'ensemble du bassin, les résidences permanentes (n=43) et saisonnières (n=185) sont à la source, respectivement, de 42,3 % et de 57,7% des apports de phosphore. Ainsi, les résidences permanentes bien que moins nombreuses ont un impact plus important sur les apports en phosphore vers le lac Gauvreau compte tenu que ces dernières sont occupées toute l'année. Cette situation pourrait être encore plus marquée s'il y avait une conversion des résidences saisonnières en résidences permanente.

Le phosphore peut avoir un impact significatif sur le milieu lorsqu'il a une concentration supérieure à 0,02 mg/L (tableau 18) (Québec.Direction de la qualité des cours d'eau, 1993) Selon ces critères de qualité de l'eau, une concentration supérieure à 0,02 mg/L en phosphore

provoque une croissance de végétaux aquatiques suffisamment importante pour compromettre la vie aquatique, les activités récréatives de contact primaire (baignade) et celles reliées à la qualité esthétique du plan d'eau.

La concentration estimée à partir du coefficient d'exportation usuel (0,02 mg/l, tableau 16) dépasse ce seuil. Le calcul de probabilité nous permet de voir que l'intervalle de concentration possible se situe en grande partie au-delà du seuil de 0,02 mg P/l; la valeur potentielle de concentration serait donc plus élevée que le critère de qualité de l'eau.

Tableau 18. Comparaison entre les concentrations estimées, mesurées (juillet 1998) et avec les critères de qualité de l'eau du Ministère de l'environnement

<i>Concentration estimée (mg/L) méthode de Reckhow (1980)</i>	<i>0,013 (minimum)</i>
	<i>0,028 (usuel)</i>
	<i>0,064 (maximum)</i>
<i>Critère de qualité de l'eau (mg/L) (Ministère de l'Environnement, 1993)</i>	<i>> 0,02 (vie aquatique (toxicité chronique))</i>
	<i>> 0,02 (activités récréatives (contact primaire))</i>
	<i>> 0,02 (activités récréatives (esthétique))</i>

L'estimation de la concentration en phosphore du lac Gauvreau nous donne des indications sur son état trophique probable. Reckhow et al. (1980) mettent en relation la concentration en phosphore avec les principaux états trophiques ainsi que les utilisations possibles du plan d'eau pour les activités humaines (tableau 19).

Tableau 19. État trophique et utilisation possible d'un plan selon la concentration en phosphore

<i>Concentration en P (mg/L)</i>	<i>État trophique</i>	<i>Utilisation possible</i>
<i>< 0,010</i>	Oligotrophe	Adéquat pour la récréation avec contact primaire et activités liées à la pêche. Eau de très grande clarté et esthétique
<i>0,010 – 0,020</i>	Mésotrophe	Adéquat pour les activités récréatives mais certaines limitations possibles pour la pêche. Clarté de l'eau moindre que les plans d'eau oligotrophe
<i>0,020 – 0,050</i>	Eutrophe	Réduction de la qualité esthétique du plan d'eau qui affecte les activités de contact direct comme la baignade
<i>> 0,050</i>	Hypereutrophe	Plan d'eau avec un taux élevé de sédimentation et une surcroissance d'algues et/ou macrophytes.

Pour le lac Gauvreau on peut établir, à lumière des résultats obtenus (soit 0,028 mg/l de phosphore pour la valeur usuelle), un état trophique probable de type eutrophe qui se rapproche du type mésotrophe. Cet état trophique constitue un facteur limitatif à certains usages associés à la villégiature : baignade, pêche, canotage, etc.

8 Conclusion

Ces résultats nous permettent d'identifier les principales sources de phosphore, anthropiques et naturelles, pour le bassin versant du lac Gauvreau. On constate que la plus grande partie des apports en phosphore (711,1 kg P/l ou 72,8 %) provient des milieux anthropiques (essentiellement agricole, résidentiel et villégiature) le reste (266,1 kg P/l ou 27,2 %) étant d'origine naturelle (milieux forestier, atmosphérique et les terres humides). Ainsi, il faut considérer que les apports en phosphore du lac Gauvreau (donc sa concentration) s'explique en majeure partie par le milieu humain. Pour la partie restante, l'activité biologique naturelle est responsable des apports et de la concentration actuelle en phosphore dans le lac Gauvreau. Cette information nous révèle donc que les interventions de réduction des apports en phosphore vers le lac Gauvreau peuvent se faire sur à peu près 70 % des apports en phosphore (peut-être plus si l'on considère les apports anthropiques qui proviennent du milieu atmosphérique, mais les interventions de réduction sont plus difficiles à faire et à évaluer à ce niveau). Il faut également noter que le lac Gauvreau possède un rapport volume/superficie du bassin qui le rend particulièrement sensible aux exportations de phosphore en provenance du bassin.

Pour réduire les apports de phosphore, et ainsi abaisser le niveau trophique du lac, les interventions devraient se concentrer sur les activités agricoles, ainsi que les aménagements et constructions (comme les installations septiques) dans les zones d'impact bordant les plans d'eau et cours d'eau.

Dans le secteur agricole, concentrés dans le sous-bassin du ruisseau à Parent, les actions devraient mettre l'accent sur les mesures de contrôles de disposition des fumiers. De plus, les travaux de drainage agricole devraient être maintenus au strict minimum afin de ne pas accélérer le transport du phosphore vers le lac.

Dans les milieux résidentiels et de villégiature, les interventions doivent se concentrer sur le périmètre du lac, puisque les apports sont directs. Le développement autour du lac même devrait faire l'objet d'un certain contrôle, en tenant compte particulièrement que la conversion des résidences saisonnières en permanentes parce qu'elle augmente considérablement le taux d'occupation des résidences, provoque aussi une augmentation des apports de nutriments au lac. L'ensemble des résidences, de même que le camping situé à un endroit sensible à l'embouchure du principal ruisseau dans le lac, doivent être équipées d'installations septiques selon des normes rigoureuses et leur entretien assuré afin qu'elles puissent remplir efficacement leur rôle.

Des mesures pour restaurer les milieux naturels peuvent être entreprises par les autorités comme par les particuliers et les entreprises. Des travaux de reboisement et de renaturalisation, particulièrement sur les milieux riverains, peuvent contribuer à abaisser les apports de nutriments.

Les coefficients d'exportation sont des mesures empiriques de transport de nutriments qui ont fait l'objet d'études distinctes. Dans le présent travail un grand soin a été apporté à sélectionner, parmi la littérature scientifique, des coefficients calculés pour des milieux dont les caractéristiques physiques correspondent le plus à celles rencontrées dans le bassin versant du lac Gauvreau. Mais ces coefficients ne peuvent se substituer à un programme de mesures sur le terrain effectué rigoureusement et sur une période prolongée. Il faut donc tenir compte que la méthode employée ici nous donne une estimation des apports et des concentrations, conjuguée à une évaluation de son niveau de précision. Nous ne disposons pas de résultats d'analyse physico-chimiques ou biologiques des eaux.

Références

- Alain, Jacques, Bourassa, Francine, et Dufresne, Camille 1980. *Rapport de la diagnose écologique Lac Gauvreau* 80-12, Québec, 71 p.
- Alain, Jacques et Lerouzès, Marie 1979. *Méthodologie pour le calcul des apports de phosphore et la détermination de la capacité de support d'un lac*, 118 p.
- Béland, René 1954. *Rapport préliminaire sur la région de Wakefield. Comté de Gatineau*R.P. 298, Québec, 7 p.
- Brehob, Leanne Sue 1997. Estimation of the Development Capacity of a Small Lake Using Nonpoint Source Pollution and Limnological Models Masters of ScienceM, 76 p.
- de Montigny, Chantal et Prairie, Yves 1996. *Estimation des coefficients d'exportation du phosphore pour différentes régions du territoire québécois* Montréal, 25 p.
- Kirchner, W. B. et Dillon, P. J. 1975. An Empirical Method of Estimating the retention of Phosphorus in Lakes . *Water Resources Research*, 11, p. 182-183.
- Kretz, R., Hartree, R., Garrett, D. et Cermignani, C. 1985. Petrology of Grenville swarm of gabbro dikes, Canadian Precambrian Shield . *Canadian Journal of Earth Sciences*, 22, p. 53-71.
- Lee, G. F., Bentley, E. et Amundson, R. 1975. *Effects of Marshes on Water Quality: Coupling of Land and water Systems* Ecological Studies 10, New York:
- Madore, Louis, Kamal, N. M. Sharma, Globensky, Yvon et Giguère, Emmanuelle 1994. *Synthèse géologique de la région de Fort Coulonge (SNRC 31F)* 94-39, Québec, 23 p.
- Meunier, Paul, Bourassa, F., Morin, J. P., et Alain, Jacques *Guide technique pour l'inventaire écologique des lacs* QE-43,
- Québec.Direction de la qualité des cours d'eau 1993. *Critères de qualité de l'eau* ENVIRODOQ 910156, Québec, 425 p.
- Québec.Ministère de l'agriculture 2001. *Données essentielles des fermes inscrites avec le MAPAQ dans le bassin versant du ruisseau Parent*
- Québec.Ministère de l'environnement. 2001. *Qualité de l'eau par secteur. Rivière des Outaouais, secteur de la rivière Gatineau (secteur C)*
- Québec.Ministère de l'énergie et des ressources 1992b. *Carte de dépôts de surface. Document de travail. 31 G/12 Wakefield*
- Québec.Ministère de l'énergie et des ressources 1992a. *Carte de dépôts de surface. Document de travail. Feuille 31 F/9 Quyon*



Groupe d'Études Interdisciplinaires en Géographie et Environnement Régional

Québec. Ministère des richesses naturelles 1969. *Superficie des bassins versants du Québec: Deuxième partie. Versant nord du St-Laurent, de la rivière des Outaouais au Saguenay H-7*, Québec, 89 p.

Québec. Service des relevés 1975. *Bassins versants du Québec* Québec: Ministère des richesses naturelles

Reckhow, K. H., Beaulac, M. N. et Simpson, J. T. 1980. *Modeling Phosphorus Loading and Lake response Under Uncertainty: A Manual and Compilation of Export Coefficients* EPA 440/5-80-011, Washington, 214 p.

Rivers, T., Martignole, J., Gower, C. F., and Davidson, A. 1989. New tectonic division of the Grenville Province, Southeast Canadian Shield . *Tectonics*, 8, p. 63-84.

Ryding, S. O. and Rast, W. 1989. *The Control of Eutrophication of Lakes and Reservoirs* Carnforth: Parthenon Publishing, 314 p.

Statistique Canada 1998. *Série Profils: Canada*